PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
4 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	INTRODUCCION	ING. EDMUNDO IZURIETA R. ING. JORGE CANSECO L.
	19:00 a 21:00 h.	CONTAMINACION Y TRATAMIENTO	ING. EDMUNDO IZURIETA R.
5 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	REVISION DE LOS PRINCIPIOS GENERALES DE HIDRAULICA EN CONDUCTOS	ING. FRANCISCO FLORES H.
6 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA.	ING. CESAR FALCON DE G. ING. FRANCISCO SUZAN C.
7 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA.	ING. CESAR FALCON DE G. ING. FRANCISCO SUZAN C.
	19:00 a 21:00 h.	PRINCIPIOS GENERALES DE BOMBAS Y MOTORES	ING. RICARDO SEPULVEDA ING. ARMANDO ADAME SAENZ
8 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	PRINCIPIOS GENERALES DE BOMBAS Y MOTORES	ING. RICARDO SEPULVEDA ING. ARMANDO ADAME SAENZ
9 de Sept.	9:00 a 13:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. FRANCISCO FLORES H.
11 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	REVISION DE LAS PRINCIPALES UNIDADES INTEGRANTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.	DR. PEDRO MARTINEZ PEREDA
	19:00 a 21:00 h.	PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION	ING. GASTON MENDOZA G. ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ
12 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION	ING. GASTOS MENDOZA G. ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ
13 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.	ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ ING. GASTON MENDOZA G.
14 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	PRINCIPALES CRITERIOS Y NORAMS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.	ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ ING. GASTON MENDOZA G.

FECHA	HORARIO	TEMA	PROFESOR
16 de Sept.	9:00 a 13:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. CESAR FALCON DE G. ING. FRANCISCO SUZAN C.
18 de Sept.	17:00 a 19:00 h.	FILTROS ROCIADORES.	ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ
	19:00 a 21:00 h.	DIGESTION Y MANEJO DE LODOS	ING. FRANCISCO MONTEJANO U. ING. FRANCISCO FLORES H.
19 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	DIGESTION Y MANEJO DE LODOS	ING. FRANCISCO MONTEJANO U. ING. FRANCISCO FLORES H.
20 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	DESINFECCION	ING. RODRIGO SOLIS A. ING. JORGE MOLINA REQUELME
21 de Sept.	17:00 a 21:00 h.	CONTROL Y ADMINISTRACION DE PLANTAS	ING. CARLOS MORA M.
22 de Sept.	17:00 a 18:00 h. 18:00 a 19:00 h. 19:00 a 20:00 h. 20:00 a 21:00 h.	TRATAMIENTO PRIMARIO, SECUNDARIO Y AVANZADO PRUEBAS DE CONTROL MANTENIMIENTO DE EQUIPO SEGURIDAD EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO	ING. W. N. WELLS
23 de Sept.	9:00 a 13:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. W. N. WELLS ING. FRANCISCO MONTEJANO U.
25 de Sept.	9:00 a 13:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. RICARDO SEPULVEDA ING. ARMANDO ADAME SAENZ
	14:00 a 17:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. RICARDO SEPULVEDA ING. ARMANDO ADAME SAENZ
26 de Sept.	9:00 a 13:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. RICARDO SEPULVEDA ING. ARMANDO ADAME SAENZ
	14:00 a 17:00 h.	CLASE PRACTICA (PLANTA DE CHAPULTEPEC)	ING. RODRIGO SOLIS A. ING. JORGE MOLINA RIQUELME

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

P R O G R A M A .

1. CONTAMINACION Y TRATAMIENTO

El problema de la contaminación del agua, causas, efectos y soluciones para corregirlo. La contaminación del agua versus la autopurificación y el tratamiento de los residuos líquidos. Reuso del agua.

Profesor:

Ing. Edmundo Izurieta R. (CEC)

Número de horas teóricas: 2

2. REVISION DE LOS PRINCIPIOS GENERALES DE HIDRAULICA EN CONDUCTOS.

Leyes que rigen la circulación de líquidos en conductos. Concepto de caudales y gastos. Conductos abiertos. Conductos cerrados. Presión hidrostática. Carga piezométrica. Pérdida de carga. Medición de caudales: Métodos prácticos, vertedores, aparatos más utilizados.

Profesor:

Ing. Francisco Flores Herrera (Inst.Ing.UNAM)

Número de horas teóricas: 4
Número de horas prácticas: 4

3. REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA.

Sólidos disueltos, en suspensión y sedimentables. pH. Demanda de cloro y cloro residual. Oxígeno disuelto (O_2). Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) Demanda química de oxígeno (DQO). Principios generales de los detergentes disueltos en el agua. Nitrógeno: ciclo, nitritos, nitratos. Fósforo. Principios de Microbiología. Principios generales de microscopía (plancton). Parámetros para medir la contaminación del agua. Caracterización y diferenciación de las aguas residuales domésticas e industriales de mayor importancia. Prácticas de laboratorio.

Profesores:

Ing. César Falcón de G. (DDF)
Ing. Francisco Suzán Colombres (Inst.Ing.UNAM)

Número de horas teóricas: 6
Número de horas prácticas: 4

4. PRINCIPIOS GENERALES DE BOMBAS Y MOTORES.

Principios de funcionamiento de bombas, motores y sopladores. Válvulas. Principales problemas de la operación, mantenimiento y accesorios. Instalaciones eléctricas. Sistemas de control. Mantenimiento preventivo.

Profesores:

Ing. Ricardo Sepúlveda (DDF)
Ing. Armando Adame Saenz (DDF)

Número de horas teóricas: 4
Número de horas prácticas: 2

5. REVISION DE LAS PRINCIPALES UNIDADES INTEGRANTES DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.

Resumen de los fundamentos del proceso del tratamiento y función de las partes integrantes. Presentación de casos especiales para el tratamiento primario y secundario de aguas domésticas e industriales. Esquemas de flujo.

Profesor:

Dr. Pedro Martínez Pereda (CEC)

Número de horas teóricas: 4

6. PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION.

Principios básicos para la separación de sólidos. Función del tratamiento preparatorio (rejillas, desmenuzadores y desarenadores). Sedimentadores Primarios y Secundarios. Pruebas para determinar la eficiencia. Control del influente y efluente. Remoción del material sólido y de lodos. Operación y mantenimiento de los equipos y limpieza de los tanques.

Profesores:

Ing. Gastón Mendoza G. (DDF)
Ing. Arnulfo Paz Sánchez (DDF)

Número de horas teóricas: 6

7. PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Importancia y función del tratamiento secundario en el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales. Fundamentos de los principales métodos de tratamiento secundario. Pruebas para determinar la eficiencia. Métodos de tratamiento. Lodos activados variantes. Equipos utilizados en la transferencia de

oxígeno y recirculación de lodos. Control del proceso. Operación y mantenimiento de equipos y tanques.

Profesores:

Ing. Arnulfo Paz Sánchez (DDF)
Ing. Gastón Mendoza Gamez (DDF)

8. FILTROS ROCIADORES.

Explicación del proceso secundario constituido por filtros rociadores. Descripción de las partes integrantes. Control del proceso. Normas generales sobre la operación y mantenimiento de los equipos y de las unidades estructurales. Normas para evitar molestias sanitarias (moscas y olores).

Profesor:

Ing. Arnulfo Paz Sánchez

Número de horas teóricas: 4

9. DIGESTION Y MANEJO DE LODOS

Descripción del proceso. Digestión aeróbica. Requisitos de aire. Control del proceso. Digestión anaeróbica. Control de la temperatura y del tiempo de digestión. Normas para la operación y mantenimiento de las unidades digestoras (equipos y unidades estructurales). Aprovechamiento de los gases. Pruebas de laboratorio para determinar el grado de digestión de los lodos. Métodos sobre el manejo de lodos.

Profesores:

Ing. Francisco Montejano Uranga (Div.Est.Sup. UNAM.)
Ing. Francisco Flores Herrera (Inst.Ing.UNAM)

Número de horas teóricas: 6

10. DESINFECCION

Función de la desinfección y el mejoramiento de la calidad del efluente. Breve descripción y fundamentos de los procesos de desinfección más utilizados. Cloradores e hipocloradores. Determinación del cloro residual. Normas para la operación y mantenimiento del equipo. Normas de seguridad. Ejercicios y Prácticas. Disposición de las aguas tratadas.

Profesores:

Ing. Rodrigo Solís Alba (SARH)
Ing. Jorge Molina Riquelme (SIMA)

Número de horas teóricas: 4
Número de horas prácticas: 2

11. CONTROL Y ADMINISTRACION DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.

Profesor:

Ing. Carlos Mora Mora

Número de horas teóricas: ____

12. TRATAMIENTO PRIMARIO, SECUNDARIO Y AVANZADO

Importancia del tratamiento de las aguas residuales. Unidades principales del tratamiento primario y secundario. Tratamiento avanzado (terciario): químico, ósmosis inversa y otros. Problemas de las unidades de tratamiento secundarias.

Profesor:

Ing. W. N. Wells

Número de horas teóricas: 1
Número de horas prácticas: 1

13. PRUEBAS DE CONTROL

Pruebas para el control de la operación de plantas con lodos activados. Pruebas de sedimentación en el licor mezclado. Prueba de sólidos suspendidos en el licor mezclado. Pruebas de oxígeno disuelto y de varias formas de nitrógeno.

Profesor:

Ing. W. N. Wells

Número de horas teóricas: 1
Número de horas prácticas: 1

14. MANTENIMIENTO Y REQUISITOS DE SEGURIDAD

Mantenimiento de equipo. Records. Lubricación. Motores. Bombas. Cojinetes. Transmisiones. Sopladores. Cloradores. Seguridad en las plantas de tratamiento.

Profesor:

Ing. W. N. Wells

Número de horas teóricas: 2
Número de horas prácticas: 3

Clases teóricas en el Palacio de Minería

Septiembre 4 al 22 de 1978. (17:00 a 21:00 Hrs.)

Coordinación:
Dr. Pedro Martínez Pereda (CEC)
Ing. Edmundo Izurieta R. (CEC)
Ing. Jorge Canseco López (CEC)

Clases Prácticas en la Planta de tratamiento de Chapultepec

Septiembre 9, 16 y 23 de 9:00 a 13:00 hrs., septiembre 25 y 26 todo el día.

Coordinación:

Ing. Gastón Mendoza Gamez (DDF)
Ing. Arnulfo Paz Sánchez (DDF)
Ing. César Falcón de G. (DDF)
Ing. Francisco Suzán C. (Inst.Ing. UNAM)
Ing. Francisco Flores Herrera (Inst.Ing.UNAM)

Prácticas en el Exterior

Salida rumbo a Houston	1° de octubre
Prácticas en plantas de Houston	2, 3 y 4 de octubre
Prácticas en la planta de San Antonio	5 y 6 de octubre
Regreso a la Ciudad de México	7 de octubre

Coordinación:

Ing. Francisco Montejano Uranga. (DESFI)

DIRECTORIO DE PROFESORES

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

ING: GASTON MENDOZA GAMEZ
JEFE DE LA OFICINA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO. DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN HIDRÁULICA, D.D.F.
SAN ANTONIO ABAD NO. 231 - 7° PISO
COL. OBRERA Z.P. 8
TEL.- 578-30-20

ING: FRANCISCO MONTEJANO URANGA
PROFESOR DE TIEMPO COMPLETO 'B'
DIVISIÓN DE ESTUDIOS SUPERIORES
FACT. DE INGENIERÍA - UNAM.
TEL.- 550-52-15 EXT. 4472

ING: FRANCISCO FLORES HERRERA
INVESTIGADOR- SEC. ING. SANITARIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA - UNAM.
TEL.- 550-52-15 EXT. 3603 ó 3604

ING: RODRIGO E. SOLIS ALBA
SUBDIRECTOR DE AREA DE INVESTIGACIÓN Y ENTRENAMIENTO- DIRECCIÓN GENERAL DE PROTECCIÓN Y ORDENACIÓN ECOLÓGICA. SARH.
AV. SAN BERNABÉ NO. 549
SAN JERÓNIMO LÍDICE Z.P. 20
TEL.- 595-29-88

ING: EDMUNDO IZURIETA RUIZ
PROFESOR DEL C.E.C.
TACUBA NO. 5
TEL.- 512-80-94

ING: FRANCISCO SUZAN COLOMBRES
INVESTIGADOR EN LA SEC. ING. - SANITARIA. INSTITUTO DE ING. UNAM.
TEL.- 550-52-15 EXT. 3603 - 3604

DR: PEDRO MARTINEZ PEREDA
JEFE DEL C:E:C:
TACUBA NO. 5 - 1ER. PISO
TEL.- 512-13-57

ING: ARNULFO PAZ SANCHEZ
OFICINA DE PLANTAS DE TRATA-
MIENTO - D:D:F:
SAN ANTONIO ABAD NO. 231-7°PISO
MEXICO 8, D.F.
TEL.- 578-32-18

ING: JORGE MOLINA RIQUELME
DIRECTOR GENERAL DE SERVICIOS
DE INGENIERIA DEL MEDIO AMBIENTE
PASEO DE LAS PALMAS NO. 755-401
TEL.- 540-70-17 AL 19

ING: JORGE CANSECO LOPEZ
COORDINADOR DE CURSOS DE INS-
TRUCCION PERSONALIZADA.-C.E.C.
PALACIO DE MINERIA
TACUBA NO. 5
TEL.- 521-86-44

ING: CESAR FALCON DE G:
OFICINA DE SUPERVISION DE LA
COMISION FED. DE ELECTRICIDAD
RÍO ELBA NO. 10 DESP. 101
MEXICO 6, D.F.
TEL.- 286-03-34

ING: RICARDO SEPULVEDA ALVAREZ
OFICINA DE ALCANTARILLADO- DI-
RECCION GRAL. DE CONSTRUCCIÓN Y
OPERACION HIDRAULICA, D:D:F:
PLAZA DE LA CONSTITUCION
EDIFICIO NUEVO ENTRE 20 DE NOV.
Y PINO SUAREZ, 2°PISO
TEL.- 521-49-92 Y 522-39-57

ING: ARMANDO ADAME SAENZ
OFICINA DE PLANTAS DE TRATA-
MIENTO . D:D:F:
SAN ANTONIO ABAD NO. 231 - 7°PISO
COL. OBRERA MEXICO 8, D.F.
TEL.- 588-33-16

MR: W: N: WELLS. P. E. DIRECTOR
POLLUTION CONTROL LABORATORIES
131 BANDERA ROAD
SAN ANTONIO TEXAX. 78228
-512- 734-9998 OFF.

ING: CARLOS MORA MORA
DIRECTOR GENERAL DE LABORATORIO
E INGENIERIA DE LA CALIDAD DEL AGUA
AV. COL. DEL VALLE NO. 637
COL. DEL VALLE
TEL.- 536-93-01 Y 543-91-94

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

CONTAMINACION DEL AGUA Y TRATAMIENTO

ING. EDMUNDO IZURIETA R.

SEPTIEMBRE, 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tel: 521-40-20

CONTAMINACION DEL AGUA Y TRATAMIENTO

I INTRODUCCION

Los tres fenómenos debidos al aumento demográfico, urbanización e industrialización están creando múltiples problemas ecológicos que deberían preocuparnos y encontrar una pronta solución.

Todavía no se conoce el mecanismo sobre la adaptación del hombre al fenómeno ecológico; por lo mismo, es un imperativo plantear prontas soluciones a los problemas que tienden a modificar las características del ambiente.

El control sanitario del medio en el que vivimos es muy importante, las condiciones insalubles han producido más muertes y enfermedades que cualquier otro fenómeno. Por fortuna, la ingeniería sanitaria y ambiental, así como las disciplinas afines disponen, hoy en día, de técnicas suficientes para sanear cualquier tipo de ambiente habitado por el hombre. La aplicación de esos conocimientos es practicamente ilimitada, debiendo plantearse como meta, a ser alcanzada por todas las comunidades no sólo como un objetivo sanitario sino como una característica de progreso.

La contaminación podría describirse, en términos generales como la alteración desfavorable del medio que nos rodea, ocasionando problemas que tienden a gobernar la dinámica de la salud, de la economía y de los carácteres socia-

les del ser humano. La magnitud y complejidad de los problemas respresentan un desafío a todos los elementos consecutivos en esta sociedad.

El mejoramiento de la calidad del ambiente requiere frecuentemente innovaciones técnicas, así como también mucha imaginación para llevar a cabo efectivos programas de control. Además, es indispensable la comprensión y apoyo de la comunidad para poder interrelacionar la calidad del medio que se desea con el costo de las acciones.

Los desperdicios o residuos producto de la vida urbana, doméstica, social, agrícola, recreativa e industrial, que no son adecuadamente tratados y dispuestos ocasionan al teraciones físicas, químicas y biológicas en las características del aire, agua, suelo y la creación de problemas que deterioran los recursos materiales y naturales. Poco se conoce de las implicaciones a largo plazo que significan exponer al hombre a bajas concentraciones de sustancias tóxicas, en lo que respecta a aspectos fisiológicos y sicológicos. Estos y otros factores como el uso adecuado de la tierra, crecimiento industrial acelerado inducen al pronto establecimiento de programas bien administrados.

A partir de los estudios demográficos se podrá estimar en forma cualitativa y cuantitativa los problemas abientales que pueden derivarse del incremento de las concentraciones urbanas en determinadas regiones del país. Será necesario evaluar con cifras el significado que tendrán esas grandes concentraciones humanas en las alteraciones que se produzcan en el agua y suelo.

El estudio y control de la contaminación requieren, de una acción conjunta y mancomunada entre todas las instituciones oficiales a los diferentes niveles. Será indispensable planear las actividades en tal forma que nos permita la preparación de programas, adiestramiento del personal y búsqueda de métodos para financiar, diseñar y operar las facilidades o medios de tratamiento.

Por otro lado, será necesario establecer normas sobre la calidad del medio ambiente para lo cual es indispensable disponer la información científica adecuada que nos permita definir los límites de calidad, integrar los estudios individualizados para poder relacionar los efectos existentes entre el medio y el hombre.

Asimismo, la definición de la calidad del me

dio que se desea tener será indispensable para determinar el costo de las medidas preventivas y de control.

II CAUSAS Y EFECTOS DE LA CONTAMINACION DEL AGUA.

Son innumerables los ejemplos que pueden citarse para ilustrar como el hombre ha usado y abusado de las aguas superficiales, creando serias condiciones, muchas veces sin el conocimiento de las autoridades interesadas. Por fortuna, la intervención de ciertas personas de visión ha impedido que la situación empeore y se produzca un grave deterioro de ese recurso natural.

Los pasos acelerados que se están dando en los países de la América para lograr su pronto desarrollo está estimulado vivamente la creación de nuevas industrias, sean estas, grandes, medianas o pequeñas. Esta actividad, acompañada de la ilusión que significa dar trabajo a un grupo de personas, la producción de un nuevo artículo que impide la salida de divisas, el simple afán de figurar en la lista de países que están industrializándose, hace ignorar que ese desenvolvimiento debe ir aparejado de un profundo estudio sobre las posibles condiciones del medio que se crea con el nuevo establecimiento industrial.

establecimiento industrial.

Aire, agua y suelo deberán ser motivo de concretar las nuevas situaciones que se crean. La ubicación de la industria no sólo es importante para satisfacer los requerimientos sanitarios, si no para lograr economías en el desplazamiento de la fuerza laboral, deberá tomarse en consideración el futuro inmediato y mediato de la industria para predecir los aspèctos sociales y económicos derivados de su localización.

Por pequeña que sea una industria, en su proceso, se requieren la disposición de desechos gaseosos, líquidos y sólidos. Estos residuos significan la adición de nuevos elementos al medio que modifican su composición creando situaciones adversas y perjudiciales para el ambiente fabril o al que tiene el hombre en las comunidades donde vive.

La urbanización es un fenómeno real de todos los pueblos, producto de la atracción que siente el hombre por la ciudad, sea para satisfacer sus necesidades económicas buscando un trabajo remunerativo o para satisfacer sus necesidades sicológicas y sociales, está generando, si no se la efectúa en forma ordenada y planeada, la creación de condiciones ambientales que tienden a degra

dar la calidad del medio. Residuos líquidos y sólidos tienden a disponerse al suelo o al agua, sin prever las implicaciones que eso acarrea si no se emplea la tecnología adecuada.

La contaminación del agua, aparte de producir situaciones inadecuadas para que el hombre pueda usar ese recurso en la satisfacción de sus necesidades domésticas, agrícolas o industriales, origina la perturbación del medio en el que se desarrolla la comunidad acuática. Esa alteración puede ocasionar que ciertas especies proliferen y otras tiendan a desaparecer. Por ejemplo, las especies de protozoarios que se alimentan de bacterias pueden aumentar cuando la carga bacteriana es alta. Más aún, la contaminación puede ocasionar el desarrollo de ciertas especies que pueden soportar o tolerar la perturbación o desequilibrio, tomando ventaja de las nuevas condiciones. Al mismo tiempo, aquellas especies que no pueden tolerar el nuevo régimen ecológico originado tienden a reducirse o desaparecer.

La contaminación puede ocasionarse principalmente por la presencia de sólidos en suspensión, sustancias tóxicas, cargas orgánicas y el calor.

Los sólidos en suspensión producen la reducción de la

penetración de la luz en el agua. La luz es importante en el proceso de fotosíntesis que aporta oxigeno y sustituye al que es reducido por la respiración de los animales acuáticos. Se ha comprobado que la fotosíntesis es más importante que la turbulencia del agua para obtener la reoxigenación del ecosistema acuático.

Siendo el oxígeno disuelto un elemento indispensable para lograr la estabilización de la materia orgánica dispuesta en el agua, lo lógico será establecer condiciones de equilibrio entre aquél y la demanda química y biológica de oxígeno . Esa relación nos da la pauta sobre la clase y grado de tratamiento que requiere un residuo líquido doméstico e industrial.

No siempre la contaminación del agua se debe únicamente a la carga orgánica, hay sustancias químicas que producen alteraciones en el medio acuático, entre las principales tenemos: plaguicidas, herbicidas, fungicidas; fertilizantes que actúan a través del nitrógeno y fósforo como nutrientes produciendo fenómenos de eutraficación; detergentes y metales pesados.

Los plaguicidas constituyen un grupo muy variado de sustancias tales como insecticidas, rodenticidas, molusquicidas, herbicidas, fungicidas. Su uso es muy variado y se lleva a cabo en

forma poco técnica, sin ajustarse a las especificaciones que existen para cada uno de ellos. En la agricultura se emplean básicamente para la protección de las siembras (herbicidas para el arroz, maíz y caña de azúcar; fungicidas para las patatas e insecticidas para una gran variedad de árboles), programas de salud pública para el control o erradicación de ciertos vectores responsables de la transmisión de enfermedades (paludismo, chagas y otras) y en el control de ciertos vectores que pueden no transmitir enfermedades pero constituyen molestias sanitarias, (viviendas, edificios comerciales e industrias).

Dada la enorme variedad de plaguicidas existentes, se los clasifica en dos grupos "A" y "B". Al primero pertenecen los organoclorados y los organofosforados y al segundo principalmente ciertos herbicidas. Todos ellos son tóxicos en mayor o menor grado, dependiendo de la concentración. Se han logrado establecer normas sobre los niveles de concentración tanto en el agua de consumo doméstico, alimentos y el agua donde hay vida acuática productiva.

Para las aguas superficiales que se emplean como fuente de abastecimiento se han fijado algunos criterios:

Plaguicidas	Concentración (mg/l)
Aldrín	0.017
Clordano	0.003
DDT	0.042
Dieldrina	0.017
Lindano	0.056

El uso de plaguicidas, principalmente en la agricultura, determina que por escurrimientos del agua se produzcan concentraciones en lagos, estuarios, costas, etc., hecho que reviste caracteres de toxicidad para una serie de especies acuáticas como ostras, camarones jóvenes y otras que son económicamente importantes. Las otras, por ejemplo, pueden vivir en presencia de DDT hasta niveles de 0.1 mg/l; pero, a niveles 1,000 veces menores (0.1 Microgramos/litro) la producción es 20% de la normal y las poblaciones de camarones sufren una mortalidad del 20%.

La toxicidad de una sustancia se establece por el límite de tolerancia media (median tolerance limit T.Lm), que consiste en la cantidad o concentración necesaria para matar el 50% de los organismos en 96 horas o menos.

La toxicidad de los plaguicidas se determina respecto al camarón y los límites tolerables son los siguientes y están expresados en microgramos por litro (μ g/l.)

Plaguicida	T Lm - 48 Horas μ g/l
Aldrín	0.04
BCH	2.0
Clordano	2.0
Lindano	0.2
DDT	0.6
Dieldrín	0.3

Otras sustancias que desempeñan papel importante en la contaminación del agua son los detergentes. Su uso está muy generalizado tanto en la industria como en la vida doméstica y se diferencian de los jabones en su estructura química y propiedades.

Hasta la presente fecha se han empleado detergentes constituídos por fosfatos responsables del ablandamiento del agua. Por el hecho de producir grandes cantidades de espuma dificultan el tratamiento del las aguas negras, además, son sustancias de compleja composición molecular difícil de ser agradable por medio de las bacterias. Los detergentes comunmente empleados se les co

noce como del tipo ABS (alky-benezene-sulfonate). Sus concentraciones en las aguas superficiales que se emplean como fuentes de abastecimiento doméstico se limita a 0.5 mg/l.

Estados Unidos e Inglaterra están haciendo grandes esfuerzos para reemplazar los detergentes aniónicos (ABS) por otros compuestos con menor contenido de fosfatos como el LAS, aún más, se ha determinado que el mejor sustituto será el Acido nitrilo-triacetato (NTA). Este compuesto es 60 por ciento degradable por los procedimientos biológicos empleados en el tratamiento de aguas residuales y las experiencias en animales revelan que no tiene efectos genéticos o evidencia de toxicidad.

Un fabricante sueco, recientemente ha dado a conocer haber producido un detergente que contiene 16 por ciento de citrato de sodio y es 100 por ciento biodegradable.

Existen otros elementos que alteran considerablemente la calidad del agua y por ello ocasionan su contaminación, estos son los metales pesados, que en altas concentraciones hacen indeseable al agua para el consumo doméstico o matan la vida acuática.

Entre los elementos tóxicos que juegan un papel impor-

tante tenemos el mercurio (Hg), plomo (Pb), níquel (Ni), cadmio - (Cd) y arsénico (As).

Algunas experiencias han demostrado haber encontrado - anormalidades bioquímicas en personas expuestas a concentracio - nes de plomo (aire y agua) se añaden compuestos de plomo a la ga solina para evitar detonaciones. También, los compuestos de níquel presentes en el aceite diesel son de peligro potencial para la sa - lud pública. Existe una clara relación entre el contenido de cadmio en los sistemas de abastecimiento de agua y las enfermedades car diovasculares.

Por otra parte, metales como el zinc (Zn), magnesio (Mg) hierro (Fe), cobre (Cu), en concentraciones dos o tres veces mayo res a los normales pueden producir daños que se hacen presentes - solamente después de prolongados períodos.

Respecto al mercurio debemos mencionar que por efecto de la luz solar hay reacciones de fotosíntesis con la presencia de la materia orgánica (plankton), que desempeña un papel cataliza - dor y transforma los compuestos inorgánicos de mercurio en methyl- mercurio que es absorbido por los peces, creando intoxicaciones - en las personas que lo emplean como alimento.(Bahía de Minamata-

Japón).

En relación con el arsénico debemos mencionar que son muy conocidos los efectos que producen las altas concentraciones de ese elemento en el agua de consumo. Las normas establecen límites no mayores a 0.05 mg/l. Hay otro hecho importante respecto a este elemento y consiste en que hay varios detergentes de uso doméstico que contienen arsénico en cantidades variables. Un hecho evidente constituye los riesgos de contaminación a través de los residuos que quedan en la ropa lavada.

En el anexo se han sintetizado los principales efectos de los contaminantes, así como también los riesgos biológicos y químicos a los que está expuesta la salud humana.

El manejo de los residuos líquidos que son dispuestos en los cursos de agua, para que no sean dañinos al hombre y no produzcan degradación del ambiente, supone la ejecución de una serie de actividades que podrían resumirse así: análisis de los residuos, reconocimiento de las corrientes, control de las plantas industriales (modificación del proceso y reducción de los residuos y desperdicios), educación, cumplimiento de las Leyes y Reglamentos, disposiciones: tratamiento preliminar, control de los residuos líquidos,

construcción y tratamiento de las obras.

A los contaminantes se les clasifica en: causantes de enfermedades, conservativos y no conservativos. En estos tres grupos existen ocho categorías generales:

- agentes infecciosos
- residuos que demandan oxígeno
- nutrientes de plantas
- compuestos químicos orgánicos
- compuestos inorgánicos y minerales
- sedimentos
- materiales radioactivos
- calor

Entre los primeros se incluyen aquellos que se refieren a la salud. Los conservativos son estables y no se degradan por los procesos biológicos normales, como por ejemplo los compuestos inorgánicos, es el caso de los cloruros que pueden ser diluídos pero no reducidos en cantidad. Los contaminantes no conservativos en el sistema acuático natural cambian sus características debido a las fuerzas físicas, químicas y biológicas. El residuo líquido (agua negra) es un desecho orgánico altamente inestable y puede conver-

tirse en bióxido de carbono, materiales inorgánicos y substancias celulares.

La contaminación de las corrientes tiene efecto sobre la vida acuática. El tratamiento generalmente no es completo después de lograr la estabilización de la materia por el proceso biológico, o después de que el residuo líquido haya recorrido los primeros kilómetros en la corriente de agua. El tratamiento será completo, solamente, cuando ya no se encuentren trazas de los materiales de desecho en cantidades que puedan ser objetables a los usuarios del agua.

Al estudiar los cambios de una corriente de agua, por efecto de las descargas de materiales degradables, se tiene un nuevo sistema ecológico que debe adaptarse a las nuevas condiciones. Se produce primero una zona de degradación, seguida de una zona de descomposición y luego una de recuperación, en cada una de esas condiciones cambian el número y tipos de especies acuáticas. Los nutrientes disponibles proveen de alimentación a ciertos microorganismos, creando una demanda de oxígeno. Los microorganismos que metabolizan los alimentos y se reproducen bajo condiciones aeróbicas requieren de la presente de oxígeno gaseoso disuelto; por tan

to, mientras más abundante sea el alimento los organismos requieren más oxígeno disuelto. En caso contrario, si el alimento disminuye las necesidades de oxígeno también disminuyen. Al producirse la reareación se restablece la concentración de oxígeno en la corriente.

La disposición inadecuada de las aguas residuales, tanto en cursos de agua como en el suelo, originan alteraciones en la salud del hombre como consecuencia de la ingestión de aguas y alimentos contaminados.

La contaminación del agua da lugar a riesgos biológicos, que son los que originan los microorganismos patogénicos dando lugar a enfermedades como el: cólera, disentería bacilar, fiebres tifoidea y paratifoidea, gastroenteritis, diarreas infantiles, parálisis infantil, hepatitis infecciosa, etc. Además, se presentan parasitosis como la amibeasis, ascariasis, triquinosis, esquistosomiasis. Por último están las enfermedades producidas por vectores que se desarrollan en el medio acuático.

Las aguas contaminadas también ocasionan riesgos químicos debidos a la presencia de sustancias químicas que se encuentran en el agua, en proporciones superiores a las que el hombre puede tolerar.

Así por ejemplo, la existencia de nitratos y nitritos en cantidades superiores a 45 mg/1 produce la metahemoglobinebia.

Los floruros dan lugar a la florosis y ostio florosis.

El arsénico en el agua debe su presencia a - causas naturales ocasionadas por los residuos industriales o a los plaguicidas, el límite permisible en el - agua potable es de 0.05 mg/1, las aguas con concentraciones de 0.6 a 0.8 mg/1 dan lugar a una intoxicación endémica (por acumulación del arsénico) denominada pie negro; es un elemnto responsable del cancer.

El mercurio existe en las aguas naturales en concentraciones de 0.01 a 0.3 microgramos/1. Su origen se encuentra en las minas, industrias del papel y pulpa, - plástico,electrónica, agricultura y empleo de combustibles fósiles. El límite permisible en el agua potable es de 0.001 mg/1. Es responsable de alta toxicidad.

El plomo está contenido en las aguas naturales en concentraciones de 0.01 a 0.03 mg/1. Su orígen se - debe a contacto del agua con las tuberías de plomo y - plástico, combustibles, industrias de baterias, etc. Es un elemento que se acumula en los tejidos del hombre,

peces y mariscos. El límite permisible en el agua es de 0.1 mg/1. Es responsable de la enfermedad denominada saturnismo.

El cadnio se encuentra en las aguas naturales en pequeñas proporciones 1.0 microgramos/1 pero puede ascender hasta 10 microgramos/1. Los residuos de ciertas industrias continen este elemento que se hace presente en el material sedimentado en las plantas de tratamiento. Es altamente tóxico y posiblemente ocasiona efectos cardiovasculares. El japón tiene un ejemplo - típico de toxicidad masiva ocasionada por el consumo de arroz contaminado. El límite persible en el agua potable es de 0.01 mg/1.

La dureza del agua es debida a la presencia de elementos como el calcio y el magnesio. Durezas bajas del agua de consumo están asociadas con una mayor prevalencia de enfermedades cardiovasculares y de la himpertensión.

Los plaguicidas organoclorados se encuentranpresente en el agua debido a la contaminación que ocasionan los residuos provenientes de la agricultura e industria. Son compuestos de baja solubilidad, muy persistentes y permanecen sin cambio por muchos años. Ocasionan toxicidad aguda en concentraciones de 5 microgra

mos/1 y menos, de ahí que se adopte como factor de seguridad a 1/100. En los Estados Unidos las aguas tienen concentraciones medias que varian de 0.2 a 28.0 nanogramos/1 litro.

Los plaguicidas órganos fosforados (diacinón, malatión, paration, clortion, dipterex) tienen la característica de hidrolizarse más facilmente que los plaguicidas órganos clorados; por lo mismo, persisten aproximadamente menos de un año, se degradan más facilmente; pero, son más agresivos que los primeros ocasionando mayor toxicidad en el hombre y en la fauna marina.

Existen otras sustancias que están presentes en las aguas residuales como respuesta a los adelantos del individuo, éstos son los detergentes aniómicos - (A.B.C.), son responsables de las grandes cantidades de espuma que se producen en las plantas de tratamiento, interfieren con la autopurificación del agua y el tratamiento natural. Los detergentes de la cadena lineal (LAS) son mas biodegradables. Se sugiere que la concentración deseable no debe exceder de 0.2 mg/1.

III CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES

Las características de las aguas residuales están definidas por un determinado número de parámetros que tie-

nen especial significado, tanto en las aguas municipales como en las industriales. Los parámetros de mayor importancia son los siguientes:

1) La demanda bioquímica de oxígeno (DBO), indica el contenido de la materia orgánica biodegradable contenida en el residuo líquido.

2) La demanda química de oxígeno (DQO), indica el contenido total de materia orgánica, tanto degradable como refractaria.

3) Sólidos suspendidos (SS) y sólidos suspendidos volátiles (SSV).

4. Sólidos totales (ST)

5. pH alcalinidad y acidez

6. Nitrógeno (N), fósforo (P)

7. Metales pesados y sólidos inorgánicos

En sesiones de clase posteriores se tratará sobre la parte teórica y práctica de cada uno de estos parámetros. En esta ocasión, para dar unamejor explicación al tema diremos que la DBO es un parámetro muy utilizado, las cifras provienen de pruebas de laboratorio efectuadas a 5 días y 20°C.

La biodegradación de la materia orgánica tiene dos fases, una producida en la materia que contiene carbón - (carbonosa) y otra en la materia que contiene nitrógeno (nitrificación).

El desarrollo de la reacción para degradar la materia orgánica es variable de acuerdo a la composición del residuo líquido, de ahí que el valor de la constante de reacción (K) tiene diferentes valores como los - que se indican a continuación:

SUBSTANCIA	K 10
Residuos líquidos crudos	0.15-028
Filtros rociadores	0.12-0.22
Efluente de lodos activados (alta - eficiencia)	0.06-0.10
Cursos de agua con baja contaminación	0.04-0.08

En la gráfica se indican las curvas para líquidos cuyas coeficientes son menores a 0.1 y mayores a - 0.2.

Como se indicó anteriormente la descomposición de la materia carbonosa (primera fase), así como la de la materia que contiene nitrógeno (nitrificación), tienen representaciones matemáticas que son las siguientes.

1a. Fase $Y = Lo \ (1 - 10^{-kt})$

2a. Fase $Y = Lxb \ (1 - 10^{-K2t})$

A manera de ilustración se indica las características de las aguas residuales municipales:

CARACTERISTICAS DE AGUAS RESIDUALES
(municipales)

Características	promedio
pH	7.2
Sólidos sedimentables, mg/1	3.3
Sólidos totales, mg/1	453
Sólidos totales volátiles, mg/1	217
Sólidos suspendidos, mg/1	145
Sólidos suspendidos volátiles, mg/1	120
Demanda química de oxígeno, mg/1	288
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/1	147
Cloruros, mg/1	35

IV AUTODEPURACION DE LAS AGUAS

Las masas de agua estacionarias o móviles tienen una capacidad limitada para asimilar las cargas contaminantes. El fenómeno de recuperación se denomina "autodepuración de las aguas".

La oxidación biológica de la materia orgánica requiere el consumo de oxígeno, para la producción de materia organica estabilizada. Si en un curso de agua se efectúa una descarga orgánica, ésta para su -

estabilización consumirá el oxígeno disuelto en el agua del río. El coeficiente de desoxigenación se conoce con K_1.

La transformación de la materia orgánica conteniendo nitrógeno es un proceso que se efectúa posteriormente río abajo (2a fase) y se debe a la acción de un grupo especializado de bacterias denominadas nitrosomonas y nitrobacter. Las primeras producen nitritos y las segundas nitratos.

El oxígeno disuelto en la masa líquida el río dependerá de algunas condiciones tales como la velocidad del flujo (V) profundidad del curso de agua (H), temperatura del agua (p) actividad en el fondo del río (n=0.1 para aguas quietas y n=0.6 para aguas torrentosas).

El oxígeno consumido en el río, aparte del requerido para la oxidación de la materia orgánica, debemos considerar también el consumido en el proceso respiratorio de las plantas acuáticas, el necesario para la formación y desarrollo de organismos parásitos (hongos) y el de la demanda de substancias químicas (sulfitos).

El oxígeno del curso de agua o río recupera mediante la difusión del gas proveniente de la atmósfera y la producción de O_2 proveniente de la fotosíntesis que se opera en la masa líquida por efecto de la luz solar.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS REDUALES.

CONTAMINACION Y TRATAMIENTO

(Continuación).

ING. EDMUNDO IZURIETA R.

SEPTIEMBRE, 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F. Tels: 521-40-23 521-73-35 5123-123

estabilización consumirá el oxígeno disuelto en el agua del río. El coeficiente de desoxigenación se conoce con K_1.

La transformación de la materia orgánica conteniendo nitrógeno es un proceso que se efectúa posteriormente río abajo (2a fase) y se debe a la acción de un grupo especializado de bacterias denominadas nitrosomonas y nitrobacter. Las primeras producen nitritos y las segundas nitratos.

El oxígeno disuelto en la masa líquida el río dependerá de algunas condiciones tales como la velocidad del flujo (V) profundidad del curso de agua (H), temperatura del agua (p) actividad en el fondo del río (n=0.1 para aguas quietas y n=0.6 para aguas torrentosas).

El oxígeno consumido en el río, aparte del requerido para la oxidación de la materia orgánica, debemos cnsiderar también el consumido en el proceso respiratorio de las plantas acuáticas, el necesario para la formación y desarrollo de organismos parásitos (hongos) y el de la demanda de substancias químicas (sulfitos).

El oxígeno del curso de agua o río se recupera mendiante la difusión del gas proveniente de la atmósfera y la producción de 0_2 proveniente de la fotosíntesis que se opera en la masa líquida por efecto de la luz solar.

En el desarrollo de las fórmulas se conoce por K_2 el coeficiente de reaeración. En otras palabras, éste en la consecuencia de la difusión del oxígeno atmosférico (O_2) producido por las plantas.

Los cambios ecológicos que se producen en las masas de aguas móviles (ríos), como consecuencia de la acción de una descarga contaminante (residuos domésticos o industriales), se manifiestan en el trayecto del río zonas que tienen características especiales.

Zona de degradación: localizada inmediatamente abajo del punto de descarga; se nota la disminución del oxígeno disuelto; producción de sedimentos; desaparición de peces; aparición de gusanos; sanguijuelas, algas gelatinosas hongos típicos; presentación del proceso séptico (naeróbico), por los malos olores debidos a gases como el H_2S y CH_4; las aguas son turbias, razón por la cual no hay penetración de la luz y fotosíntesis; aumentan las bacterias, etc.

Zona de descomposición: el oxígeno disuelto se abate totalmente si la carga organica fue muy alta; no existe vida acuática (peces); las aguas son de color - gris (septicidad); producción de H_2, H_2S y CH_4; aparece espuma en la superficie y lodos flotantes, debido al empuje de los gases que se producen por descomposición de los sedimentos del fondo del río (material béntico).

Zona de reucperación: hay recuperación paulatina en el oxígeno disuelto, en ocasiones es el 40% del de saturación, aparece la vida organica macróscopica - asícomo los peces y el agua empieza a perder la turbiedad; hay crecimiento de algas unicelulares y desaparecen los hongos; la materia orgánica, se presenta estabilizada (aumento de carbonatos, fosfatos, nitratos, sulfatos, etc.).

Zona de equilibrio: es la última, con total recuperación oxígeno disuelto saturado, vida acuática, - etc. No existe una formula matemática para determinar la longitud del río hasta obtener la zona de equilibrio dependerá de todos los factores antes indicados.

V TRATAMIENTO

Existe un gran número de procesos de tratamiento cuya aplicación dependerá de las características de los residuos líquidos.

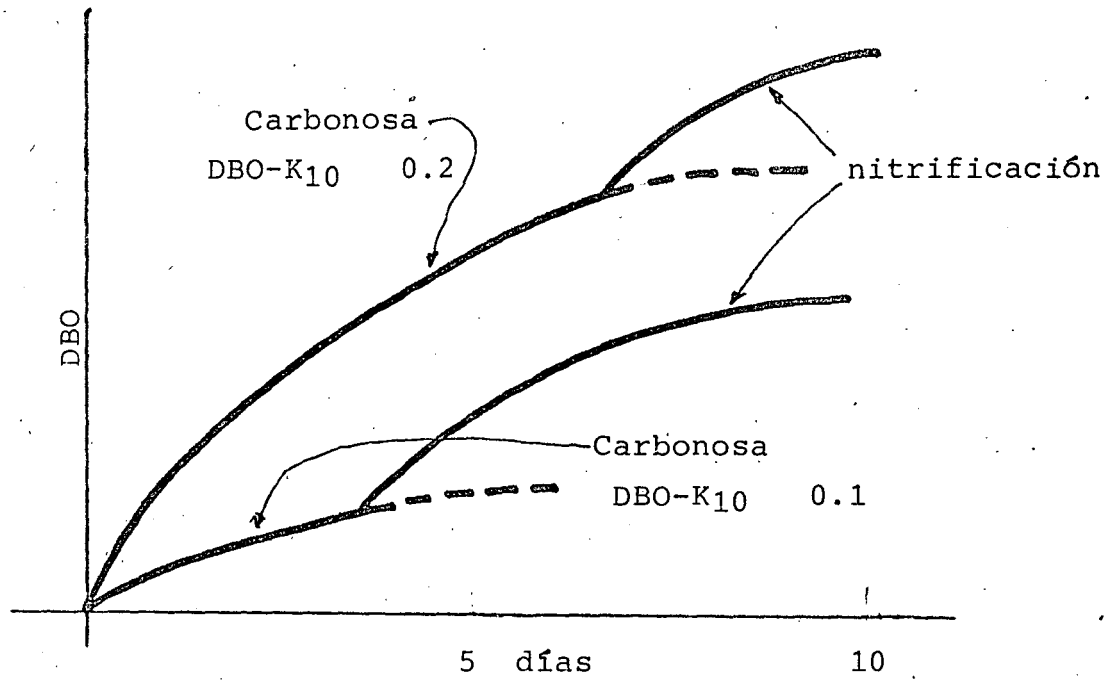
En terminos generales, el tratamiento de los residuos líquidos municipales, no tienen mayores complicaciones técnicas, debido a la composición de los residuos líquidos que son en su mayoría de origen doméstico y - comercial. Usualmente existe un tratamiento preparatorio (rejillas, desarenadores, separación de aceites y- grasas, sedimentación primaria (para la remoción de sólidos sedimentables en suspensión), tratamiento biológico (para el material orgánico disuelto o en suspen-- sión no sedimentable, mediante lodos activados, filtros rociadores, etc.), sedimentación secundaria (para la remoción de sólidos sedimentables en suspensión), digestión de los lodos y disposición de los mismos.

El tratamiento que los residuos industriales tiene tecnología mas avanzada, añadiendo procesos como homogenezación, neutralización y en ocasiones tratamiento avanzados (terciario); en el gráfico anexo se destaca - los pasos más acostumbrados.

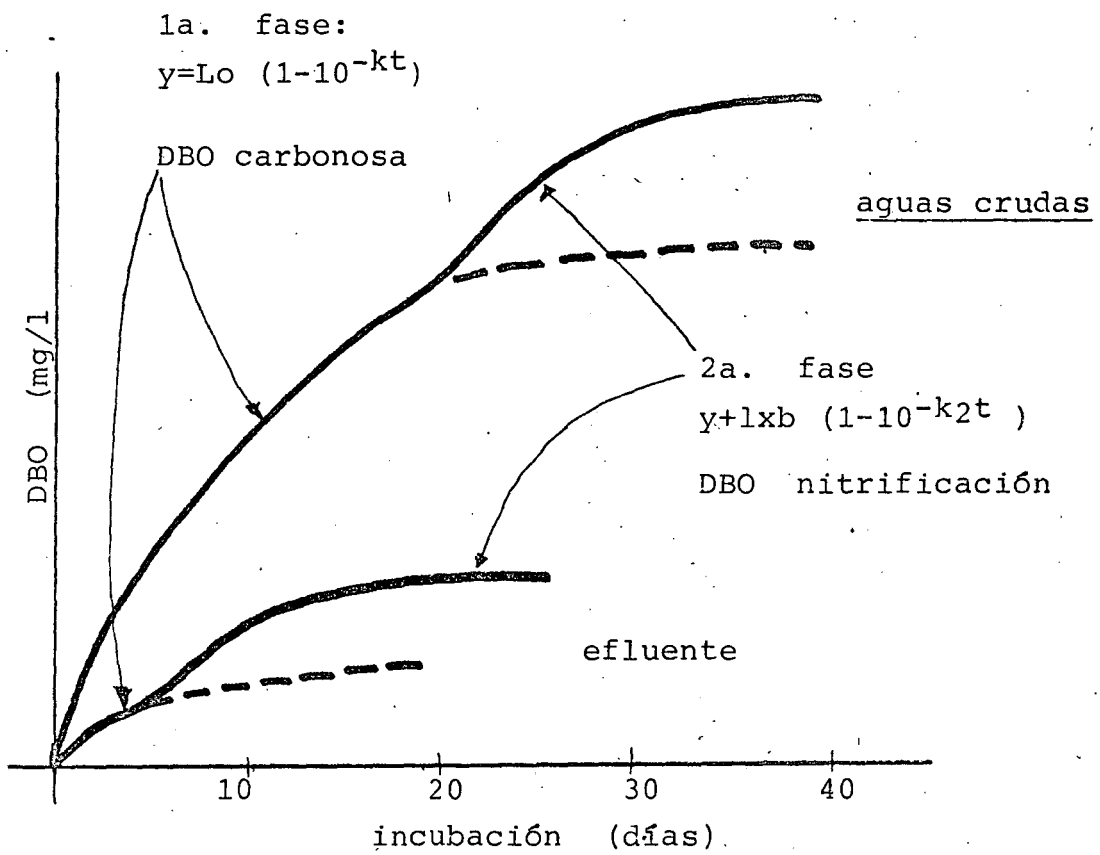
El buen funcionamiento de una planta de tratamiento depende intimamente de las normas de operación y mante

nimiento que se utilicen. Por esta razón, en las conferencias posteriores se destacarán las actividades que se deben llevar a cabo en cada uno de los procesos a fin de obtener la eficiencia prevista en la planta.

Para ilustrar, en el gráfico adjunto se indican las pruebas de laboratorio que deben hacerse con el objeto de controlar el funcionamiento de cada una de las unidades consecutivas de la planta. Como ejemplo se ha seleccionado un sistema de tratamiento compuesto de: neutralización, tratamiento primario, tanque de aeración (tratamiento biológico), sedimentador final (secundario), circulación de lodos y digestor.

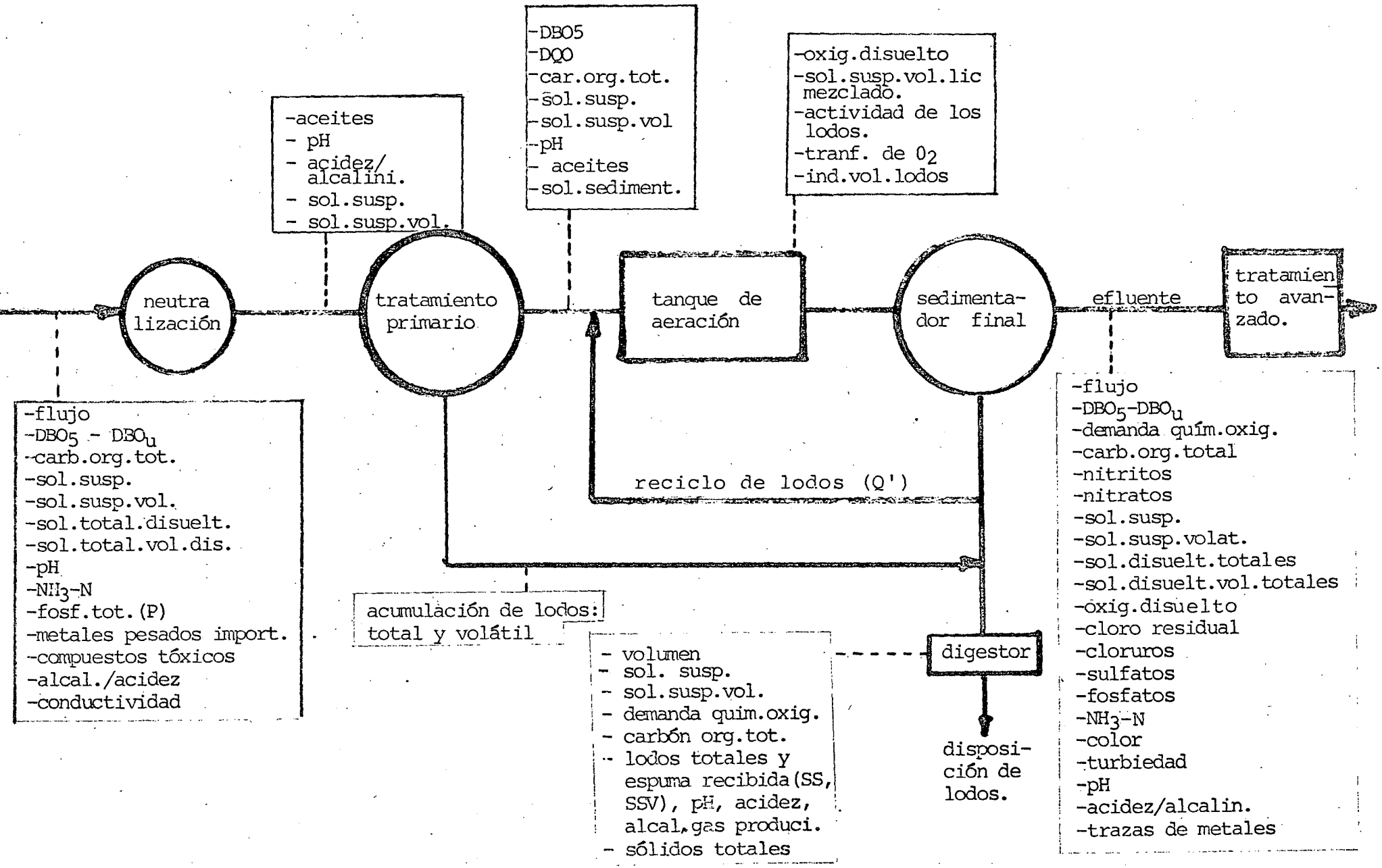


VALORES DE LA CONSTANTE k EN LA DETERMINACION DBO.

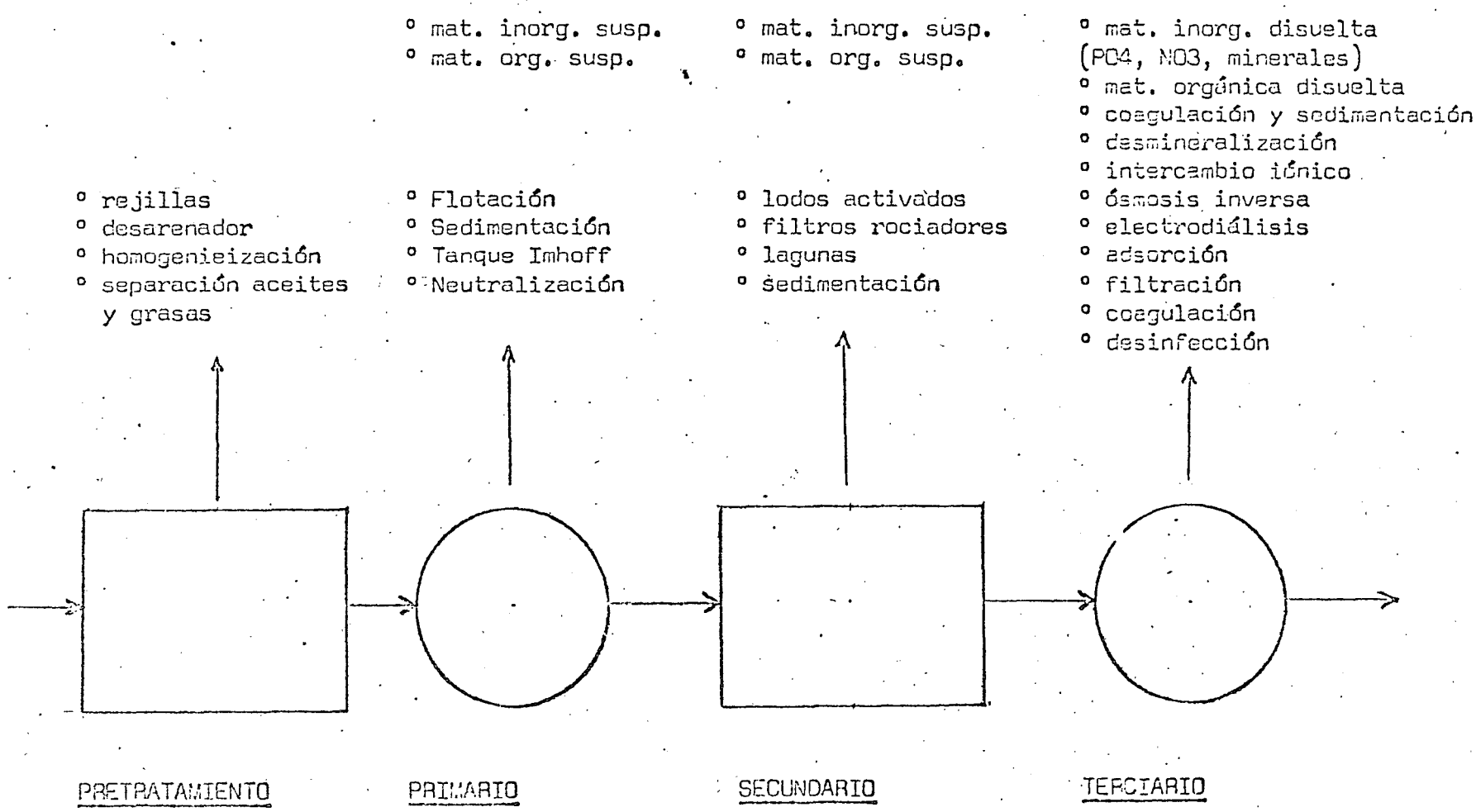


FASES EN LA ESTABILIZACION DE LA MATERIA ORGANICA

PRUEBAS DE LABORATORIO RECOMENDABLES PARA CONTROLAR LA OPERACION DE LA PLANTA



PROCESO DE TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS LIQUIDOS



Fco Flores Herrera

REVISION DE LOS PRINCIPIOS GENERALES DE HIDRAULICA EN CONDUCTOS.

La rama de la mecánica aplicada que estudia el comportamiento de los fluidos ya sea en reposo o en movimiento constituye la mecánica de los fluidos y la hidráulica. En el desarrollo de los principios de la mecánica de los fluidos algunas de las propiedades de los fluidos juegan un papel preponderante, mientras que otras o influyen muy poco o nada. En la estática de los fluidos, el peso específico es la propiedad importante, mientras que en el flujo de fluidos la densidad y la viscosidad son las que predominan.

Cuando tiene lugar una compresibilidad apreciable es necesario considerar los principios de la termodinámica. Al intervenir presiones manométricas negativas la tensión de vapor pasa a ser importante y la tensión superficial afecta a la estática o cinemática de los fluidos cuando las secciones de paso son pequeñas.

Definiciones.

Fluidos. Son sustancias capaces de "fluir" y que se adaptan a la forma de los recipientes que los contienen. Los fluidos pueden dividirse en líquidos y gases, sus diferencias esenciales son a) los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles y b) los líquidos ocupan un volumen definido y tienen superficies libres mientras que una masa dada de gas se expansiona hasta ocupar todas las partes del recipiente que lo contenga.

Peso específico, w.

Es el peso de la unidad de volumen de una sustancia dada. El peso específico del agua para las temperaturas mas comunes es de 1000 kg/m^3

Densidad de un cuerpo, ρ.

Es la masa por unidad de volumen. En el sistema técnico de unidades, la densidad del agua es $102\ UTM/m^3 = 102\ kg\ seg^2/m^4$

Densidad relativa de un cuerpo, es un número adimensional que viene dado por la relación del peso del cuerpo al peso de un volumen igual de una sustancia que se toma como referencia. Los sólidos y líquidos se refieren al agua a 4^oC, mientras que los gases se refieren al aire libre de CO_2 e hidrógeno a $0\ ^oC$ y 1 Atm de presión, como condiciones normales.

$$\text{densidad relativa de una sustancia} = \frac{\text{peso de la sustancia}}{\text{peso de igual volumen de agua}} = \frac{\text{peso específico de la sust}}{\text{peso específico del agua}}$$

Viscosidad de un fluido. Es aquella propiedad que determina la cantidad de resistencia opuesta a las fuerzas cortantes. La viscosidad se debe primordialmente a las interacciones entre las moléculas del fluido.

La viscosidad cinemática, ν, se define por la ecuación:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\mu}{w/g} = \frac{\mu g}{w} \quad \text{en } m^2/seg$$

La viscosidad absoluta o dinámica, μ, está dada en $kg\ seg/m^2$

Presión de un fluido. La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. Las medidas de presión se realizan con los manómetros. La presión manométrica representa el valor de la presión con relación a la presión atmosférica.

La presión viene expresada por una fuerza por una superficie.

En general,

$$p = \frac{\text{fuerza}}{\text{area}} = \frac{P}{A} \quad \text{en } Kg/m^2$$

Diferencia de presiones.

La diferencia de presiones entre dos puntos a distintos niveles en un líquido viene dada por

$$p_2 - p_1 = w\,(h_2 - h_1) \quad \text{en } kg/m^2$$

donde w peso específico del líquido, en kg/m^3

$h_2 - h_1$ diferencia en elevación, en m

Presión absoluta. Es la presión total que existe en un punto debida a todas las causas que influyen para producirla

Presión relativa. Es la presión que resulta de restar la presión atmosférica a la absoluta.

Fundamentos del flujo de fluidos.

El flujo de fluidos es complejo y no siempre se puede estudiar de manera exacta mediante el análisis matemático. Contrariamente a lo que sucede con los sólidos, las partículas de un fluido en movimiento pueden tener diferentes velocidades y estar sujetas a distintas aceleraciones. Tres principios fundamentales que se aplican al flujo de fluidos son :

a) el principio de conservación de masa, a partir del cual se establece la ecuación de continuidad,

b) el principio de la energía cinética, a partir del cual se deducen ciertas ecuaciones aplicables al flujo, y

c) el principio de la cantidad de movimiento, a partir del cual se deducen ecuaciones para calcular las fuerzas dinámicas ejercidas por los fluidos en movimiento

Flujo permanente. El flujo permanente tiene lugar cuando, en un punto cualquiera, la velocidad de las sucesivas partículas que ocupan ese punto en los sucesivos instantes es la misma.
Un flujo es no permanente cuando las condiciones en un punto cualquiera del fluido varían con el tiempo

Líneas de corriente. Las líneas de corriente son curvas imaginarias dibujadas a través de un fluido en movimiento y que indican la dirección de este en los diversos puntos del flujo fluido.

Tubos de corriente. Un tubo de corriente está constituído por una región parcial del flujo fluido delimitada por una familia de líneas de corriente que lo confinan.

Ecuación de continuidad. La ecuación de continuidad es una consecuencia del principio de conservación de la masa. Para un flujo permanente, la masa de fluido que atraviesa cualquier

sección de una corriente de fluido, por unidad de tiempo, es constante. Esta puede calcularse como sigue

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 = \text{constante}$$

$$w_1 A_1 V_1 = w_2 A_2 V_2 \qquad \text{en kg/seg}$$

Para fluidos incompresibles y para todos los casos prácticos en que $w_1 = w_2$, la ecuación se transforma en

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 = \text{constante} \qquad \text{en } m^3/\text{seg}$$

donde

A , area de la sección transversal, en m^2

V , velocidad media de la corriente, en m/seg

Ecuación de la energía.

Se obtiene la ecuación de la energía al aplicar al flujo fluido el principio de conservación de la energía. La energía que posee un fluido en movimiento está integrado por la energía interna y las energías debidas a la presión, a la velocidad y a su posición en el espacio. Para el flujo de fluidos incompresibles esta escuación toma la forma:

$$\frac{p_1}{w} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 - H_L = \frac{p_2}{w} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2$$

El principio del impulso- cantidad de movimiento de la dinámica establece que

Impulso = variación de la cantidad de movimiento, o

$$F_x = Q\,(V_2 - V_1)_x$$

Flujo de fluidos en tuberías.

Existen dos tipos de flujos permanentes en el caso de fluidos reales, que es necesario considerar y entender. Estos se llaman flujo laminar y flujo turbulento. Ambos tipos de flujos vienen gobernados por leyes distintas.

Flujo laminar . En el flujo laminar las partículas fluidas se mueven según trayectorias paralelas, formando el conjunto de ellas capas o láminas. La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a la turbulencia.

Velocidad crítica. La velocidad crítica es aquella velo idad por debajo de la cual toda toda turbulencia es amortiguada por la acción de la viscosidad del fluido. La experiencia demuestra que un límite superior para el régimen laminar, en tuberías, viene fijado por un valor del número de Reynolds alrededor de 2000 en la mayoría de los casos prácticos.

Número de Reynolds. Es un número adimensional dado por la relación;

$$R_e = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{V d}{\nu}$$

donde

ρ , densidad del fluido, en kg seg^2/m^4

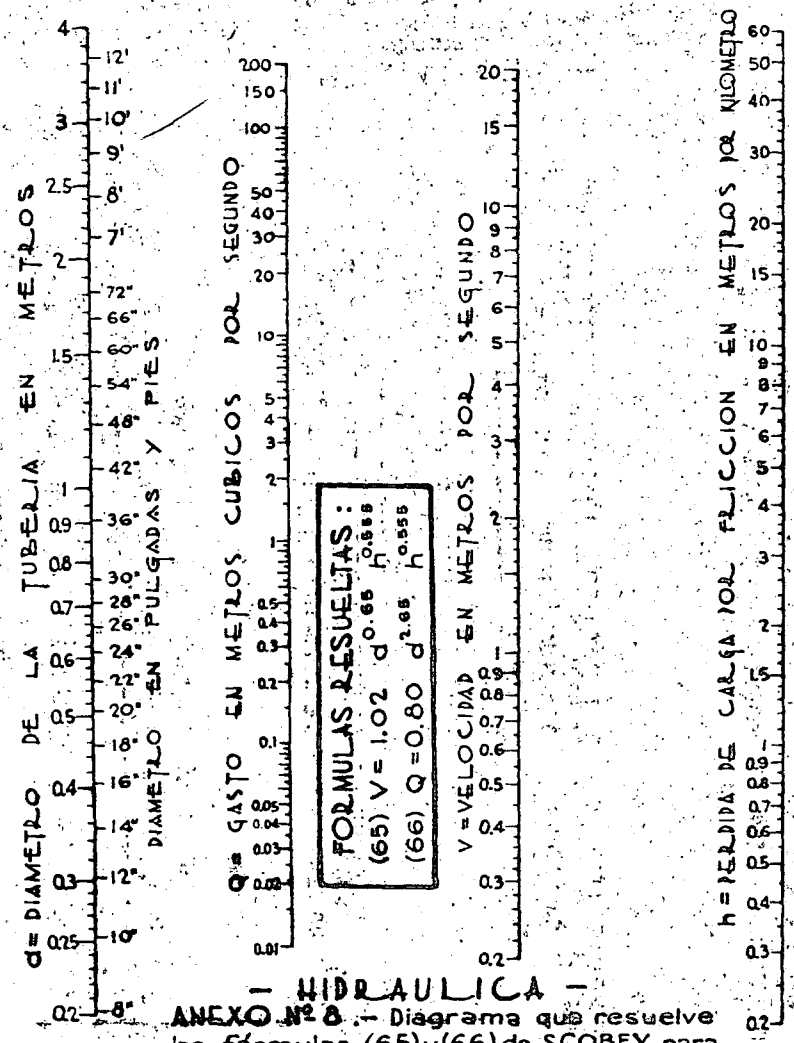
V , velocidad media, en m/seg

d , diámetro de la tubería, en m

μ , viscosidad absoluta, en kg seg/m^2

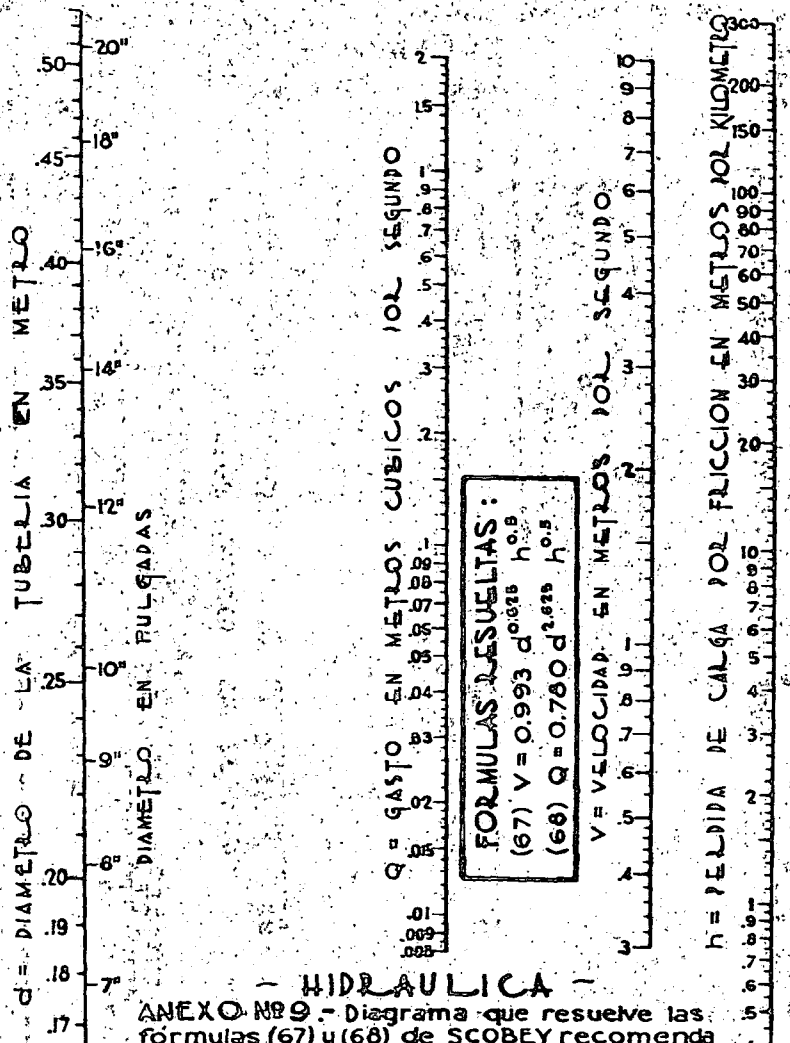
ν , viscosidad cinemática del fluido, en m^2/seg

En el caso de conductos de sección recta no circular se utiliza como longitud característica el radio hidráulico, igual al cociente del área de la sección transversal por el perímetro mojado, en m



— HIDRAULICA —

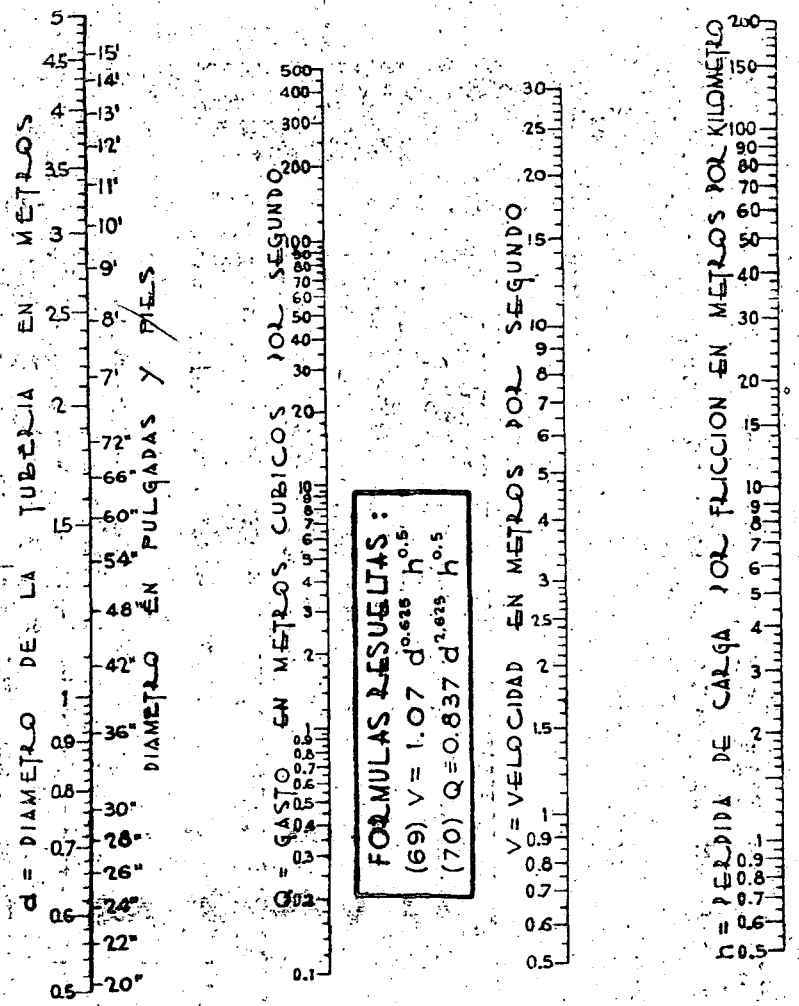
ANEXO Nº 8 .- Diagrama que resuelve las fórmulas (65) y (66) de SCOBEY para el cálculo de tuberías de tablones



— HIDRAULICA —

ANEXO Nº 9 .- Diagrama que resuelve las fórmulas (67) y (68) de SCOBEY recomendadas para el cálculo de tuberías de concreto precoladas y de diametros comprendidos entre 0.30m. y 0.53 m.

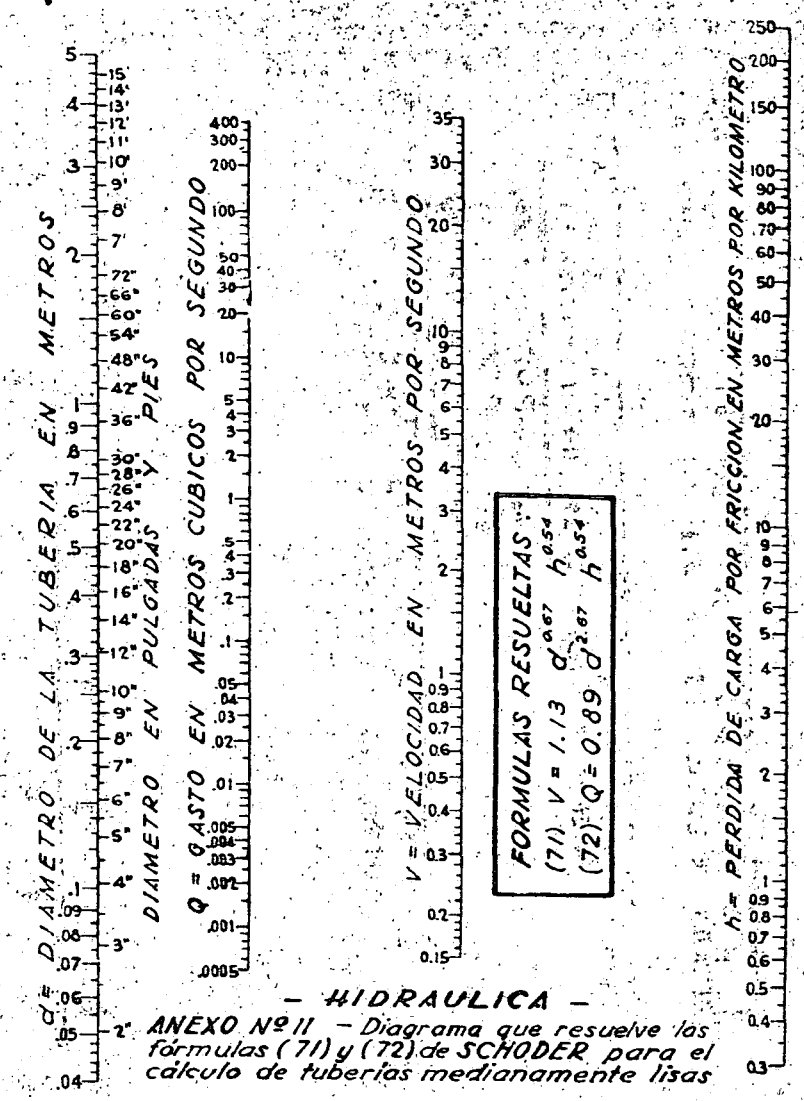
H.1 de 2



— HIDRAULICA —

ANEXO Nº10.- Diagrama que resuelve las fórmulas (69) y (70) de SCOBEY recomendadas para el cálculo de tuberías de concreto precoladas y de diametros mayores de 0.53m.

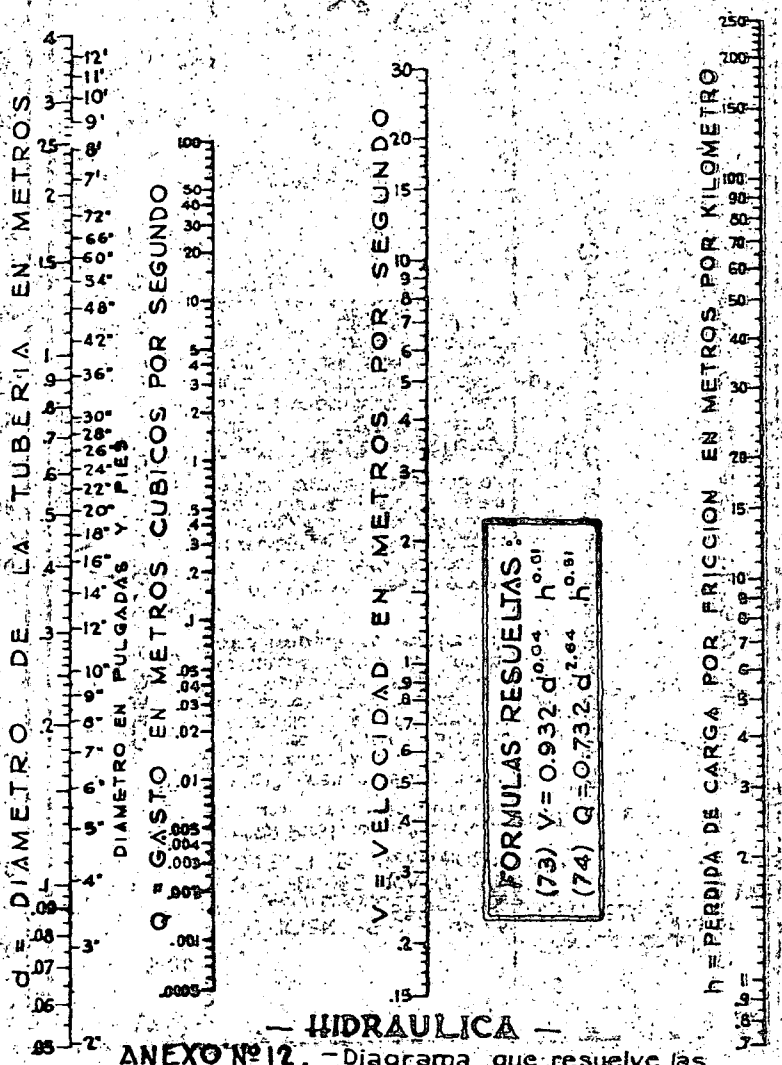
H.2 de 2



— HIDRAULICA —

ANEXO Nº11 — Diagrama que resuelve las fórmulas (71) y (72) de SCHODER para el cálculo de tuberías medianamente lisas

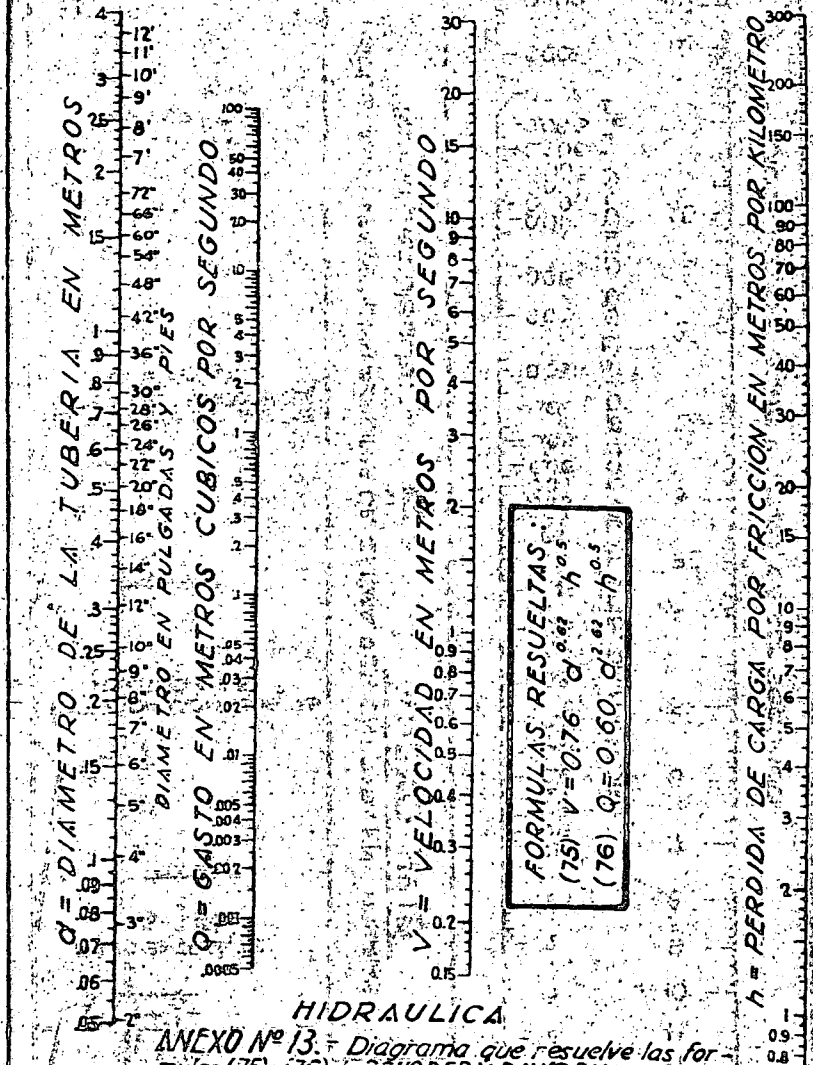
H.1 de 3



— HIDRAULICA —

ANEXO Nº 12. — Diagrama que resuelve las fórmulas (73) y (74) de SCHODER y DAWSON para el cálculo de tuberías incrustadas

H. 2 de 3

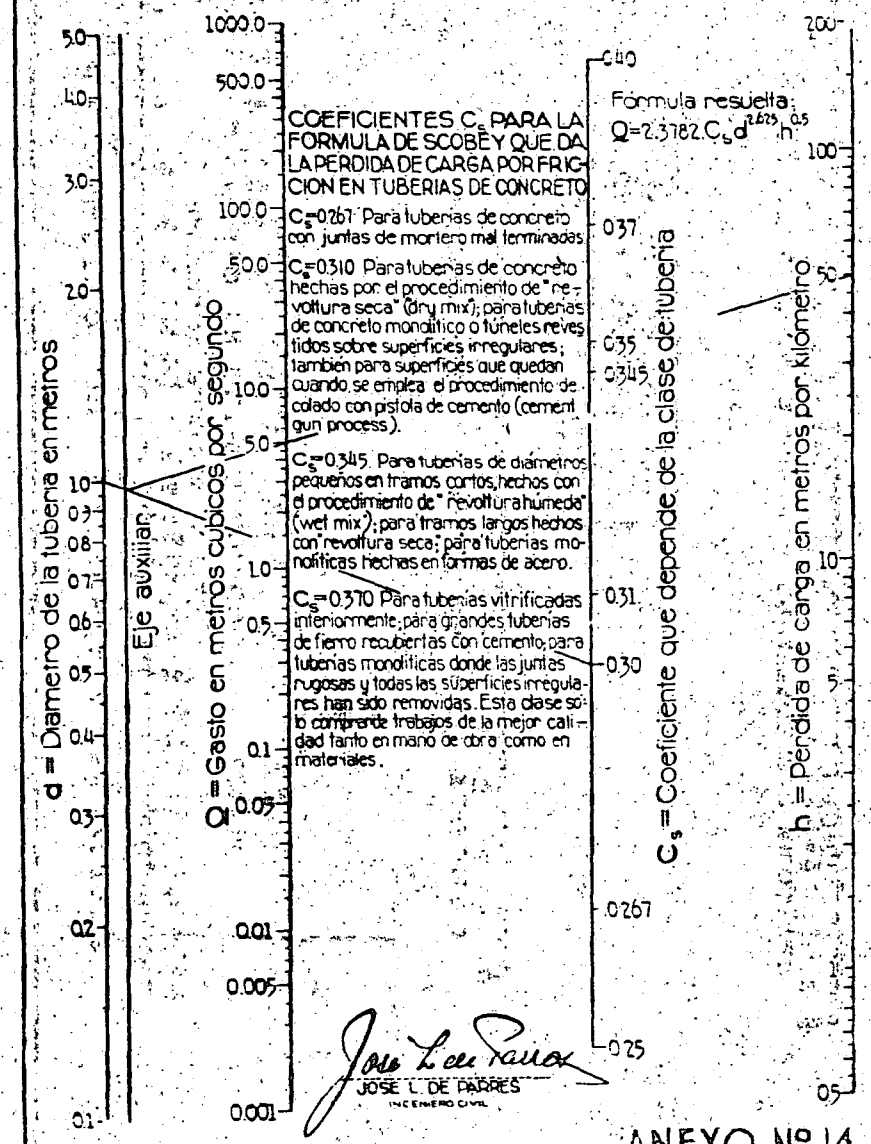


HIDRAULICA

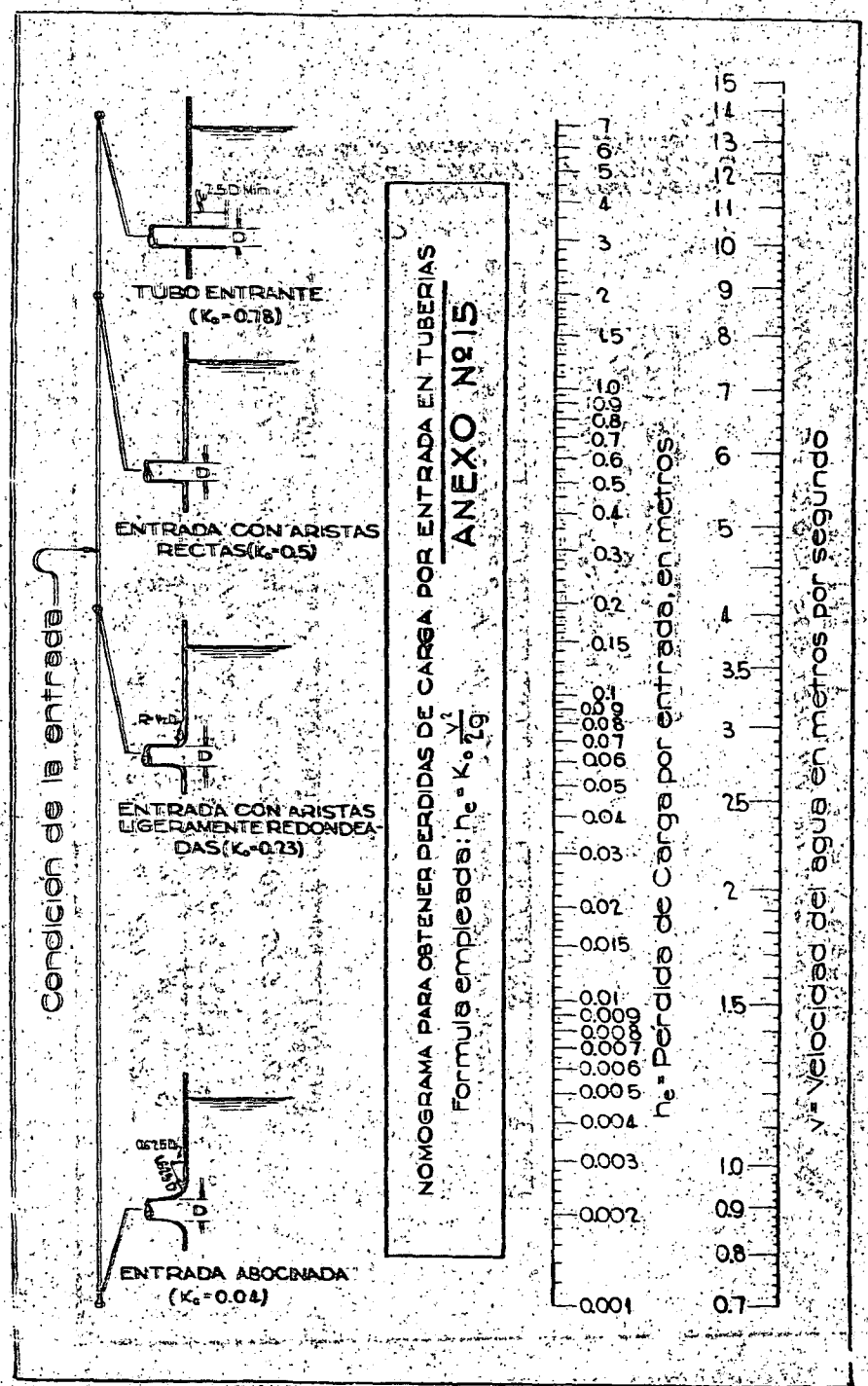
ANEXO Nº 13. — Diagrama que resuelve las fórmulas (75) y (76) de SCHODER Y DAWSON para el cálculo de tuberías fuertemente incrustadas.

H. 3 de 3

DIAGRAMA PARA LA RESOLUCION DE LA FORMULA DE SCOBEY QUE DA PERDIDA DE CARGA EN TUBERIAS DE CONCRETO



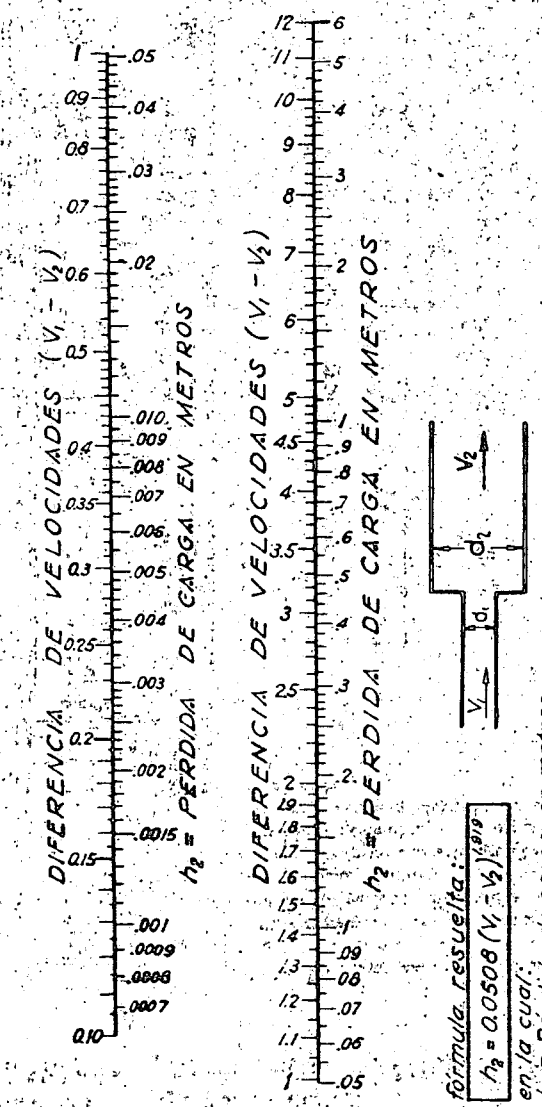
ANEXO Nº 14



ANEXO Nº 15

— HIDRAULICA —

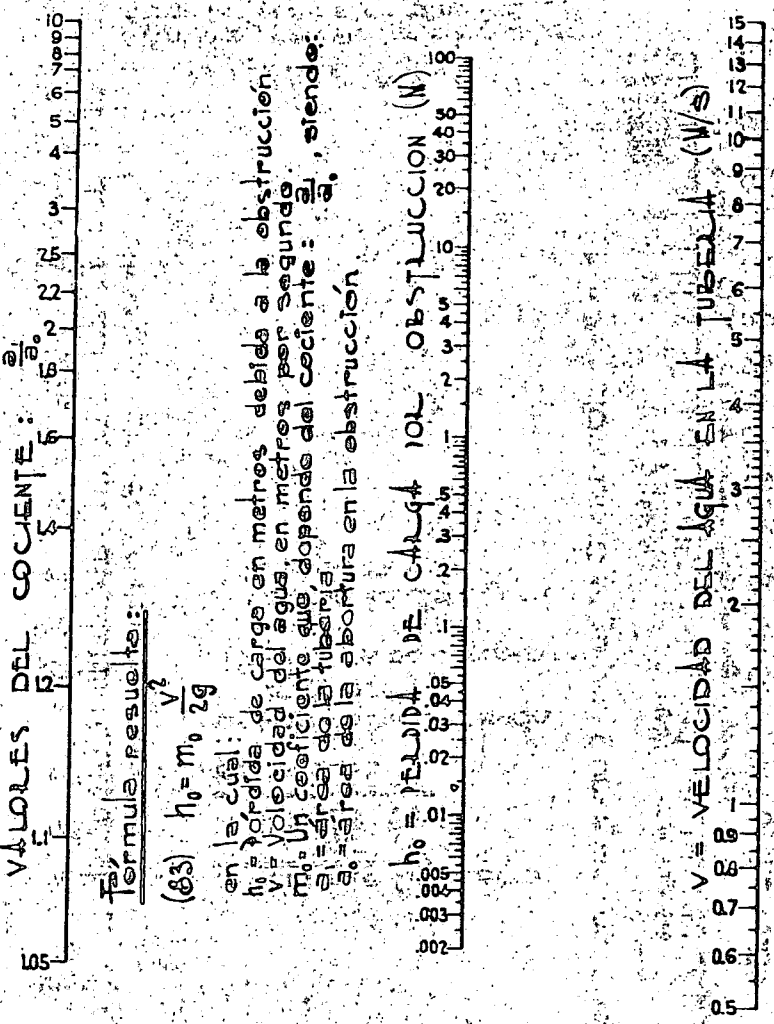
ANEXO Nº 16 — ESCALAS ADYACENTES QUE RESUELVEN LA FORMULA DE ARCHER, PARA EL CALCULO DE LA PERDIDA DE CARGA POR AMPLIACION BRUSCA DE SECCION. —



fórmula resuelta:

$$h_2 = 0.0508\,(V_1 - V_2)^{1.919}$$

en la cual:
h_2 = Pérdida de carga en metros.
V_1 = Velocidad en la tubería de menor diámetro.
V_2 = Velocidad en la tubería de mayor diámetro.



Fórmula resuelta:

$$h_0 = m_0 \frac{V^2}{2g} \quad (83)$$

en la cual:
h_0 = Pérdida de carga en metros debida a la obstrucción.
V = Velocidad del agua, en metros por segundo.
m_0 = Un coeficiente que depende del cociente: $\frac{a_1}{a_0}$, siendo:
a_1 = Area de la tubería.
a_0 = Area de la abertura en la obstrucción.

— HIDRAULICA —

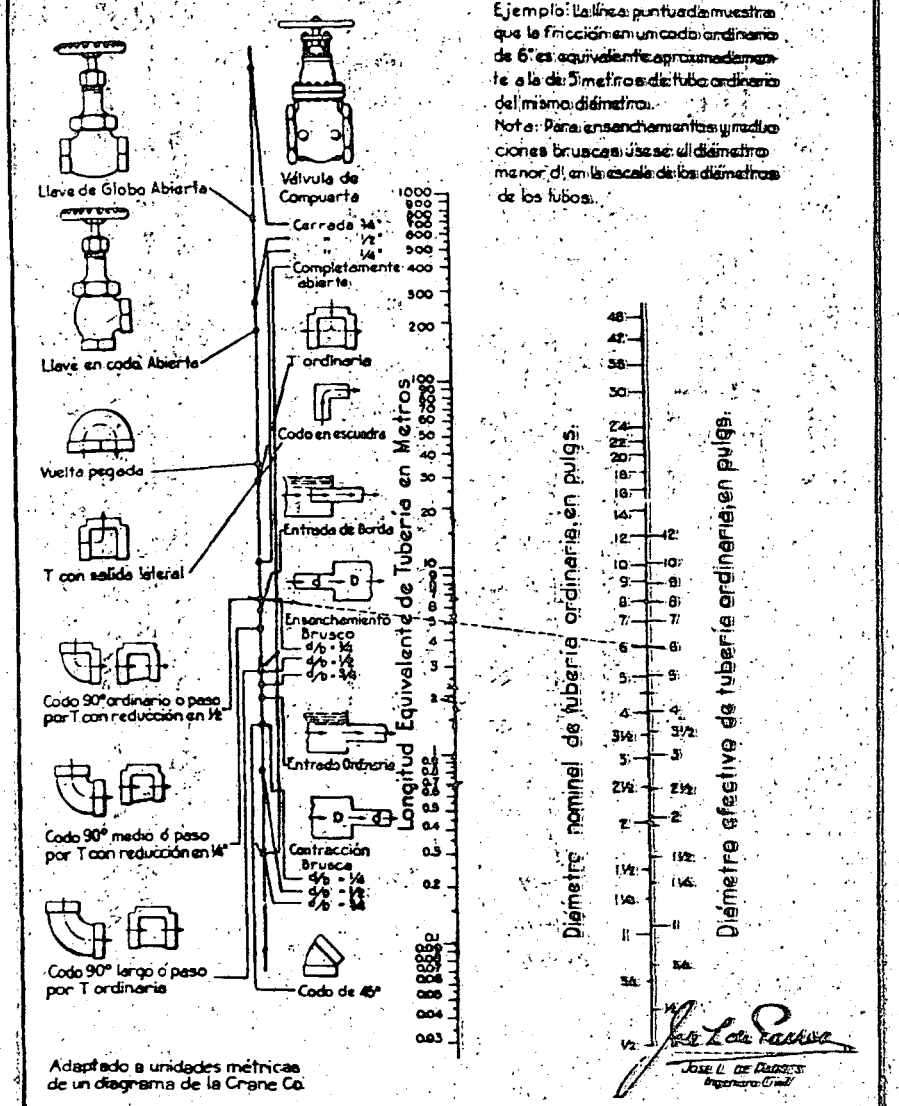
ANEXO Nº 17 — Diagrama para obtener pérdida de carga por obstrucción o válvulas en tuberías.

Pérdida de Carga por Fricción en Válvulas y Accesorios

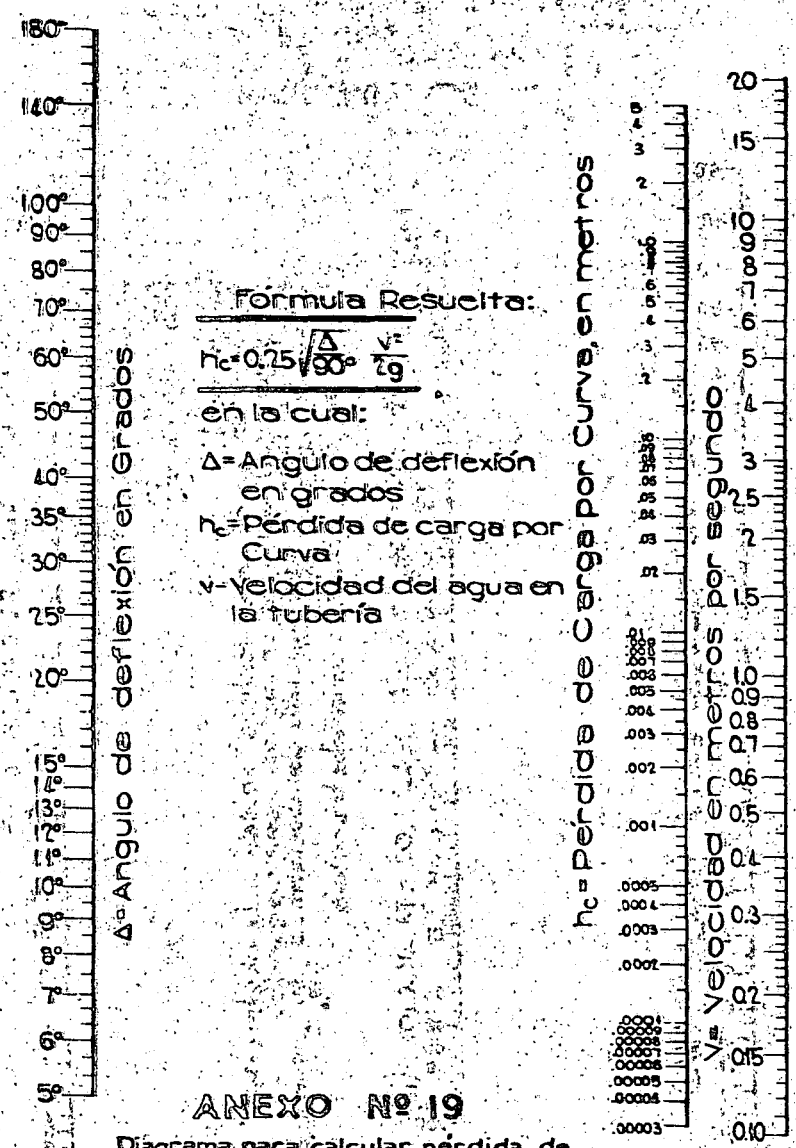
ANEXO Nº 18

Ejemplo: La línea punteada muestra que la fricción en un codo ordinario de 6" es equivalente aproximadamente a la de 5 metros de tubo ordinario del mismo diámetro.

Nota: Para ensanchamientos y reducciones bruscas, úsese el diámetro menor d, en la escala de los diámetros de los tubos.



Adaptado a unidades métricas de un diagrama de la Crane Co.



ANEXO Nº 19

Diagrama para calcular pérdida de carga por curvas en tuberías.

Flujo turbulento. En el flujo turbulento las partículas fluidas se mueven de forma desordenada en todas las direcciones. es imposible conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

Flujo en canales abiertos

Un canal abierto es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido.

El flujo laminar en canales abiertos se dará para valores del número de Reynolds de 2000 o menores

El gasto, Q, para flujo uniforme y permanente, aplicando la formula de Manning es

$$Q = A\,V = \frac{1}{n}\,A\,R^{2/3}\,S^{1/2}$$

Pérdida de carga, h_L , expresada en términos de la fórmula de Manning, es

$$h_L = \frac{V\,n}{R^{2/3}}\,L \qquad \text{haciendo} \quad S = h_L / L$$

En el caso de flujo no uniforme pueden emplearse los valores medios de V y R con aceptable precisión. Para un canal largo se emplearán longitudes cortas en las que los cambios en profundidad sean de la misma magnitud.

Medición de gastos

Las medidas del flujo fluido comprenden la determinación de la presión, velocidad, gasto, ondas de choque, gradientes de densidad, turbulencia y viscosidad. Los métodos pa efectuar estas medidas pueden ser directos, indirectos, gravimétricos, volumétricos, electrónicos, electromagnéticos y ópticos. Los métodos directos resuelven este problema determinando el volumen o el peso del fluido que pasa a través de una sección en un cierto tiempo. Las medidas indirectas determinan la altura, la diferencia de presiones o de velocidades en varios puntos de una sección y con estos datos calculan el gasto.

Determinación del gasto pesando la descarga.

En este método es necesario conocer el peso del recipiente vacío y con el líquido acumulado durante un incremento de tiempo El gasto se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \frac{(W_2 - W_1) / w}{t}$$

donde

W_2 peso del recipiente con el líquido, en kg

W_1 peso del recipiente vacío, en kg

w peso específico del líquido, en kg/m^3

t tiempo, en seg

Q gasto, en m^3/seg

Determinación del gasto midiendo el volumen.

Este procedimiento es similar al anterior, excepto que en lugar de pesar se mide el volumen del líquido.

$$Q = \frac{V}{t}$$

donde

V volumen captado en el recipiente en la unidad de tiempo considerada

Dispositivos para la medición de gastos

Tubo de Pitot

Es un tubo vertical en su mayor parte, y horizontal en un extremo, el cual se sumerge en el fluido al operar, está abierto en ambos extremos y se coloca como se muestra en la fig 1.
La altura a la cual el líquido asciende en el tubo coincide con la altura de velocidad. Aplicando el teorema de Bernoulli entre A y B se tiene $V_B = C\,(2gH)^{1/2}$

$$\therefore \quad Q = A\,V_B$$

Orificios

El orificio de aforo se utiliza para medir el gasto que sale de un recipiente o que pasa a través de una tubería. El orificio, en el caso de un recipiente, puede hacerse en la pared o en el fondo. Es una abertura, generalmente redonda, a través de la cual fluye el líquido como se ve en la fig 2 y que puede ser de arista viva o redondeada. El área del orificio es el área del orificio. Con el orificio en arista viva el chorro fluido se contrae en una distancia corta de aproximadamente diámetro y medio aguas abajo del orificio. El fluido que se aproxima al orificio a lo largo de la pared no puede torcer en ángulo recto al llegar al orificio, por eso conserva la velocidad una componente radial que disminuye el área del chorro. La sección transversal en la que la contracción es mayor se llama sección contraída.

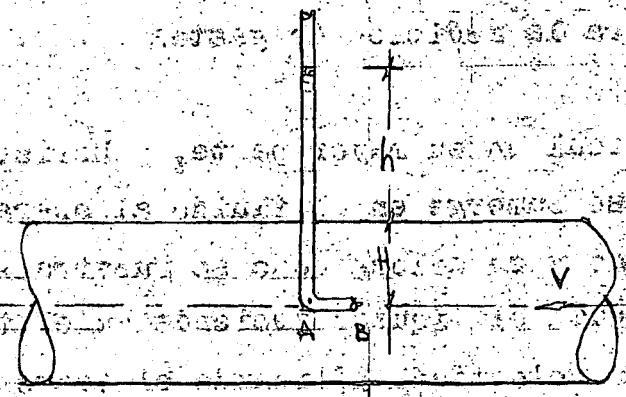


Fig 1 Tubo de Pitot

La altura H por encima del orificio se mide desde el centro del orificio hasta la superficie libre. Se supone que la altura permanece constante. Aplicando el teorema de Bernoulli desde el punto 1, en la superficie libre, hasta el centro de la sección contraída, punto 2, y tomando como origen de presiones y alturas la atmosférica y el punto 2, respectivamente, tendremos, despreciando las pérdidas:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{w} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{w} + Z_2$$

sustituyendo valores:

$$0 + 0 + H = \frac{V_2^2}{2g} + 0 + 0$$

o sea $$V_2 = (2 g H)^{1/2}$$

Esta es la velocidad teórica, ya que las pérdidas entre los dos puntos se han despreciado. La relación entre la velocidad real V_a y la teórica V_t se denomina coeficiente de velocidad C_v, que es

$$C_v = \frac{V_a}{V_t}$$

y de aqui:

$$V_{2a} = C_v (2 g H)^{1/2}$$

El gasto real por el orificio, Q_a, será el producto de la velocidad real en la sección contraída por el área del chorro. La razón entre el área del chorro A_2 en la sección contraída y el área del orificio A_o, se expresa por otro coeficiente llamado coeficiente de contracción, C_c.

$$C_c = A_2 / A_0$$

El área del chorro en la sección contraída es $C_c A_0$. El gasto es:

$$Q_a = C_v C_c A_0 (2gH)^{1/2}$$

Se acostumbra a reunir los dos coeficientes en uno solo llamado coeficiente de caudal o desagüe.

$$Cd = C_v C_c$$

y entonces: $Q_a = C_d A_o \sqrt{2gh}$

El coeficiente de descarga no es constante. Para un dispositivo dado, varía con el número de Reynolds.

En la tabla 7 se dan los coeficientes de descarga para orificios circulares en el caso de agua a 15 C descargando a la atmósfera.

El diagrama c indica la variación de C'd con el número de Reynolds para tres relaciones diámetro de orificio-diámetro de tubería. Para R_e 10000 estos datos no ofrecen garantía.

El diagrama D muestra la variación de Cd con el número de Reynolds para tres relaciones diámetro de boquilla-diámetro de tubería (boquilla de aforo).

Ejemplos orificios.

Un orificio normal de 10 cm de diámetro descarga agua bajo una altura de carga de 6 m ¿ Cuál es el gasto en m^3/seg?

aplicando el teorema de Bernoulli entre A y B de la figura y tomando B como plano de referencia, simplificando:

$$Q = C\ A_o\ \ 2gh$$

de la tabla 7: C= 0.594 para d= 10 cm y h=6 m

$$Q = 0.594\ \frac{(0.10)^2}{4}\ \ 2 \times 9.8 \times 6 = 0.051\ m^3/seg$$

Usando el nomograma Anexo 3 Q= 0.055 m^3/seg

c= 0.61

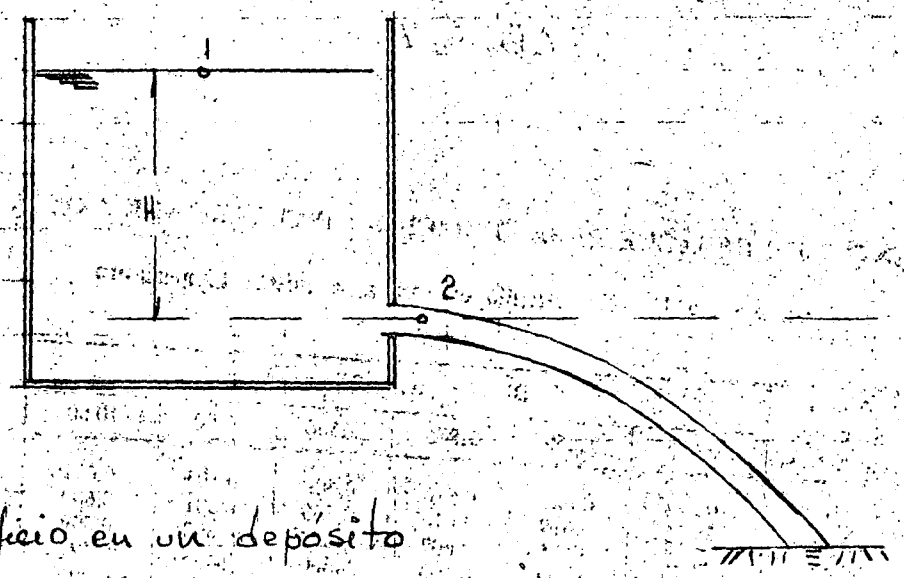


Fig 2 Orificio en un depósito

TABLA 7

COEFICIENTES DE DESAGÜE PARA ORIFICIOS CIRCULARES DE ARISTA VIVA

Para agua a 15° C vertiendo en aire a la misma temperatura

Altura de carga en metros	Diámetro del orificio en cm					
	0,625	1,250	1,875	2,500	5,00	10,00
0,24	0,647	0,627	0,616	0,609	0,603	0,601
0,42	0,635	0,619	0,610	0,605	0,601	0,600
0,60	0,629	0,615	0,607	0,603	0,600	0,599
1,20	0,621	0,609	0,603	0,600	0,598	0,597
1,80	0,617	0,607	0,601	0,599	0,597	0,596
2,40	0,614	0,605	0,600	0,598	0,596	0,595
3,00	0,613	0,604	0,600	0,597	0,596	0,595
3,60	0,612	0,603	0,599	0,597	0,595	0,595
4,20	0,611	0,603	0,598	0,596	0,595	0,594
4,80	0,610	0,602	0,598	0,596	0,595	0,594
6,00	0,609	0,602	0,598	0,596	0,595	0,594
7,50	0,608	0,601	0,597	0,596	0,594	0,594
9,00	0,607	0,600	0,597	0,595	0,594	0,594
12,00	0,606	0,600	0,596	0,595	0,594	0,593
15,00	0,605	0,599	0,596	0,595	0,594	0,593
18,00	0,605	0,599	0,596	0,594	0,593	0,593

Fuente: F. W. Medaugh y G. D. Johnson, Civil Engr., julio 1940, pág. 424.

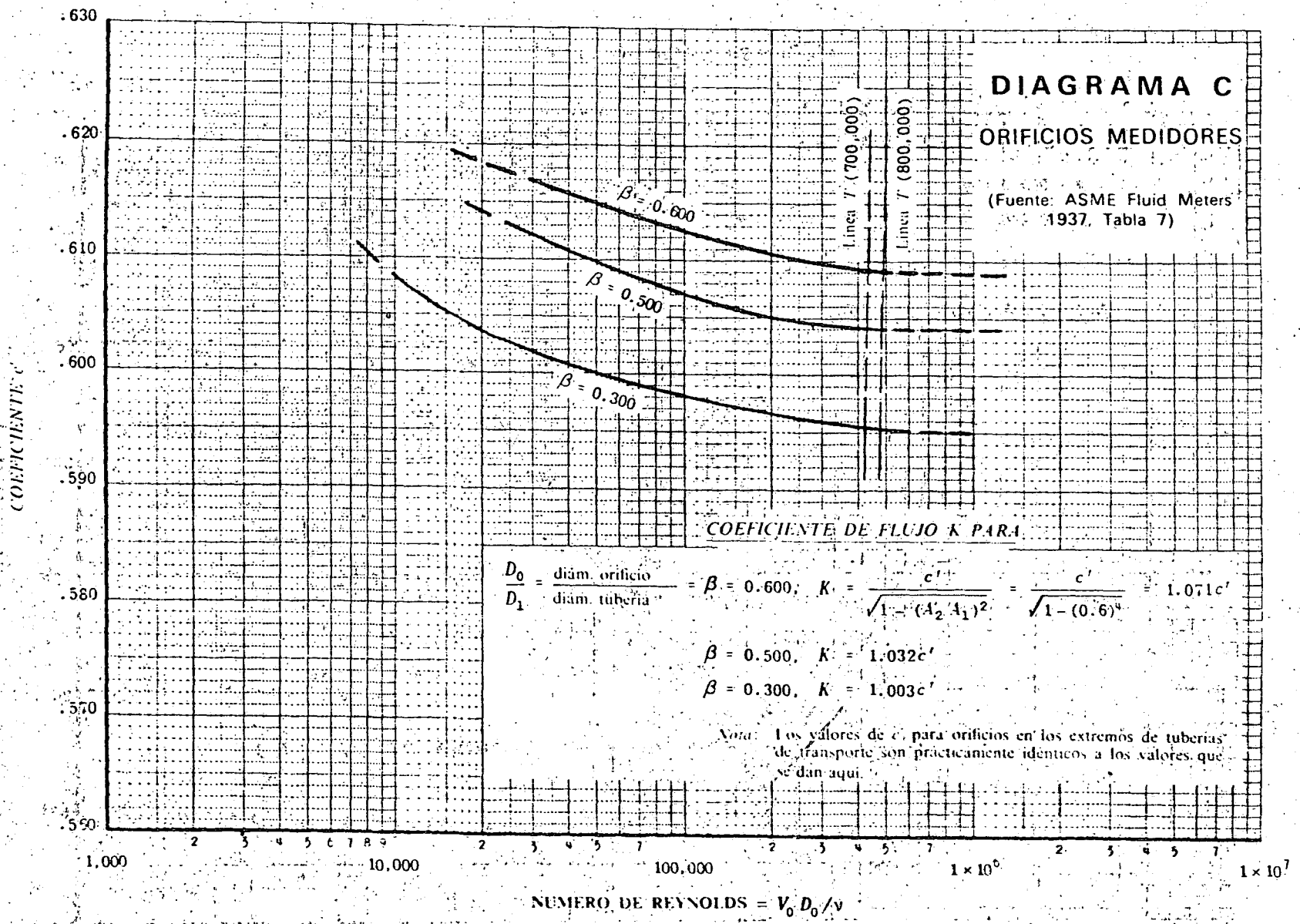


DIAGRAMA C
ORIFICIOS MEDIDORES
(Fuente: ASME Fluid Meters 1937, Tabla 7)
Línea T (700,000)
Línea T (800,000)
β = 0.600
β = 0.500
β = 0.300
COEFICIENTE DE FLUJO K PARA
$\frac{D_0}{D_1} = \frac{\text{diám. orificio}}{\text{diám. tubería}} = \beta = 0.600, \quad K = \frac{c'}{\sqrt{1-(A_2/A_1)^2}} = \frac{c'}{\sqrt{1-(0.6)^4}} = 1.071c'$
$\beta = 0.500, \quad K = 1.032c'$
$\beta = 0.300, \quad K = 1.003c'$
Nota: Los valores de c' para orificios en los extremos de tuberías de transporte son prácticamente idénticos a los valores que se dan aquí.
COEFICIENTE c'
.630
.620
.610
.600
.590
.580
.570
.560
1,000
10,000
100,000
1 × 10^6
1 × 10^7
NUMERO DE REYNOLDS = $V_0 D_0/\nu$

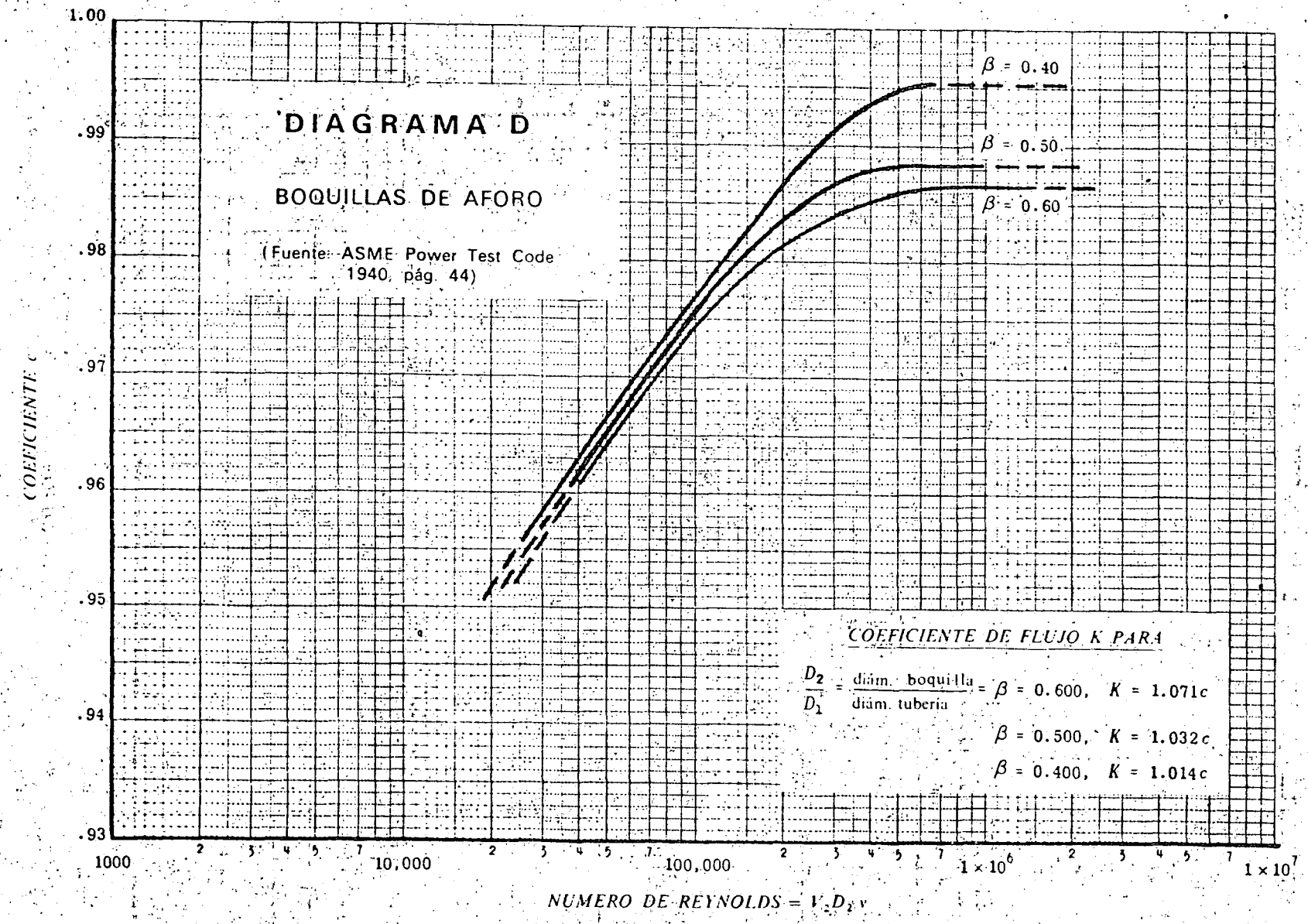
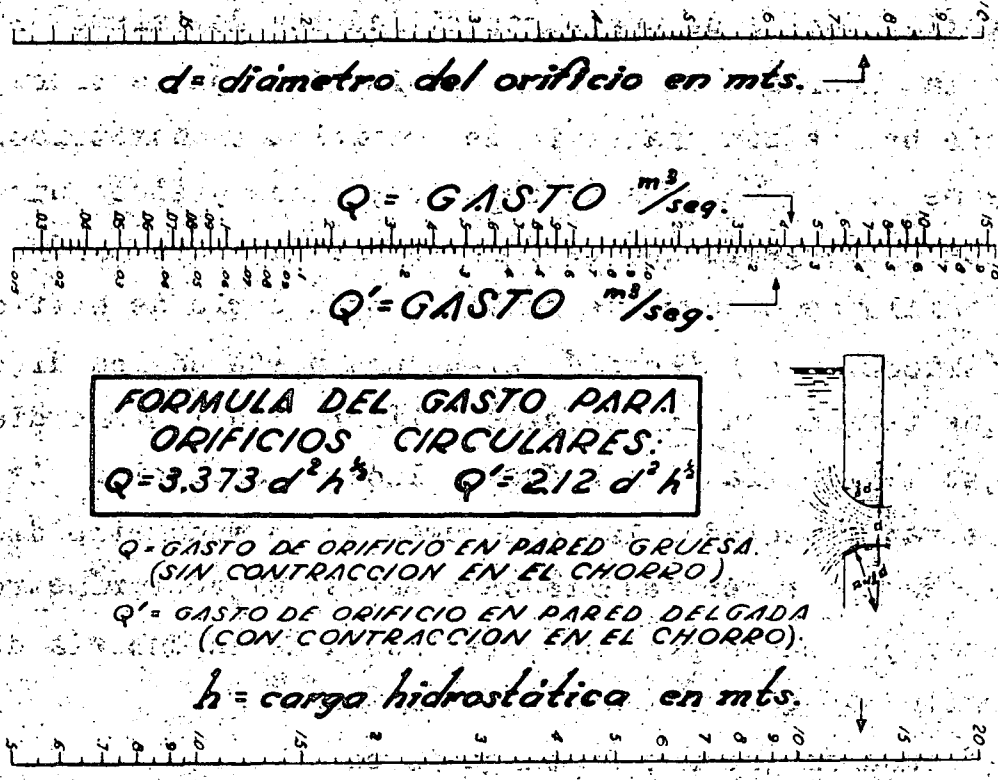


DIAGRAMA D
BOQUILLAS DE AFORO
(Fuente: ASME Power Test Code 1940, pág. 44)
β = 0.40
β = 0.50
β = 0.60
COEFICIENTE DE FLUJO K PARA
D2/D1 = diám. boquilla / diám. tubería = β = 0.600, K = 1.071c
β = 0.500, K = 1.032c
β = 0.400, K = 1.014c
COEFICIENTE c
1.00
.99
.98
.97
.96
.95
.94
.93
1000
10,000
100,000
1 × 10^6
1 × 10^7
NUMERO DE REYNOLDS = V2D2/ν

ANEXO Nº 3.


d = diametro del orificio en mts.
Q = GASTO m³/seg.
Q' = GASTO m³/seg.
FORMULA DEL GASTO PARA ORIFICIOS CIRCULARES:
Q = 3.373 d² h^½ Q' = 2.12 d² h^½
Q = GASTO DE ORIFICIO EN PARED GRUESA (SIN CONTRACCION EN EL CHORRO).
Q' = GASTO DE ORIFICIO EN PARED DELGADA (CON CONTRACCION EN EL CHORRO).
h = carga hidrostática en mts.

Venturímetro (fig 3)

El venturímetro se usa para medir el gasto que pasa por una tubería. Consta de una parte cilíndrica del mismo diámetro que la tubería a la cual se acopla; ésta parte tiene un anillo de bronce con una serie de orificios piezométricos para la medida de la presión estática; sigue después una parte cónica convergente que termina en una garganta cilíndrica con anillo de bronce que contiene otra serie de orificios piezométricos, a continuación sigue una parte cónica divergente que termina en una porción cilíndrica del mismo diámetro que la tubería. A los dos anillos de orificios piezométricos van conectadas las dos ramas de un manómetro diferencial. Para obtener resultados exactos, el venturímetro debe estar precedido por una parte recta de la tubería de una longitud de por lo menos 10 diámetros.

La ecuación que nos da el gasto es

$$Q = C_v A_2 \sqrt{\frac{2g R' (S_o/S_1) - 1}{1-(D_2/D_1)^4}}$$

donde

C_v coeficiente dado en función del número de Reynolds en el diagrama E y en la figura 8.27

A_2 área de la sección transversal de la garganta del venturímetro

R' diferencia manométrica

S_o peso específico del líquido del manómetro

S_1 peso específico relativo del fluído.

Placa de orificio (fig 4)

Para utilizar un orificio que mida el caudal que pasa por una tubería, se coloca en ésta un diafragma en el que se ha practicado un orificio. Cuando el borde del orificio es en arista viva se produce una contracción del chorro aguas abajo del orificio. Aplicando el teorema de Bernoulli y la

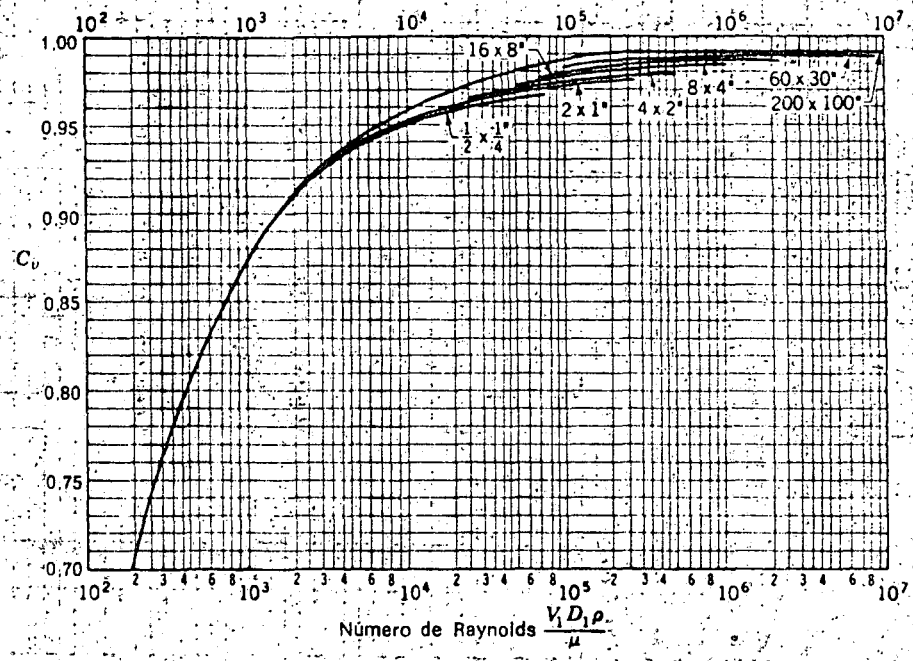


Fig. 8.27 Coeficiente C_v para venturímetro. («Fluid Meters: Their Theory and Application», 4.ª ed., American Society of Mechanical Engineers, 1937.)

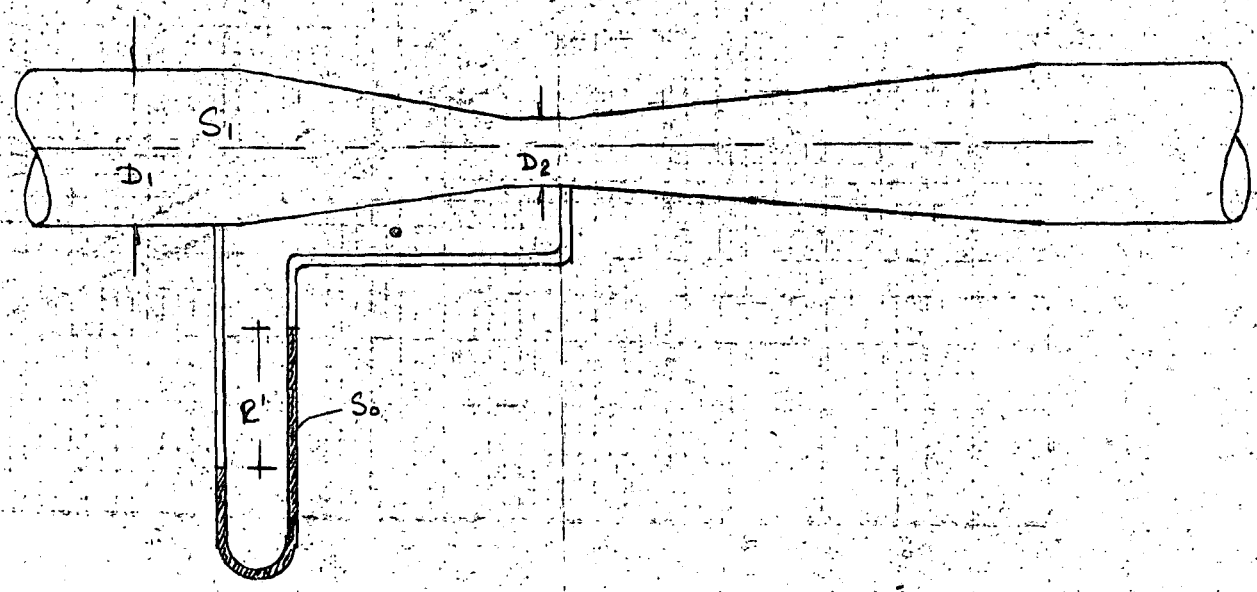
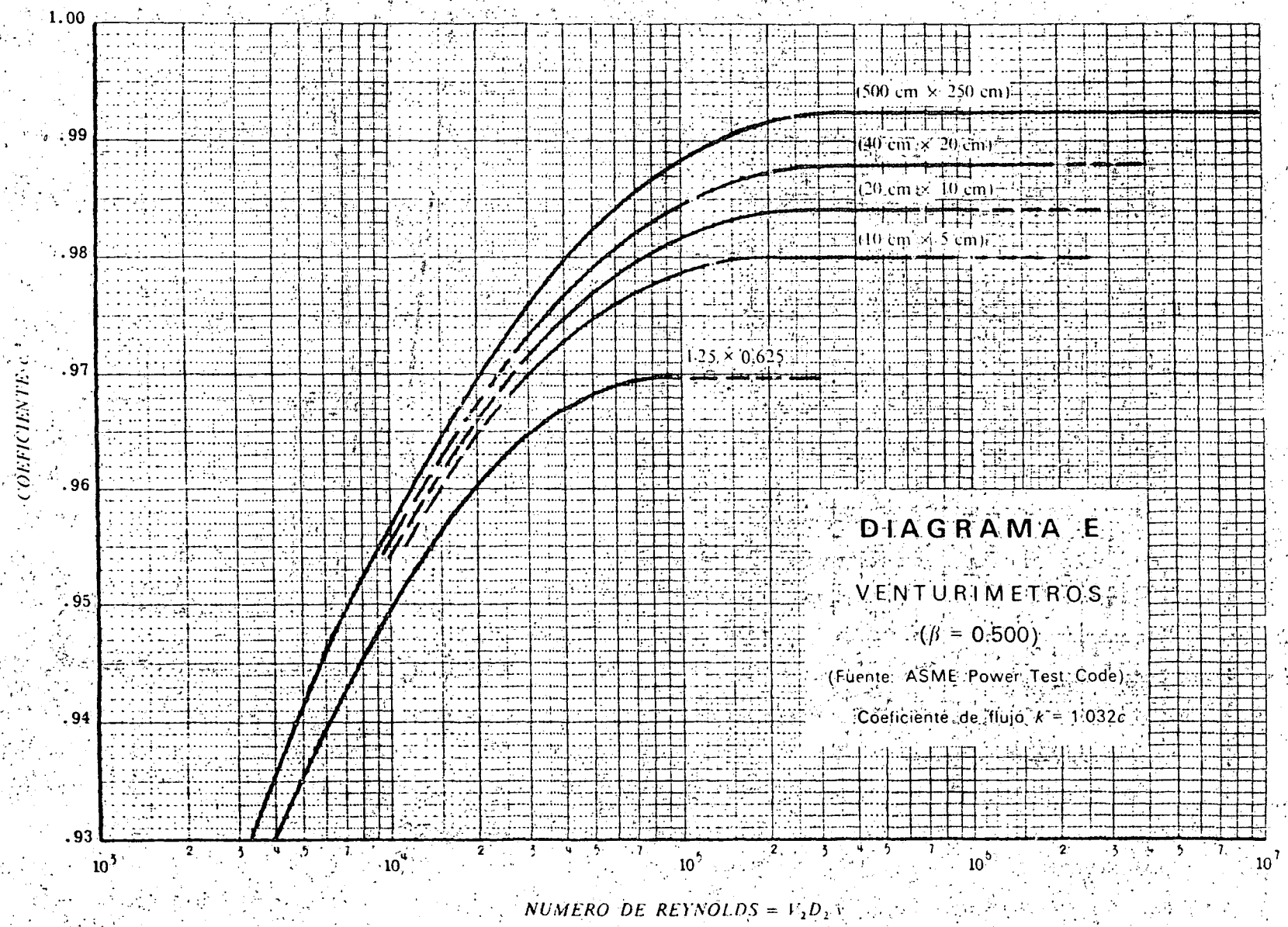


Fig 3 Venturímetro


1.00
.99
.98
.97
.96
.95
.94
.93
COEFICIENTE c
(500 cm × 250 cm)
(40 cm × 20 cm)
(20 cm × 10 cm)
(10 cm × 5 cm)
1.25 × 0.625
DIAGRAMA E
VENTURIMETROS
(β = 0.500)
(Fuente: ASME Power Test Code)
Coeficiente de flujo k = 1.032c
10³
10⁴
10⁵
10⁶
10⁷
NUMERO DE REYNOLDS = V₂D₂/ν

ecuación de continuidad entre las secciones 1 y 2, se tiene la ecuación que permite la obtención del gasto:

$$Q = CA_o \sqrt{2gR' \ (S_o/S_1) - 1}$$

Los valores de C se dan en la fig 8.31. La situación de las tomas de presión se especifica generalmente a fín de que se pueda instalar un orificio en un conducto y se pueda utilizar con exactitud suficiente sin realizar una calibración en el propio lugar.

Solución de problema para calcular Q

datos d_1, d_o, R', S_o, S_1, ρ, μ $(\nu = \mu/\rho)$, v

Solución:

con d_o, V, ρ, μ calcular R_e

con R_e y relación A_o/A_1 calcular c

con c y demás datos calcular Q

Vertedores de aforo (fig 5)

El gasto de un canal abierto puede medirse con un vertedero, el cual es una obstrucción en el canal que obliga al líquido a estancarse detrás y a verter por encima de él. Midiendo la altura de la superficie del agua aguas arriba, se puede determinar el gasto del canal. Los vertederos se construyen de lámina de acero o de otro material, de tal manera que si el chorro o lámina solo toca en una arista de la cresta se la llama vertedero de pared delgada, si por el contrario toca cierta porción de la cresta se denomina vertedero de pared gruesa.

La fórmula teórica de un vertedero rectangular, sin contracciones es decir que la cresta abarca todo el ancho del canal es:

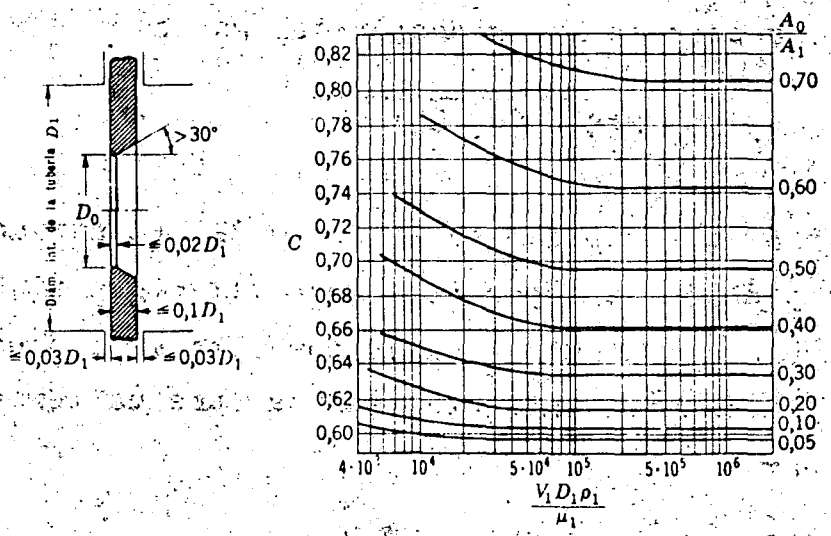


Fig. 8.31 Orificio VDI y coeficientes de caudal. (NACA Tech. Mem. 952, Ref. 11.)

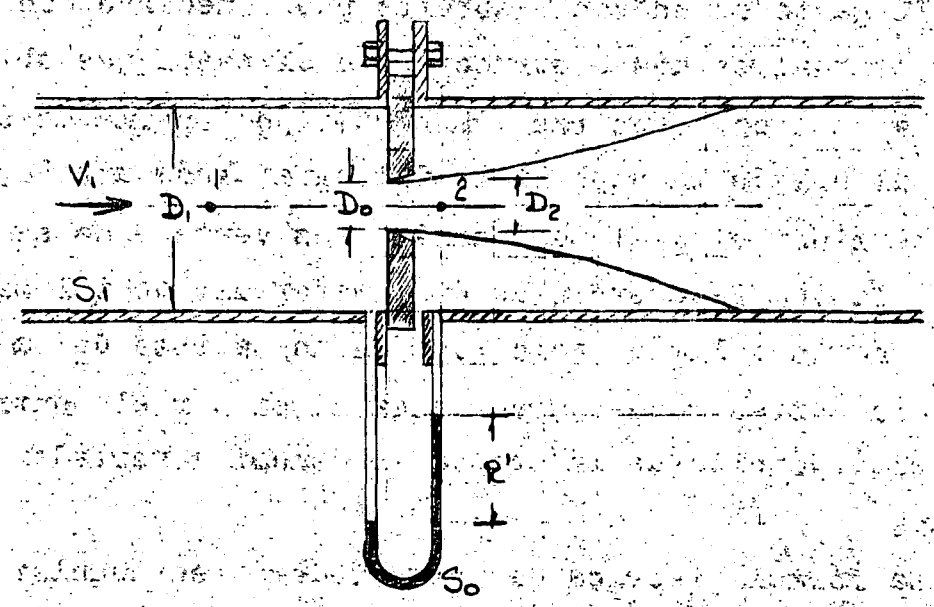


Fig. 4 Placa de orificio.

$$Q = 2/3\ cb\ \sqrt{2g}\ H^{3/2}$$

donde

Q gasto en m^3/s

C coeficiente a determinar experimentalmente

b longitud de la cresta del vertedero, en m

H carga sobre la cresta del vertedero, en m

despreciándose la velocidad de llegada.

La fórmula de T. Rehbock permite obtener el gasto de un vertedor rectangular (use nomograma 4)

Cuando la cresta no cubre todo el ancho del canal, la ecuación propuesta por Francis es:

$$Q = 1.84\ (b - nH/10)\ \left[(H + V^2/2g)^{3/2} - (V^2/2g)^{3/2}\right]$$

donde

n=0 para vertedero sin contracción

n=1 para vertedero con contracción en un extremo

n=2 para vertedero con contracción total

Si la velocidad media de aproximación, V, se aproxima a cero

$$Q = 1.84\ (b - nH/H)\ H^{3/2}$$

El nomograma 5 permite calcular el gasto dado b y H

Aplicable para 1.067m - b - 5.182 m

0.183m - H - 0.488 m

La fórmula de Bazin es

$$Q = (1.794 + 0.0133/H)\ \left[1 + 0.55\ (H/H+Z)^2\right]\ bH^{3/2}$$

donde Z, altura de la cresta del vertedero sobre la solera del canal

Si la velocidad de aproximación, V, se aproxima a cero:

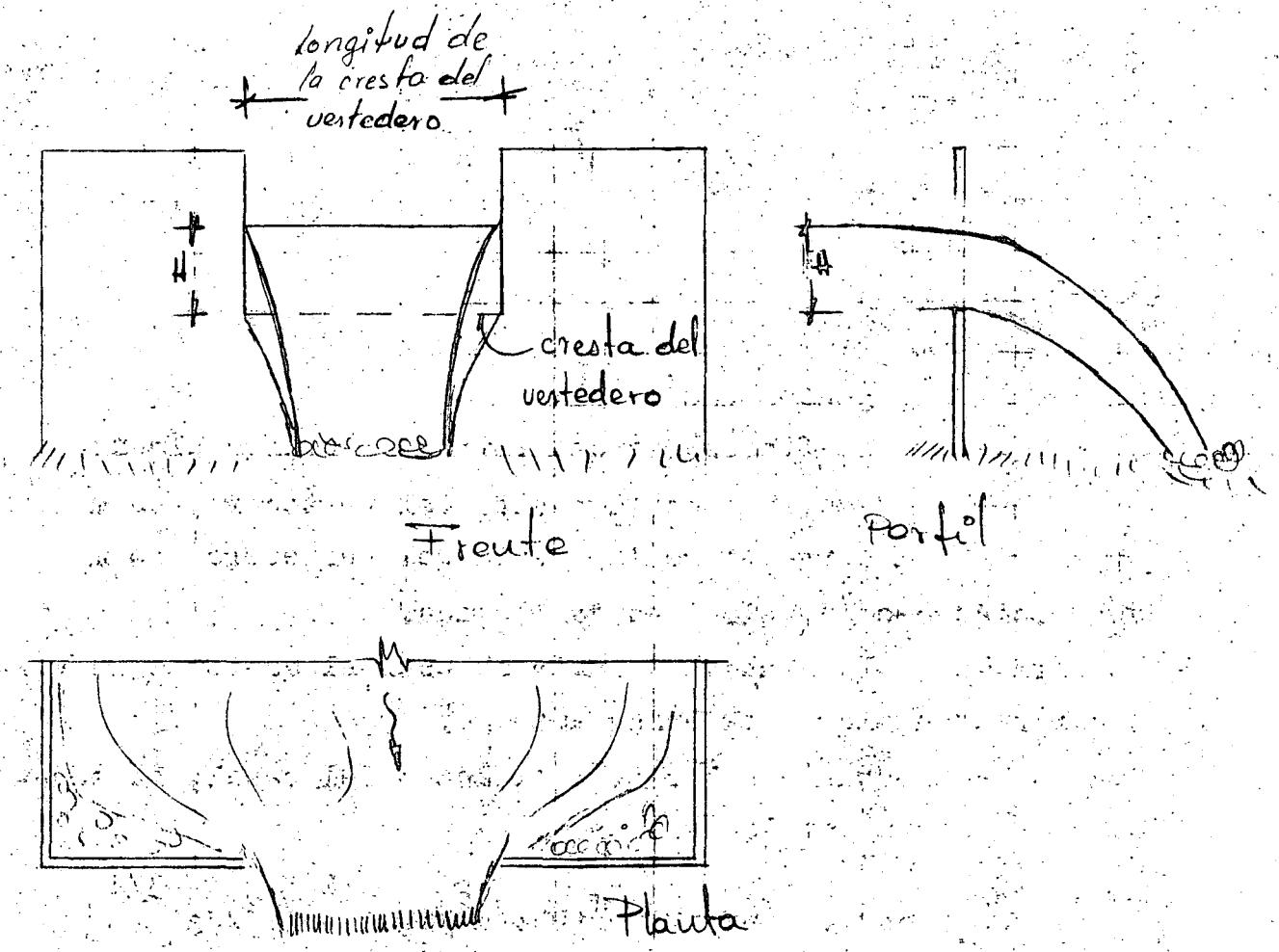
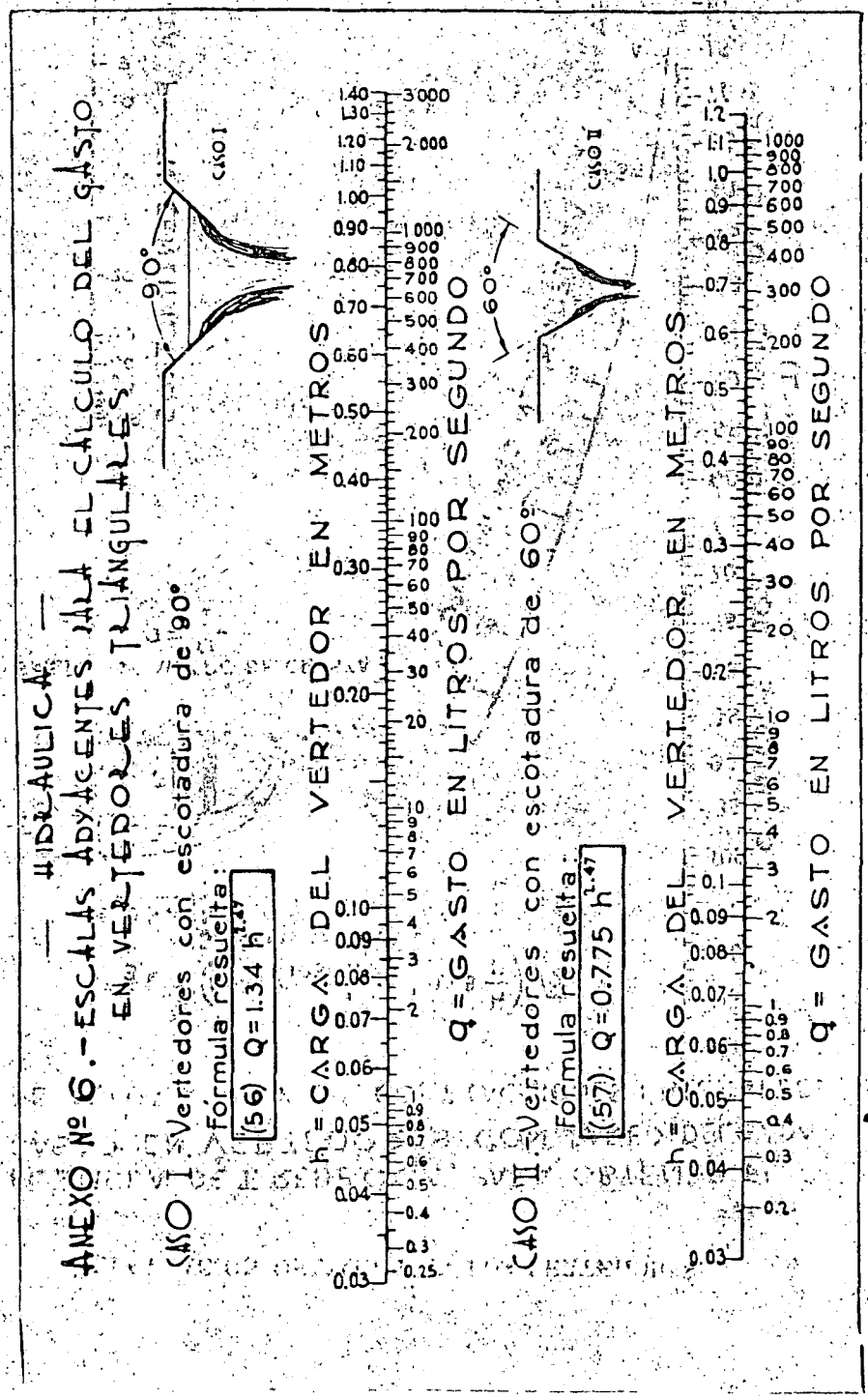
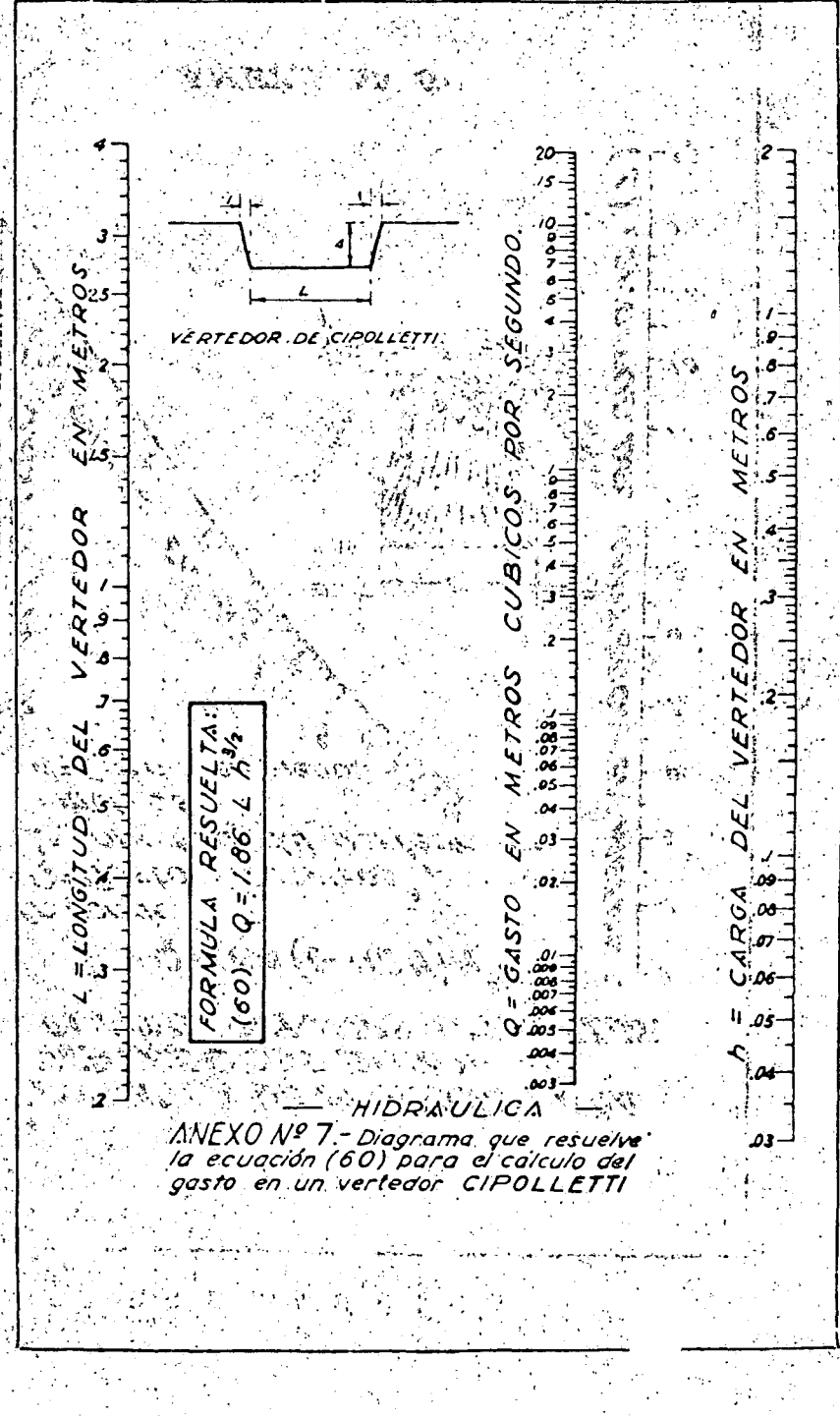


Fig _5 Vertedero rectangular





— HIDRAULICA —

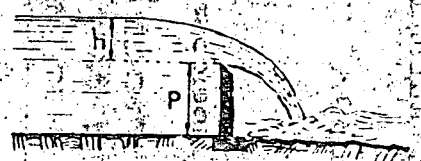
ANEXO Nº 7.- Diagrama que resuelve la ecuación (60) para el cálculo del gasto en un vertedor CIPOLLETTI

FORMULA DE T. REHBOCK, PARA OBTENER EL GASTO EN VERTEDORES CON PARED DELGADA DE ALTURA "P" Y SIN CONTRACCIONES LATERALES:

$$Q=\frac{2}{3}Lh^{3/2}\left(0.605+\frac{1}{1050h-3}+0.08\frac{h}{P}\right)\sqrt{2g}$$

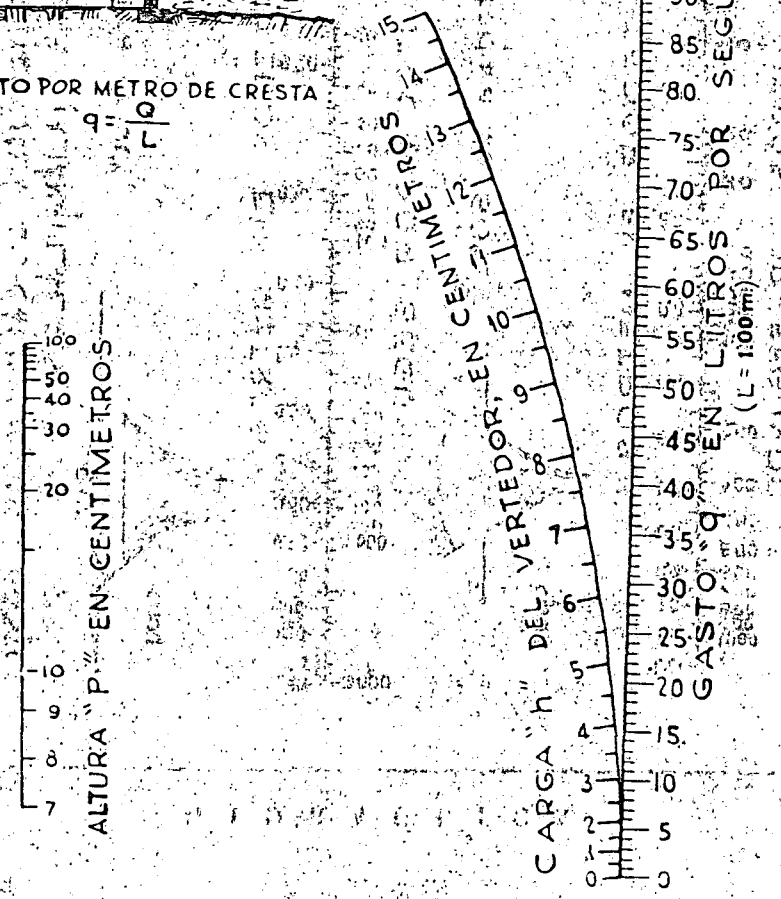
(Sistema Metrico)

De 10 h a 6 h

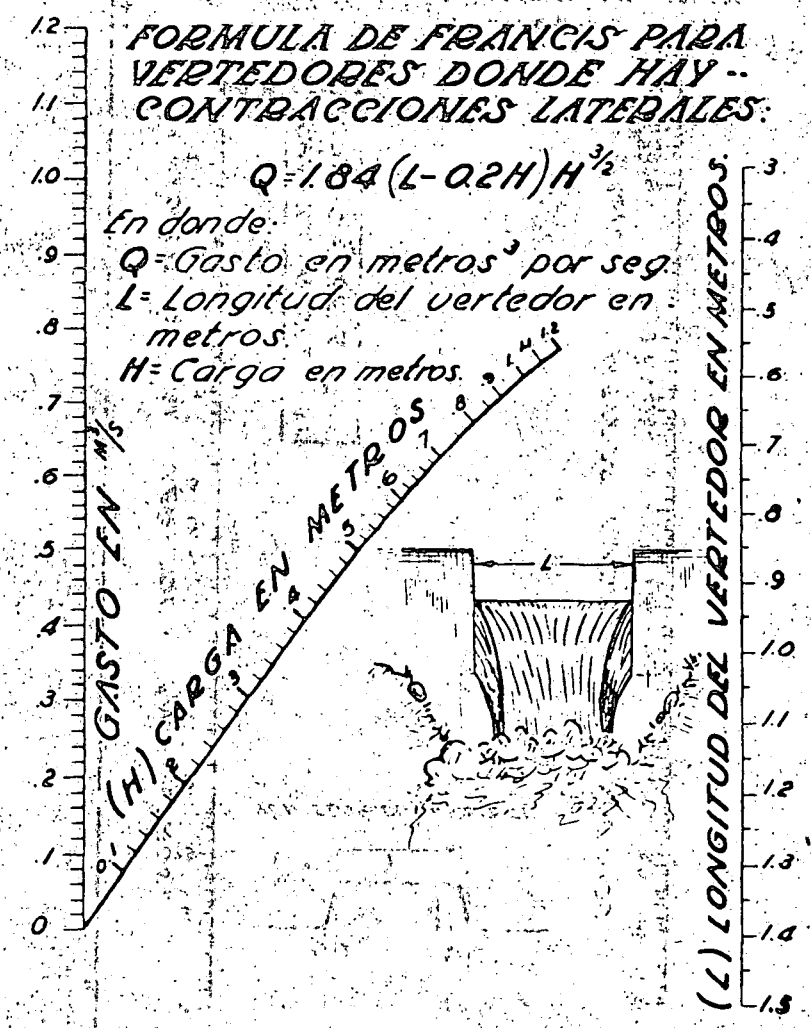


GASTO POR METRO DE CRESTA

$$q=\frac{Q}{L}$$



Nomograma 4



- ANEXO Nº 5 -

$$Q = (1.794 + 0.0133/H)\, bH^{3/2}$$

Aplicable para 0.5 m - b - 2.0 m

0.05 m - H - 0.60m

Vertedero de aforo triangular

Esta fórmula es

$$Q = 8/15\ C \tan(\theta/2)\ 2g\ H^{5/2}$$

para vertedero de escotadura en ángulo $\theta = 90$ y $\theta = 60$ se dá el nomograma 6 que permite el cálculo de Q dado H

Vertedero trapezoidal (de Cipalleti)

La fórmula es para la condición de la pendiente de los lados sea 1 horizontal a 4 vertical:

$$Q = 1.861\ bH^{3/2}$$

la fórmula general es:

$$Q = \sqrt{2g}\ bH^{3/2} + 4/15\ 2m\sqrt{2g}\ H^{5/2}$$

donde

m es la relación entre las proyecciones vertical y horizontal de los lados (pendiente).

El nomograma 7 ayuda al cálculo del gasto, conociendo la longitud de la cresta del vertedero y la altura H.

Canal de aforo Parshall.

El canal Parshall consiste de una sección convergente en la dirección del flujo, una garganta y una sección divergente como se muestra en la fig 121. El piso de la sección convergente debe ser horizontal, el piso de la garganta inclinado hacia abajo de la horizontal y el de la sección divergente inclinado hacia arriba. Las dimensiones de varios canales están dadas en la tabla XVII.

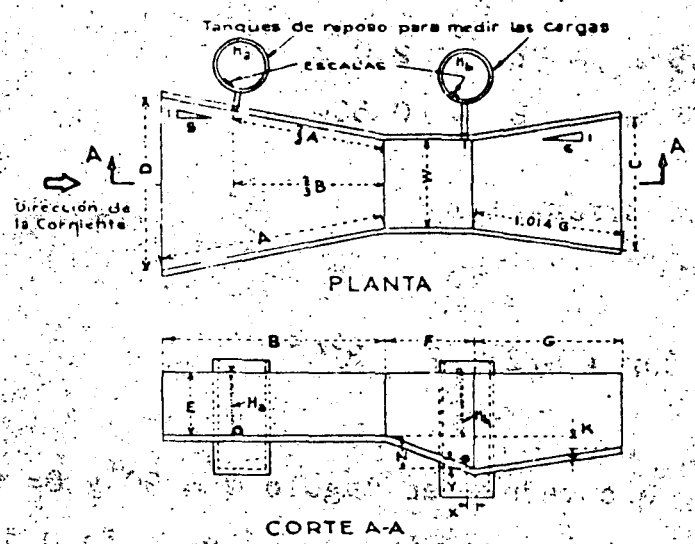


fig. 121.- Dimensiones en Medidores PARSHALL

T A B L A X V I I

DIMENSIONES EN PIES Y CAPACIDADES EN PIES CUBICOS POR SEGUNDO, DE MEDIDORES PARSHALL.

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	X	Y	GASTO LIMITE PARA DESCARGA LIBRE MAX.	MIN.
0.25	1.53	1.500	0.583	0.848	1.250	0.500	1.000	0.083	0.187	0.083	0.125	1.2	0.03
0.50	2.04	2.000	1.292	1.292	1.500	1.000	2.000	0.250	0.375	0.167	0.250	3.9	0.05
0.75	2.89	2.833	1.850	1.805	2.000	1.000	1.500	0.250	0.375	0.167	0.250	8.8	0.09
1.00	4.50	4.406	2.000	2.771	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	16.1	0.35
2.00	5.00	4.906	3.000	3.958	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	33.1	0.66
3.00	5.50	5.396	4.000	3.156	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	50.4	0.97
4.00	6.00	5.885	5.000	6.354	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	67.9	1.26
5.00	6.50	6.375	6.000	7.552	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	85.6	2.22
6.00	7.00	6.865	7.000	8.750	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	103.5	2.63
7.00	7.50	7.354	8.000	9.948	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	121.4	4.08
8.00	8.00	7.844	9.000	11.146	3.000	2.000	3.000	0.250	0.750	0.167	0.250	139.5	4.62
10.00	9.00	14.000	12.000	15.604	4.000	3.000	6.000	0.500	1.125	1.000	0.750	200.	9.1
12.00	10.00	16.000	14.667	18.396	5.000	3.000	8.000	0.500	1.125	1.000	0.750	350.	9.1
15.00	11.50	25.000	18.333	25.000	6.000	4.000	10.000	0.750	1.150	1.000	0.750	600.	9.1
20.00	14.00	25.000	24.000	30.000	7.000	6.000	12.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1000	10
25.00	16.50	25.000	29.333	35.000	7.000	6.000	15.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1200	15
30.00	19.00	26.000	34.667	40.396	7.000	6.000	14.000	1.000	2.250	1.000	0.750	1500	15
40.00	24.00	27.000	45.333	50.792	7.000	6.000	16.000	1.000	2.250	1.000	0.750	2000	20
50.00	29.00	27.000	56.667	60.792	7.000	6.000	20.000	1.000	2.850	1.000	0.750	3000	25

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL GASTO EN UN MEDIDOR PARSHALL DE 0.15 MT

Hoja 1 de 25

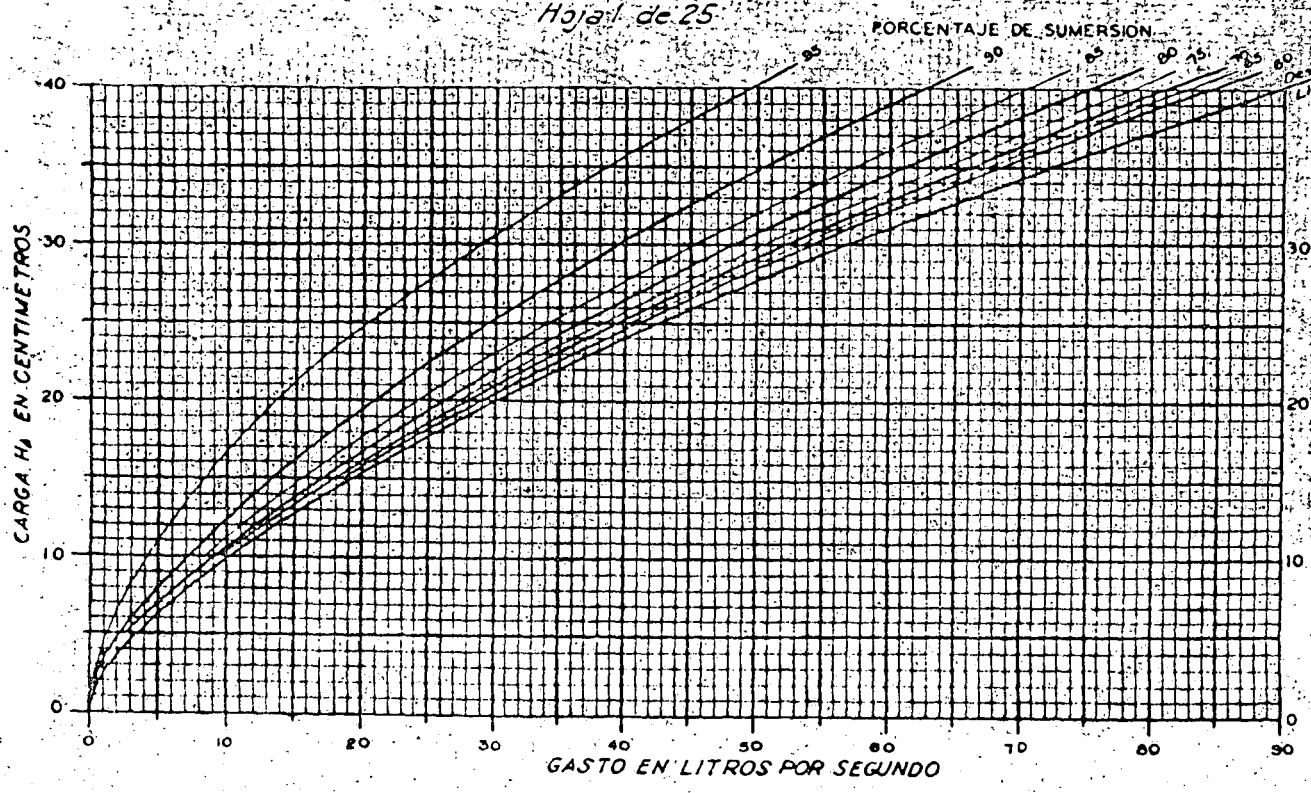
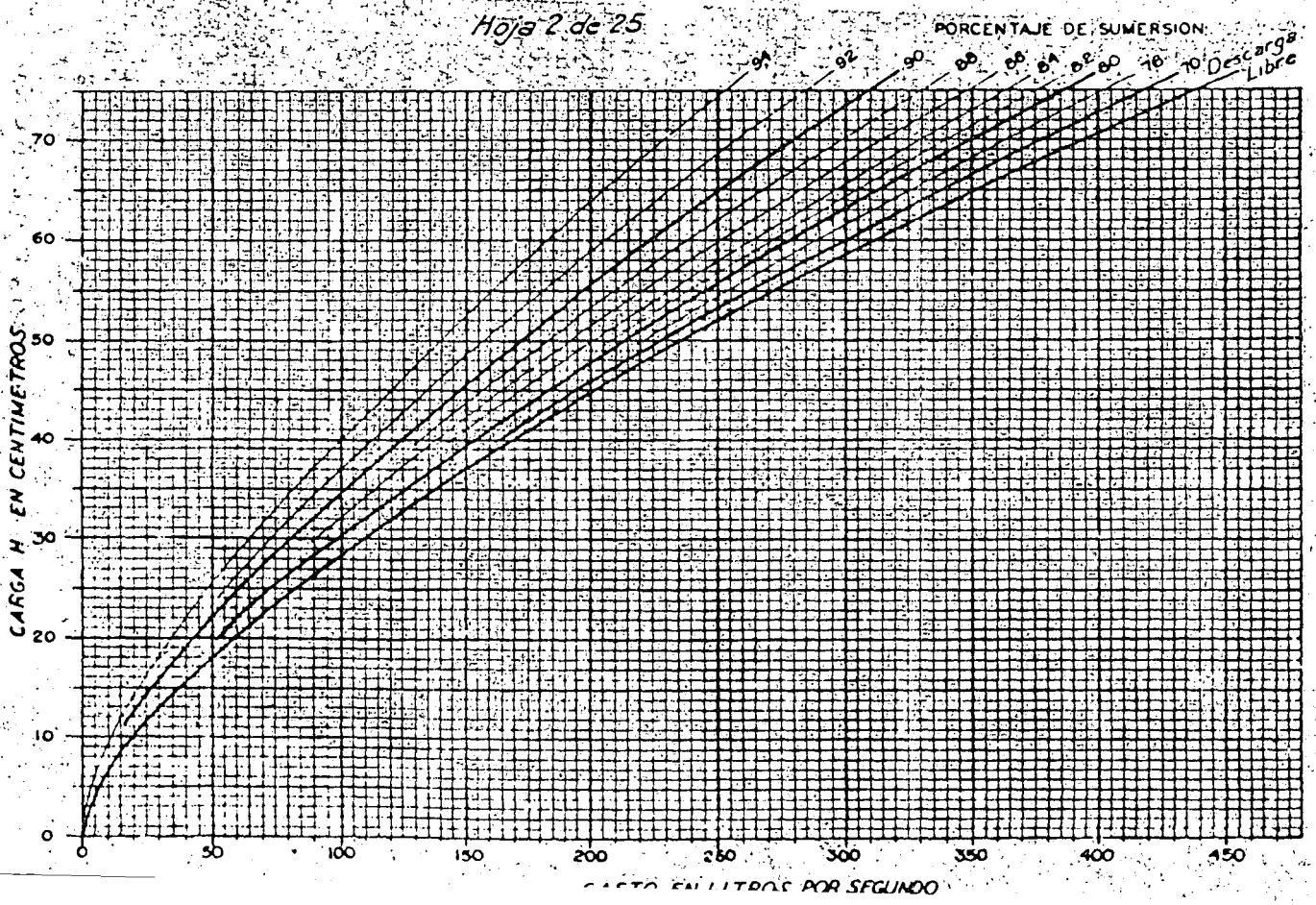


fig 1a

DIAGRAMA DE GASTOS DE UN MEDIDOR PARSHALL DE 0.30 MT.

Hoja 2 de 25



Hoja 3 de 25

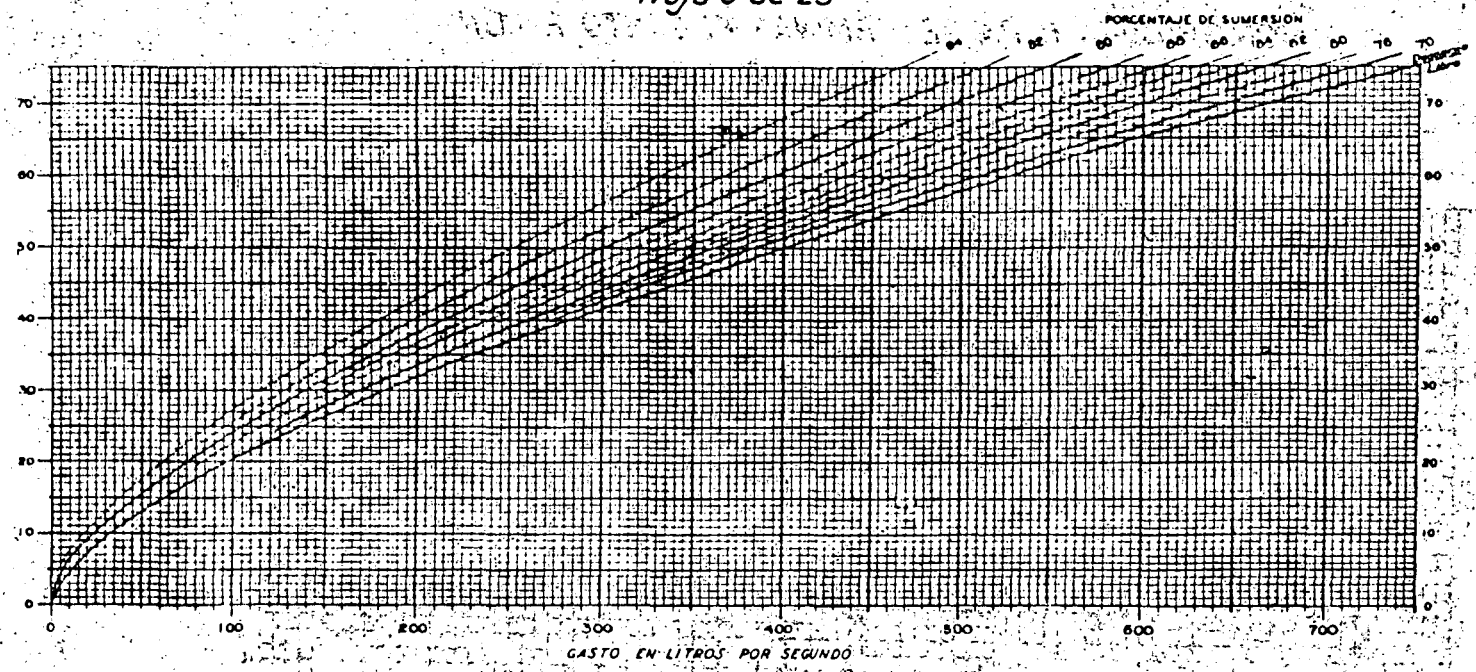


Fig 1c

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL GASTO EN UN MEDIDOR PARSHALL DE 0.75 MT.

Hoja 4 de 25

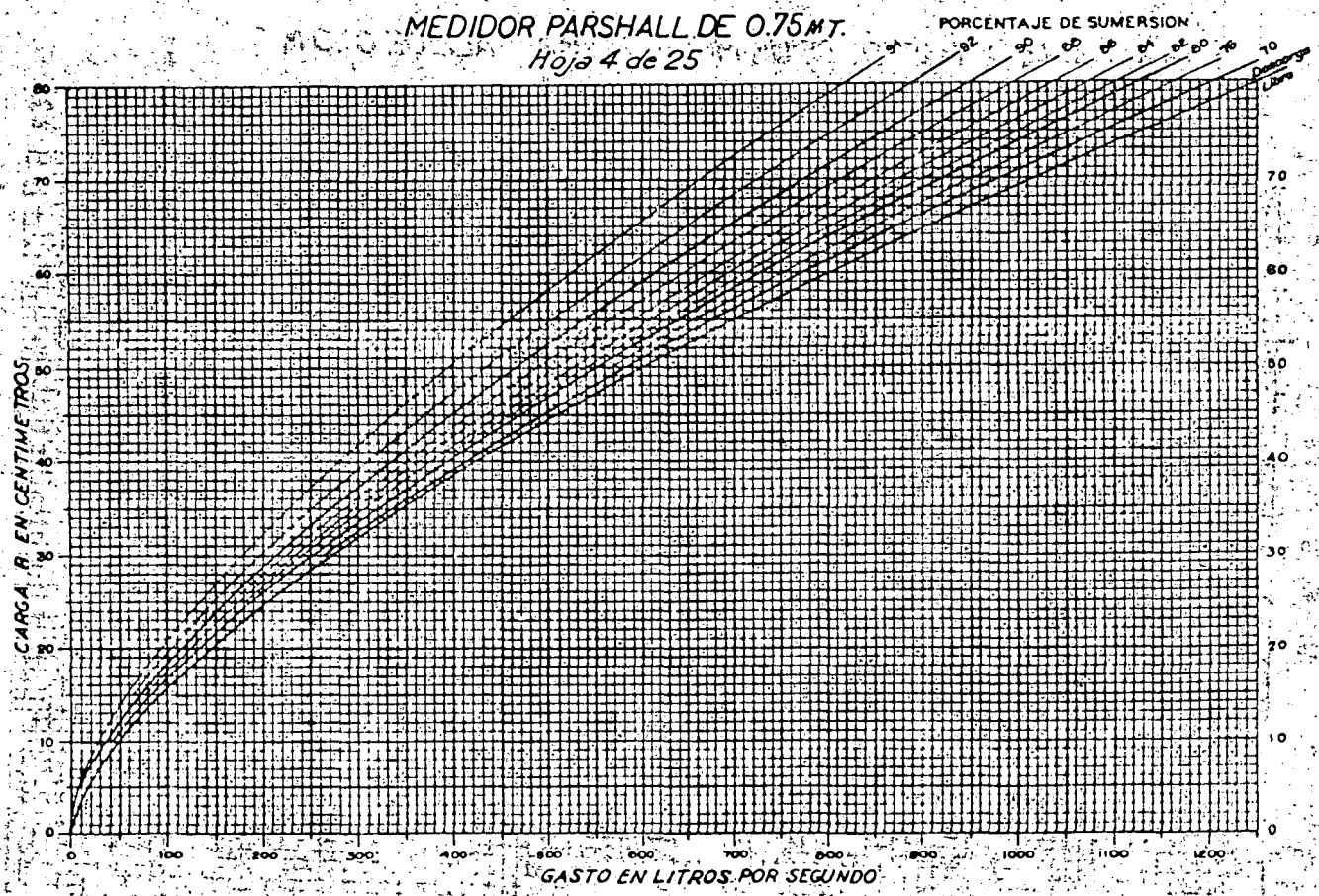


Fig 1d

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL GASTO EN UN MEDIDOR PARSHALL DE 1.00 MT.

Hoja 5 de 25

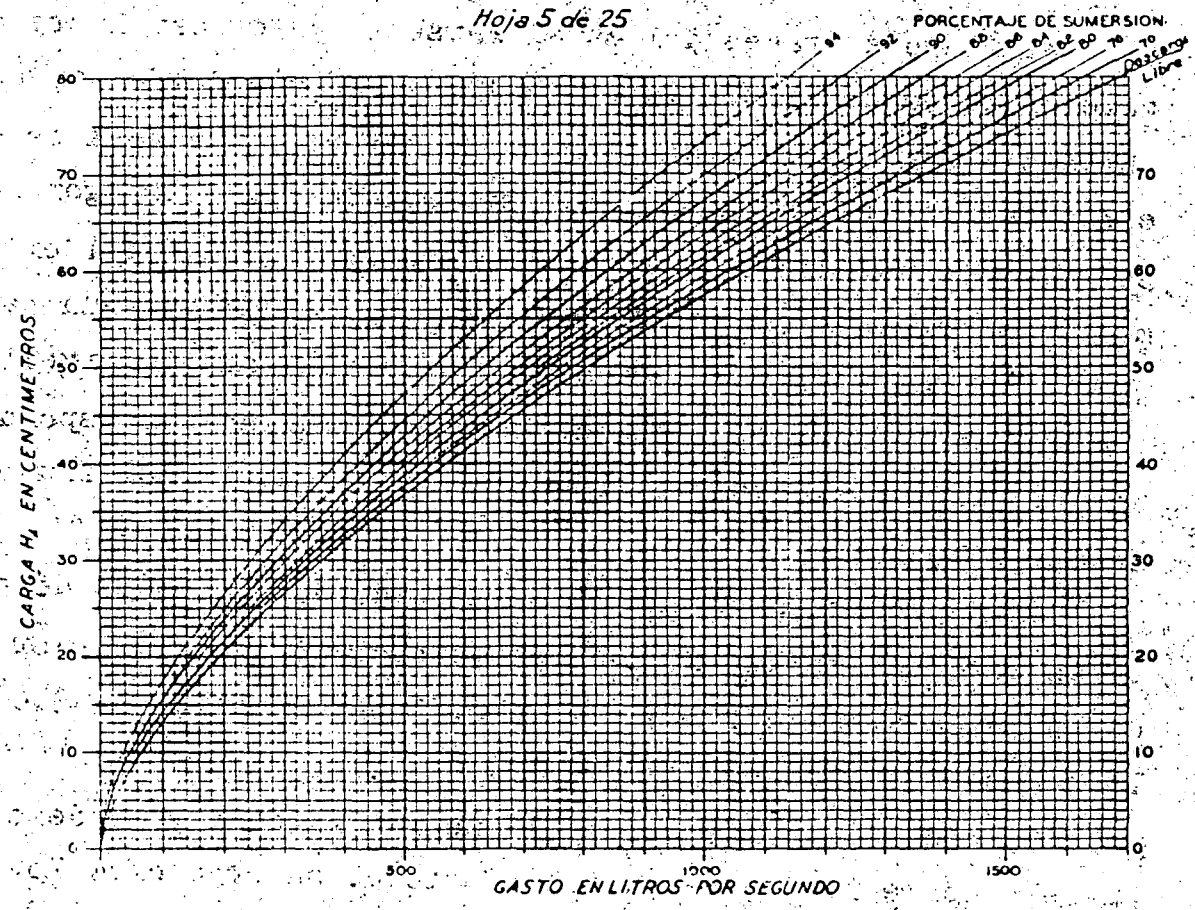
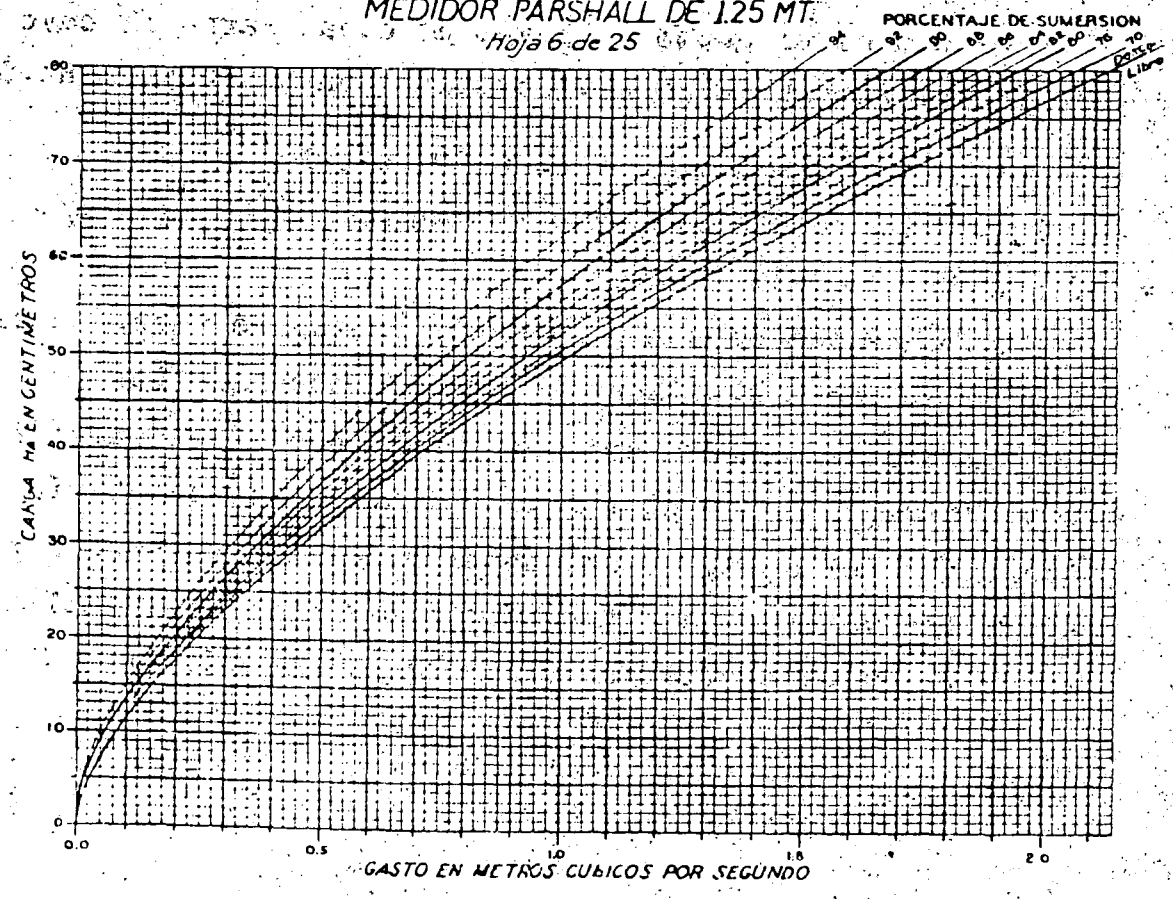


Fig. 1.e

NOMOGRAMA PARA DETERMINAR EL GASTO EN UN MEDIDOR PARSHALL DE 1.25 MT.

Hoja 6 de 25



El flujo a través del canal Parshall puede ser libre o sumergido. Donde la elevación de la superficie del agua, aguas abajo del canal es elevada aún puede retardar la tasa de descarga, existe flujo sumergido. Esta condiciónde sumergencia es evidente por una onda formada justo aguas abajo del extremo de la garganta (como S en la fig). Cuando el agua pasa por la garganta y en la sección divergente toma un nivel (como Q en la fig), la superficie del líquido corresponde al piso del canal. Este patrón de flujo muestra el flujo o descarga libre.

El grado de sumergencia es indicado por la tasa de alturas de carga Hb/Ha. Cuando ésta proporción no sea mayor a 0.7 para canales de 1 a 3 pies o 0.60 para canales de 3,6 y9 pulgadas se tiene descarga libre.

Cuando éste valor es mayor que los marcados, la descarga debe corregirse a causa del efecto de sumergencia. Los valores de descarga ya corregidos para canales de 3,6 y 9 pulgadas se toman directamente de los diagramas 10 - 14.

Ejemplo de aplicación.

Determine el gasto a través de canal Parshall cuyo ancho de garganta W= 0.30 m y lecturas son Ha= 0.50 m Hb=0.45

Hb/Ha = 0.45/0.50 = 0.90 ó 90%

en la fig 16 para Ha= 0.50 y 90% sumergencia Q= 170 l/s

Método de tubo-California.

Este método se usa para medir gastos de tuberías parcialmente llenas, horizontales y con descarga libre.

Solamente se requieren dos mediciones: el diámetro de la tubería, d , y la distancia del techo de la tubería a la superficie del agua, a. Usando ésas medidas en pies o pulgadas, los valores para T y W se obtienen de las tablas II y III y se sustituyen en la siguiente fórmula:

Figure 5

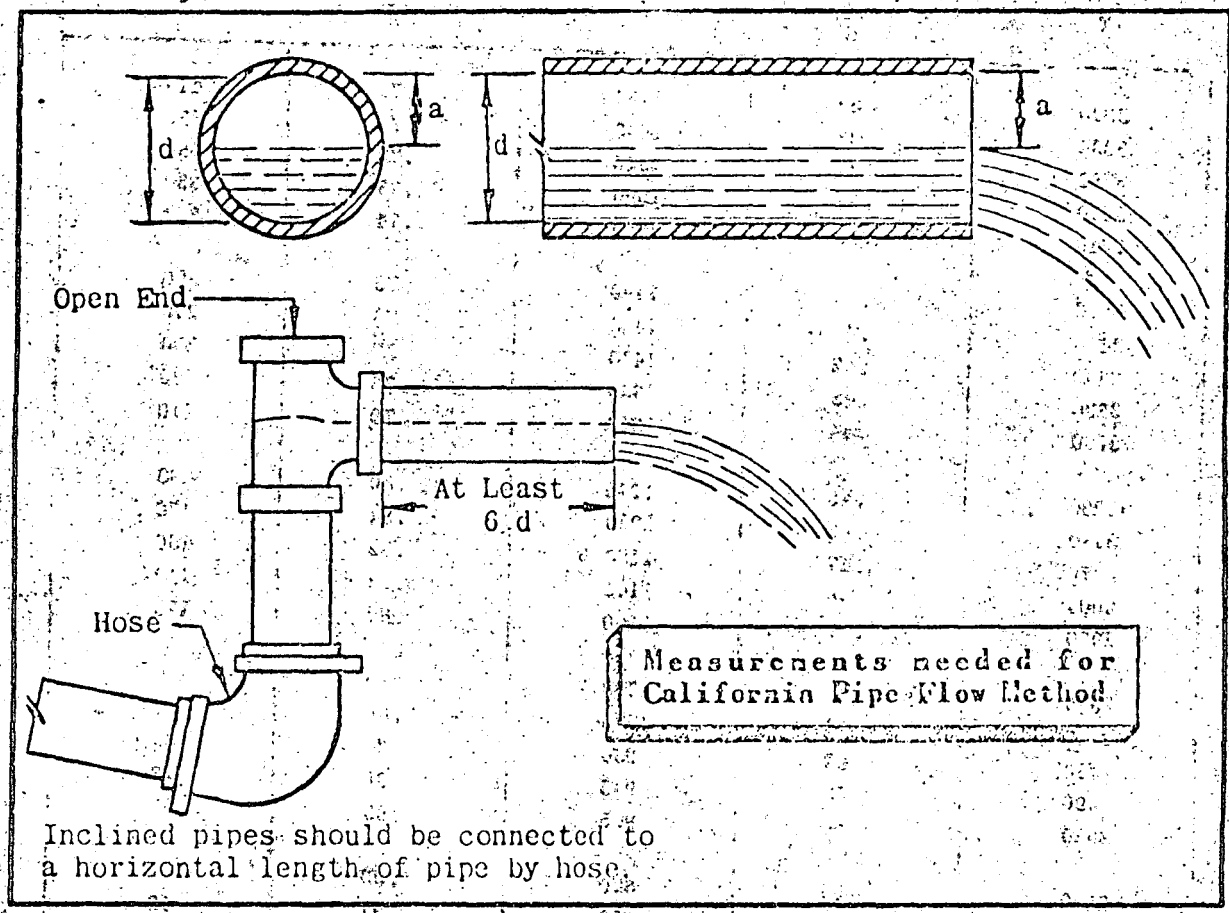

d
a
d
a
Open End
At Least
6 d
Hose
Measurements needed for
California Pipe Flow Method
Inclined pipes should be connected to
a horizontal length of pipe by hose.

Table II -- Values of T for Different Ratios of $\frac{n}{d}$ for Use in California Pipe Flow Formula

$$T = 3900 \left(1 - \frac{n}{d}\right)^{1.88}$$

$\frac{n}{d}$	T	$\frac{n}{d}$	T	$\frac{n}{d}$	T
.00	3900	.35	1740	.70	410
.01	3830	.36	1690	.71	380
.02	3760	.37	1640	.72	360
.03	3690	.38	1590	.73	330
.04	3610	.39	1540	.74	310
.05	3540	.40	1490	.75	290
.06	3470	.41	1450	.76	270
.07	3400	.42	1400	.77	250
.08	3330	.43	1350	.78	230
.09	3260	.44	1310	.79	210
.10	3200	.45	1270	.80	190
.11	3130	.46	1230	.81	170
.12	3070	.47	1180	.82	160
.13	3000	.48	1140	.83	140
.14	2930	.49	1100	.84	125
.15	2870	.50	1060	.85	110
.16	2810	.51	1020	.86	97
.17	2750	.52	980	.87	85
.18	2690	.53	945	.88	73
.19	2630	.54	905	.89	61
.20	2570	.55	870	.90	51
.21	2510	.56	830	.91	42
.22	2450	.57	800	.92	34
.23	2390	.58	760	.93	26
.24	2330	.59	730	.94	20
.25	2270	.60	700	.95	14
.26	2210	.61	660	.96	9
.27	2160	.62	630	.97	5
.28	2100	.63	600	.98	3
.29	2050	.64	570	.99	1
.30	1990	.65	540		
.31	1940	.66	510		
.32	1890	.67	480		
.33	1840	.68	460		
.34	1790	.69	430		

Table III -- Values of W for California Pipe Flow Formula

$W = d^{2.49}$

Pipe diameter inches	d feet	W
3	0.25	0.032
4	0.33	0.064
6	0.50	0.179
8	0.67	0.370
10	0.83	0.630
12	1.00	1.00
14	1.17	1.48
15	1.25	1.74
16	1.33	2.03
18	1.50	2.73
20	1.67	3.57
21	1.75	4.01
22	1.83	4.48
24	2.00	5.58
27	2.25	7.47
30	2.50	9.70
33	2.75	12.29
36	3.00	15.25

$Q = T \times W = gal/min$

donde $T = 3900\ (1 - a/d)^{1.88}$

$W = d^{2.48}$

Ejemplo de Aplicación.

En una tubería de 8 pulgadas de diámetro el tirante del agua es de 5 pulgadas. Determinar el gasto

$d = 8'' \Rightarrow a = 8'' - 5'' = 3''$

$a/d = 3/8 = 0.38$

de la tabla II cuando $a/d = 0.38$ $T = 1590$

de la tabla III cuando $d = 8''$ $W = 0.370$

$Q = T \times W = 1590 \times 0.370 = 588$ gal/min

Trazadores.

Cuando las características de un drenaje hacen difícil la medición de su gasto, una forma de determinarlo es como sigue: agregue una concentración conocida de cloruro de sodio (también puede ser un colorante o un material radiactivo) a una tasa de flujo constante en el drenaje. Determine la concentración de cloruros en un punto aguas abajo del punto de inyección. La fórmula en éste inciso requiere que los análisis de cloruros sean reportados como cloruro de sodio. Una determinación preliminar del desecho o flujo cualquiera se debe realizar antes de la inyección del cloruro de sodio para conocer la concentración natural de ésta sustancia y que será tomada como "testigo".

Cuando la sal se agregue al flujo a una tasa constante en libras/hr y la concentración, aguas abajo es medida, el gasto en condiciones estables, se determina por:

$$\frac{(\text{lbs/hr}) \text{ de sal agregada} \times 2000}{(\text{mg/l medidos}) - (\text{mg/l del tes})} = \text{gal/min}$$

Ejemplo de aplicación:

- 10 lb de sal se agregaron a 10 gal de agua para preparar una solución
- Análisis del agua dieron una concentración natural de 27 mg/l (testigo)
- después de la adición de la solución, la concentración de cloruro de sodio en el desecho fué de 62 mg/l
- la adición de la solución al desecho fué a una tasa de 4 gal/h ó 4lb/h de sal

$$Q = \frac{(4\,lbs/h) \times 2000}{(62\ mg/l) - (27\ mg/l)} = 229\ gal/min$$

En el caso general con el uso de cualquier sustancia conservativa, el gasto viene dado por:

$$Q = \frac{Q_t (C_t - C)}{C - C_s}$$

donde

Q_s	gasto de descarga, enl/s
Q_t	gasto del trazador, en l/s
C_t	concentración del trazador, en mg/l
C_s	concentración del trazador en la corriente
C	concentración del trazador en la corriente después de la inyección, en mg/l, en el punto aguas abajo de la inyección

Cuando se usan trazadores colorantes, lo que se mide es el tiempo que tarda en observarse el tinte desde el momento de verterse a la corriente, con el tiempo de paso se calcula la velocidad y con ésta el gasto.

Medición del gasto basado en las medidas de sección-pendiente Ecuación de Manning.

La ecuación para gasto en canales es:

TABLA 8

ALGUNOS FACTORES DE EXPANSION Y PARA FLUJO COMPRESIBLE A TRAVES DE TOBERAS Y VENTURIMETROS

p_2/p_1	k	Relación de diámetros (d_2/d_1)				
		0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
0.95	1.40	0.973	0.972	0.971	0.968	0.962
	1.30	0.970	0.970	0.968	0.965	0.959
	1.20	0.968	0.967	0.966	0.963	0.956
0.90	1.40	0.944	0.943	0.941	0.935	0.925
	1.30	0.940	0.939	0.936	0.931	0.918
	1.20	0.935	0.933	0.931	0.925	0.912
0.85	1.40	0.915	0.914	0.910	0.902	0.887
	1.30	0.910	0.907	0.904	0.896	0.880
	1.20	0.902	0.900	0.896	0.887	0.870
0.80	1.40	0.886	0.884	0.880	0.868	0.850
	1.30	0.876	0.873	0.869	0.857	0.839
	1.20	0.866	0.864	0.859	0.848	0.829
0.75	1.40	0.856	0.853	0.846	0.836	0.814
	1.30	0.844	0.841	0.836	0.823	0.802
	1.20	0.820	0.818	0.812	0.798	0.776
0.70	1.40	0.824	0.820	0.815	0.800	0.778
	1.30	0.812	0.808	0.802	0.788	0.763
	1.20	0.794	0.791	0.784	0.770	0.745

Para $p_2/p_1 = 1.00$, $Y = 1.00$.

TABLA 9

ALGUNOS VALORES MEDIOS DE n EMPLEADOS EN LAS FORMULAS DE KUTTER Y MANNING Y DE m EN LA FORMULA DE BAZIN

Tipo de canal abierto	n	m
Cemento muy pulido, madera muy bien acepillada	0.010	0.11
Madera acepillada, acequias de duelas de madera nuevas, fundición	0.012	0.20
Tubería de alcantarillado bien vitrificada, buena mampostería, tubería de hormigón ordinario, madera sin acepillar, acequias de balasto liso	0.013	0.29
Tubería de alcantarillado de arcilla ordinaria y tubería de fundición ordinaria, cemento con pulido ordinario	0.015	0.40
Canales de tierra, rectos y bien conservados	0.023	1.54
Canales de tierra dragados en condiciones ordinarias	0.027	2.36
Canales labrados en roca	0.040	3.50
Ríos en buenas condiciones	0.030	3.00

$$Q = VA = A\,(1/n)\,r^{2/3}s^{1/2}$$

donde

Q	gasto
A	área de la sección transversal
n	coeficiente de rugosidad
r	radio hidráulico, definido por la relación $r = A/P$ = área/ perímetro mojado
s	pendiente del canal.

Valores típicos de n para varios tipos de tuberías se dan en la tabla 3.1. En general, los valores de n varían de 0.013 a 0.015 para el diseño de drenajes y se considera que son válidos para todos los tirantes del flujo.

Ecuación de Kuffer.

En su forma general, la ecuación de Kuffer es

$$V = \frac{41.66 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{s}}{1 + \left(41.66 + \frac{0.00281}{s}\right) n/\sqrt{r}}\sqrt{rs}$$

Los términos son los mismos que en la ecuación de Manning. Esta ecuación se derivó para canales abiertos y cauces naturales. Valores tipicos de n varían entre 0.010 y 0.150 dependiendo del tipo de canal en consideración.

Ecuación de Hazen-Williams.

De las numerosas ecuaciones de tipo exponencial para el cálculo de gastos en tuberías, ésta ecuación desarrollada en 1902 ha sido la más comunmente usada.

$$V = 1.318\,C\,r^{0.63}\,s^{0.54}$$

$$Q = VA = A\,(1/n)\,r^{2/3}s^{1/2}$$

donde

Q	gasto
A	área de la sección transversal
n	coeficiente de rugosidad
r	radio hidráulico, definido por la relación $r = A/P$ = área/ perímetro mojado
s	pendiente del canal.

Valores típicos de n para varios tipos de tuberías se dan en la tabla 3.1. En general, los valores de n varían de 0.013 a 0.015 para el diseño de drenajes y se considera que son válidos para todos los tirantes del flujo.

Ecuación de Kuffer.

En su forma general, la ecuación de Kuffer es

$$V = \frac{41.66 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{s}}{1 + \left(41.66 + \frac{0.00281}{s}\right) n/\sqrt{r}}\sqrt{rs}$$

Los términos son los mismos que en la ecuación de Manning. Esta ecuación se derivó para canales abiertos y cauces naturales. Valores tipicos de n varían entre 0.010 y 0.150 dependiendo del tipo de canal en consideración.

Ecuación de Hazen-Williams.

De las numerosas ecuaciones de tipo exponencial para el cálculo de gastos en tuberías, ésta ecuación desarrollada en 1902 ha sido la más comunmente usada.

$$V = 1.318\,C\,r^{0.63}\,s^{0.54}$$

TABLA VIII

VALORES DE *n* DADOS POR HORTON PARA SER EMPLEADOS EN LAS FORMULAS DE KUTTER Y MANNING.

SUPERFICIE	CONDICIONES DE LAS PAREDES			
	PERFECTAS	BUENAS	MEDIANAMENTE BUENAS	MALAS
Tubería fierro forjado negro comercial.	.012	.013	.014	.015
Tubería fierro forjado galvanizado comercial.	.013	.014	.015	.017
Tubería de latón o vidrio.	.009	.010	.011	.013
Tubería acero remachado en espiral.	.013	.015*	.017*	
Tubería de barro vitrificado.	.010	.013*	.015	.017
Tubos comunes de barro para drenaje.	.011	.012*	.014*	.017
Tabique vidriado.	.011	.012	.013*	.015
Tabique con mortero de cemento; albañales de tabique.	.012	.013	.015*	.017
Superficies de cemento pulido.	.010	.011	.012	.013
Superficies aplanadas con mortero de cemento.	.011	.012	.013*	.015
Tuberías de concreto.	.012	.013	.015*	.016
Tuberías de duela.	.010	.011	.012	.013
ACUEDUCTOS DE TABLON:				
Labrado.	.010	.012*	.013	.014
Sin labrar.	.011	.013*	.014	.015
Con astillas.	.012	.015*	.016	
Canales revestidos con concreto.	.012	.014*	.016*	.018
Superficie de mampostería con cemento.	.017	.020	.025	.030

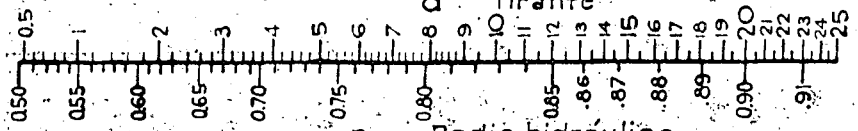
TABLA VIII
(concluye)

SUPERFICIE	CONDICIONES DE LAS PAREDES			
	PERFECTAS	BUENAS	MEDIANAMENTE BUENAS	MALAS
Superficie de mampostería seca.	.025	.030	.033	.035
Acueductos semicírculares metálicos, lisos.	.011	.012	.013	.015
Acueductos semicírculares metálicos corrugados.	.0225	.025	.0275	.030
CANALES Y ZANJAS:				
En tierra, alineados y uniformes.	.017	.020	.0225	.025*
En roca, lisos y uniformes.	.025	.030	.033*	.035
En roca; con salientes y sinuosos.	.035	.040	.045	
Sinuosos y de escurrimiento lento.	.0225	.025*	.0275	.030
Dragados en tierra.	.025	.0275*	.030	.033
Con lecho pedregoso y bordos de tierra enhierbados.	.025	.030	.035*	.040
Plantilla de tierra, taludes ásperos.	.028	.030*	.033*	.035
CORRIENTES NATURALES:				
(1) Limpios, bordos rectos, llenos, sin hendeduras ni charcos profundos.	.025	.0275	.030	.033
(2) Igual al (1) pero con algo de hierba y piedra.	.030	.033	.035	.040
(3) Sinuoso, algunos charcos y escollos, limpio.	.033	.035	.040	.045
(4) Igual al (3), de poco tirante, con pendiente y sección menos eficientes.	.040	.045	.050	.055
(5) Igual al (3), algo de hierba y piedras.	.035	.040	.045	.050
(6) Igual al (4), secciones pedregosas.	.045	.050	.055	.060
(7) Ríos perezosos, cauce enhierbado o con charcos profundos.	.050	.060	.070	.080
(8) Playas muy enhierbadas.	.075	.100	.125	.150

(*) Valores comunmente empleados al proyectar.

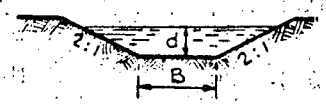
ANEXO Nº21 ; H.3 de 4

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

5- CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 2 : 1

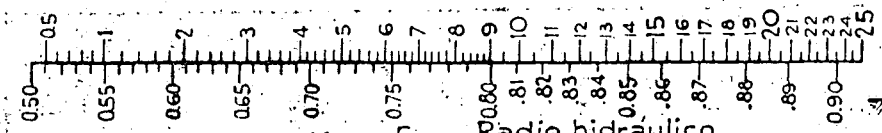


Ejemplo:
Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 18.00\ m. \\ d = 1.65\ m. \\ \text{Taludes: } 2:1 \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{18.00}{1.65} = 10.91$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.838$

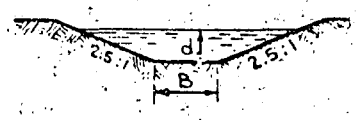
$\therefore r = 0.838 \times 1.65 = 1.38\ m.$

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$

6- CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 2½ : 1



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

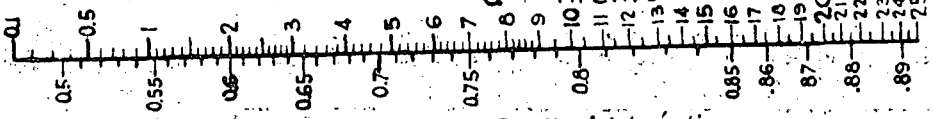


Ejemplo:
Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 15.00\ m. \\ d = 2.70\ m. \\ \text{Taludes: } 2\frac{1}{2}:1 \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{15.00}{2.70} = 5.56$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.736$

$\therefore r = 0.736 \times 2.70 = 1.99\ m.$

ANEXO Nº21, H4 de 4

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

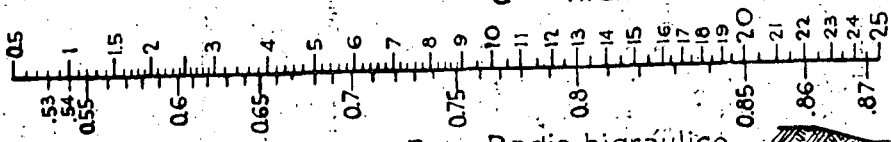
7- CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 3 : 1

Ejemplo:
Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 8.00\ m \\ d = 3.15\ m \\ \text{Taludes: } 3:1 \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{8.00}{3.15} \approx 2.54$ se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.625$

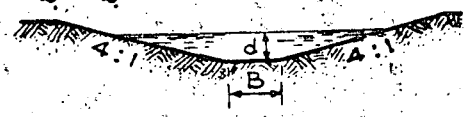
$\therefore r = 0.625 \times 3.15 = 1.97\ m.$

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$

8- CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 4 : 1



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$



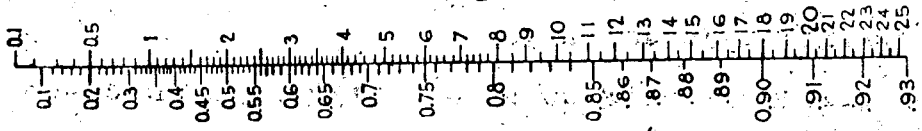
Ejemplo:
Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 12.00\ m. \\ d = 1.40\ m. \\ \text{Taludes: } 4:1 \end{cases}$, con $\frac{B}{d} = \frac{12.00}{1.40} = 8.57$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.747$

$r = 0.747 \times 1.40 = 1.05\ m$

ESCALAS ADYACENTES PARA OBTENER RADIOS HIDRAULICOS EN CANALES

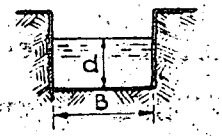
ANEXO Nº2L H1 de 4

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

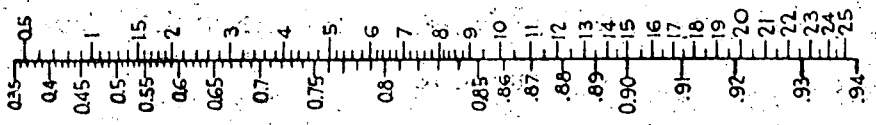
1-CANAL RECTANGULAR



Ejemplo:

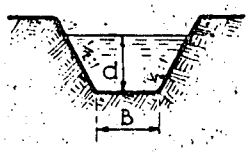
Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 3.50\,m \\ d = 1.75\,m \\ \text{Taludes Verticales} \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{3.50}{1.75} = 2.0$, se obtiene $\frac{r}{d} = 0.5$ $\therefore$ $r = 0.5 \times 1.75 = 0.875$

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

2-CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES ½ : 1

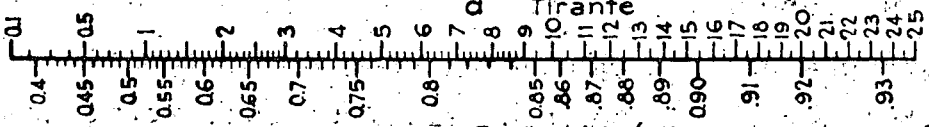


Ejemplo:

Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 4.00\,m. \\ d = 2.00\,m \\ \text{Taludes } \frac{1}{2}:1 \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{4.00}{2.00} = 2.0$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.59$ $\therefore r = 0.59 \times 2.00 = 1.18\,m$

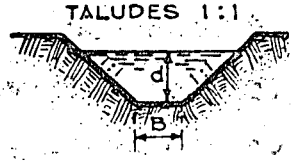
ANEXO Nº2L H2 de 4

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$

3-CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 1 : 1



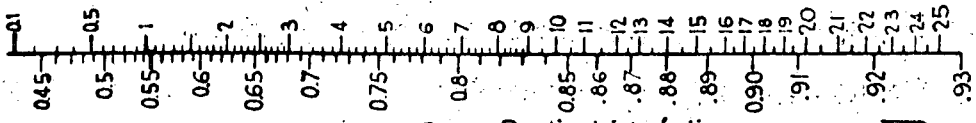
Ejemplo:

Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 4.50\,m \\ d = 1.80\,m \\ \text{Taludes: } 1:1 \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{4.50}{1.80} = 2.5$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.657$

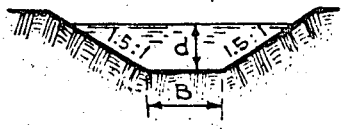
$\therefore r = 0.657 \times 1.8 = 1.18\,m.$

COCIENTE $\frac{B}{d} = \frac{\text{Plantilla}}{\text{Tirante}}$

4-CANAL TRAPEZOIDAL
TALUDES 1½ : 1



COCIENTE $\frac{r}{d} = \frac{\text{Radio hidráulico}}{\text{Tirante}}$



Ejemplo:

Sea un Canal con: $\begin{cases} B = 10.00\,m. \\ d = 1.60\,m. \end{cases}$; con $\frac{B}{d} = \frac{10.00}{1.60} = 6.21$, se obtiene: $\frac{r}{d} = 0.786$

donde C puede relacionarse con el coeficiente de rugosidad. Esta ecuación se usa generalmente para tuberías descargando bajo presión.

Medidores electromagnéticos de flujo.

Cuando un conductor eléctrico pasa a través de un campo electromagnético, se induce una fuerza electromotríz o voltaje en el conductor que es proporcional a la velocidad del conductor. El voltaje es función lineal del caudal volumétrico que pasa por el tubo. Se puede utilizar un campo de corriente alterna o de corriente continua, con la señal correspondiente generada en los electrodos.

En operación, el líquido en la tubería sirve como conductor. El campo electromagnético se genera colocando electrodos alrededor de la tubería. El voltaje inducido se mide entonces por los electrodos colocados a los lados de la tubería. Si la tubería es un conductor los electrodos no necesitan penetrar la pared de la tubería.

Medidores de corriente.

Los medidores de corriente o corrientómetros se utilizan para la medición de la velocidad de flujo en grandes tuberías de drenaje o en canales abiertos. La medición de la velocidad se puede hacer:

- en un solo punto cuando la medición se hace a 2/3 de la profundidad total que es el punto considerado como representativo de la velocidad media.
- en dos puntos, cuando se hace a 0.2 y 0.8 de la profundidad y el promedio de ésos dos valores es el representativo de la velocidad media.
- en varios puntos, dividiendo la sección transversal del cauce en varias secciones y midiendo en c/u de ellas la velocidad, la velocidad media se calcula

$$\bar{v} = \frac{\sum_{i=0}^{n} v_i a_i}{\sum_{i}^{n} a_i}$$

Bibliografía consultada

"Mecánica de los Fluídos" Víctor L. Streeter. Ed. Mc Graw-Hill. 1971

"Hidráulica". Samuel Trueba Coronel. Cía Ed. Continental S. A. 1966. 7a Ed.

Wastewater Engineering : Collection , Treatment, Disposal". Mc Graw Hill.1972

Mecánica de los Fluídos e Hidráulica" Ronald V. Giles, Serie de compendios Schaum. Mc Graw Hill Inc. 1969

"Planning and Making Industrial Waste Surveys", preparado por Metal-finishing Industry Action Committee of the Ohio River Valley Sanitation Commission. Abril 1952.

"Mecánica de Fluídos para Ingenieros". N.B. Webber Ediciones Urmo, Bilbao. 1969.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA

ING. CESAR FLACON DE G.

8 de Septiembre de 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

Las aguas negras o residuales municipales contienen los desechos resultantes del uso del agua en los hogares, el comercio y la industria y de todas aquellas aguas superficiales o subterráneas - que puedan penetrar al alcantarillado.

La naturaleza de las aguas residuales essumamente compleja. Su análisis generalmente es parcial y no indica su composición - total. Los análisis de aguas residuales adquieren verdadero valor -- cuando se dispone de una serie de determinaciones que permita obtener conclusiones estadísticas.

Las características físicas de la agua residuales son : Temperatura, olor, color y turbiedad.

Los compuestos químicos que contienen las aguas residuales pueden clasificarse en dos clases inorgánicos y orgánicos.

Los componentes inorgánicos son sustancias minerales disueltas provenientes del agua de abastecimiento y las que se agregen por su uso doméstico y de desecho industrial, Las sustancias químicas inorganicas mas comunes están formadas por carbonatos, cloruros, sulfatos y fosfatos de calcio, magnesio, sodio, potasio, etc. Los componentes orgánicos están compuestos en su mayor parte por proteínas, glúcidos y lípidos.

Las proteínas y los sub-productos de su metabolismo y descomposición son los materiales productores de nitrógeno en las aguas residuales.

La fuente principal de nitrógeno en las aguas negras domésticas es la urea, que es factible de descomponerse rápidamente en amoníaco y bióxido de carbono. Las proteínas contribuyen tambien a la presencia de azufre, el cual, por reducción, se puede transformar en ácido sulfhidrico.

Los glúcidos, constituídos principalmente por azúcares y almidones son los mas facilmente atacables por las bacterias con producción de ácidos orgánicos. Es por esto que el pH de las aguas negras sépticas es generalmente inferior al del agua fresca.

Los lípidos al ser descompuestos producen olores -- desagradables, son los responsables de la formación de espumas en las unidades de tratamiento y recubren a otras particulas orgánicas.

Los microorganismos que se encuentran en las aguas residuales varian en tipo y número de acuerdo con su composición y ellos son: bacterias, hongos, algas y protozoarios.

Las aguas negras contienen normalmente millones de bacterias por mililitro entre las que se incluyen los coliformes los estreptococos y proteus que provienen del tracto intestinal del hombre y lógicamente podrán contener protozoarios, bacterias, y virus patógenos tales como los causantes de la disentería, el cólera, fiebre tifoidea, poliomelítis y hepatitis infecciosa.

Los microorganismos que intervienen en la purificación de las aguas negras actuan oxidando o reduciendo los desechos organicos, según sea el medio. En el proceso aerobio producen como productos finales nitratos, bioxido de carbono y agua, en el proceso anaerobio reducen la urea, hidrolizan las proteinas y la ceulosa, emucionan las grasas, reducen los nitratos y sulfatos y dan como productos finales, metano, bioxido de carbono y ácido sulfhídrico.

Las bacterias en los procesos de tratamiento.

Los procesos biológicos de tratamiento de las aguas residuales tienen como objetivo principal la estabilización de su contenido de materia orgánica. Se entiende por estabilización de la materia - orgánica su transformación por acción bacteriana a sustancias más simples y estables que ya no son suseptibles de descomponerse posteriormente.

Las bacterias son organismos unicelulares. Sus procesos metabólicos incluyen la asimilación de alimentos, que tiene lugar dentro de las células y la descomposición de sustancias alimenticias, coloidales y disueltas, de modo que puedan difundirse a través de la pared de las células.

La descomposición y asimilación son realizadas por las enzimas que son producidas por la célula. Las enzimas son específicas, algunas por ejemplo hidrolizan los azúcares y otras las grasas.

El alimento o sustrato, es requerido por las bacterias para la formación o crecimiento de la célula y tambien para el --

suministro de la energía necesaria para la producción de enzimas.

La actividad de las bacterias es continua mientras hay alimentos disponibles y las condiciones ambientales les sean favorables

Cuando se agregan bacterias a un medio adecuado, al principio no hay un aumento aparente de su número Después -- comienza una pequeña multiplicación y luego ésta se hace más rápidamente hasta que se obtiene velocidad uniforme

Estas etapas se conocen con el nombre de "etapas de crecimiento logarítmico" aludiendo al tipo de función que se obtiene si se representa gráficamente el fenómeno de crecimiento.

A las etapas de crecimiento logarítmico, le suceden una disminución en la velocidad de crecimiento, con un período de disminución lenta y luego otro de disminución más rápida. Estas se conocen con el nombre de "etapas de muerte logarítmica"

El número máximo obtenido dependerá del tipo de bacterias, de la clase y cantidad de alimento y de la temperatura.

La disminución en número dependerá del agotamiento del suministro de alimento, o acumulación de productos de desecho, siendo esto último lo más importante.

Los productos de desecho pueden ser ácidos, que disminuyen el pH del medio a valores desfavorables para el crecimiento -- bacteriano o pueden ser tóxicos. Luego, es lógico, que en los métodos de tratamiento de aguas negras que dependen de la acción bacteriana,

sea importante mantener las condiciones que producen la fase de crecimiento logarítmico, asegurando un suministro contínuo de alimento y la eliminación de productos de desecho indeseables o neutralizando sus efectos.

Ni los organismos patógenos, ni los coliformes, juegan ningún rol en el proceso de tratamiento.

La estabilización de la materia orgánica puede ser llevada a cabo por bacterias anaeróbicas o aeróbicas

Las primeras son usadas para estabilizar las sustancias orgánicas que han sido eliminadas por sedimentación y el proceso se conoce como digestión, normalmente la digestión anaeróbica, no se continúa hasta estabilidad completa, sino hasta un punto en que la descomposición posterior es tan baja, que ya no sea un inconveniente.

La estabilización por bacterias aeróbicas es más rápida que la anterior y no está acompañada por olores desagradables Sin embargo, si el proceso aeróbico es detenido por una interrupción en el suministro de oxígeno, o si el suministro es inadecuado, podrá aparecer una etapa aneróbica con los trastornos consiguientes.

Hay otro grupo de bacterias que no son ni estrictamente aeróbicas, ni anaeróbicas y que se conocen con el nombre de facultativas Estas pueden continuar los procesos de su vida bajo condiciones tanto aeróbicas como anaeróbicas

El contenido bacteriano de las aguas negras es muy grande

y varía ampliamente con su concetración.

La presencia de residuos industriales que sean hostiles para la vida bacteriana puede reducir el contenido bacteriano.

Los procesos de tratamiento aeróbico reducen las bacterias coliformes entre el 85 y 95% La desinfección con cloro de los efluentes las reducen aún más. El proceso de digestión anaeróbica, si es realizado durante treinta días aproximadamente, reduce los coliformes en un 99.8%

Tanto en los tratamientos aeróbicos como anaeróbicas y con cloración, las bacterias patógenas se reducen alrededor de la misma proporción que los coliformes

Otros microorganismos asociados.

Son importantes las algas que juegan un papel importante en las lagunas de estabilización y en la autopurificación de las corrientes de aguas contaminadas.

Los protozarios son animales unicelulares, de los cuales hay muchas especies que varían en tamaño, forma, modo de locomoción y alimentación Pueden ser aerobios, anaerobios o facultativos Su número está muy próximo al de las bacterias, se considera que estos microorganismos ayudan a las bacterias en su función de -- depuración, pero su importancia en este proceso no es bien conocida.

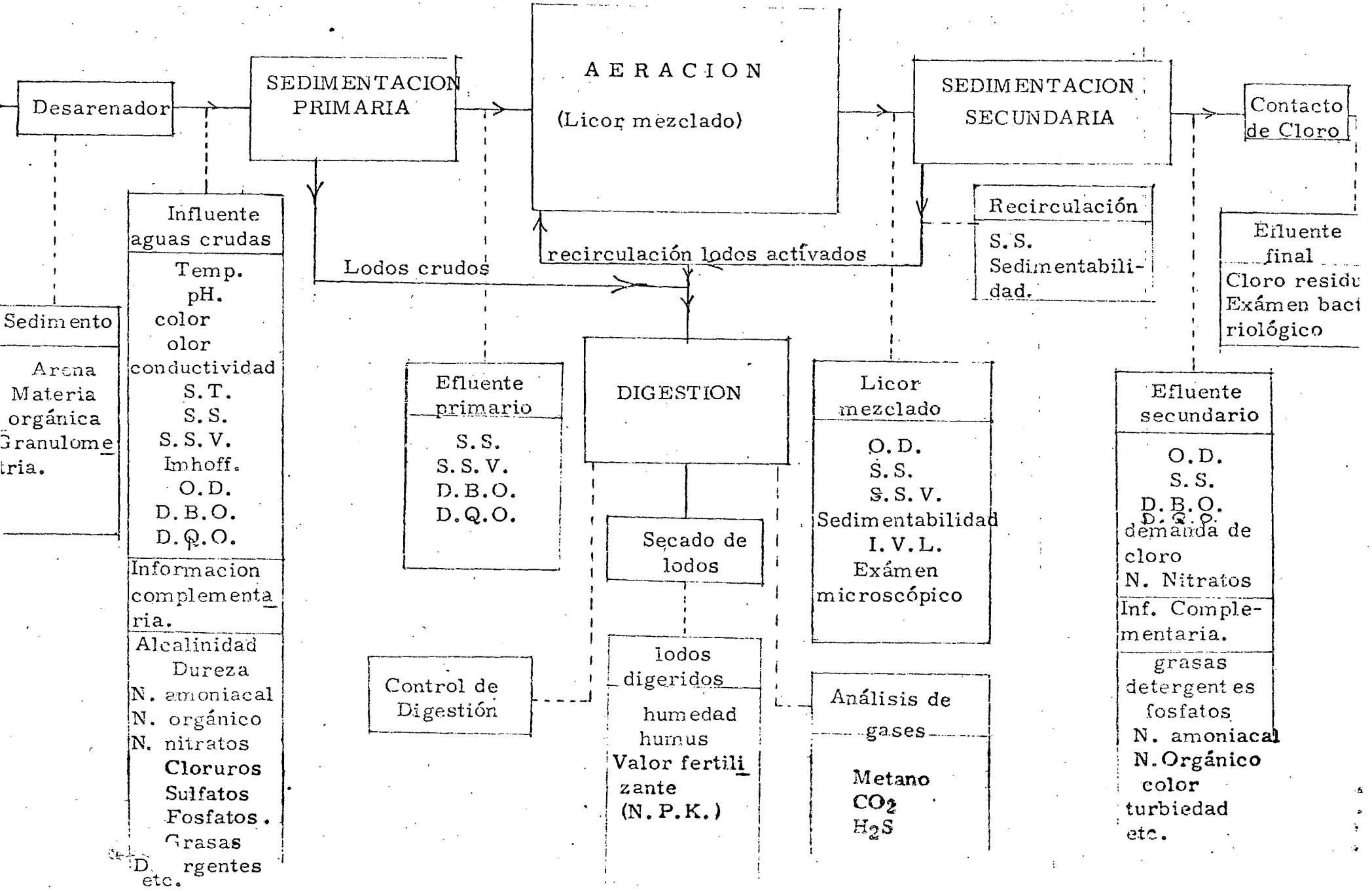
En las aguas negras están también presentes los hongos. Estos descomponen a los carbohidratos, las grasas y las proteínas La mayor parte de ellos son aerobios Son menos numerosos que las

bacterias o los protozoarios. Los hongos se visualizan como crecimientos mucosos en las canaletas y los sedimentadores. Son muy comunes en las películas de los filtros rociadores y probablemente ayudan a fijarlas a las piedras de los mismos.

Con el conocimiento esencial expuesto, de lo que son las aguas negras y de las bases y mecanismos que regulan el proceso a que se someten en una planta de tratamiento biológico, se trata de facilitar que se aprecie la importancia que puedan tener, en cada caso, las determinaciones analíticas que es preciso realizar para el control de la operación y que puedan dar en cada una de ellas, una correcta interpretación.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES

CONTROL GENERAL DE LA OPERACION



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA.

Ing. Francisco Suzán Colombres
Ing. Cesar Falcón de G.

SEPTIEMBRE, 1978.

REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE QUIMICA Y MICROBIOLOGIA

Se presenta una revisión de los métodos y preservación de algunos parámetros fisicoquímicos, así como su significado en la caracterización de una agua residual y en la operación de un proceso biológico. Se describe en forma general las características de los siguientes microrganismos; bacterías, hongos, algas, crustaceos, protozoarios, rotíferos y virus.

1.- Obtención y preservación de muestras.

Una muestra de agua debe ser representativa de las condiciones que se tengan del punto y hora de muestreo, ya que, de los resultados que se obtengan del análisis fisicoquímico y/o biológico realizados a la muestra, dependerán de alguna manera las conclusiones, decisiones y acciones a seguir.

Las muestras son generalmente definidas e identificadas por el tipo y método de muestreo, así pueden ser, muestras de tipo individual y/o compuesta, y obtenidas y colectadas por métodos manuales o automáticos.

Las muestras de tipo individual son colectadas en un instante particular, o sea, de forma tal que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para completar el volumen necesario. Este tipo de muestras representan las condiciones que existen en ese momento.

Cuando se obtiene una serie de muestras individuales, colectadas en un mismo sitio a intervalos espaciados de tiempo, se pueden combinar proporcionalmente al flujo correspondiente al tomar la muestra individual, para obtener finalmente la muestra compuesta; por ejemplo,

queremos obtener del influente de una planta de tratamiento, una muestra compuesta, a partir de muestras individuales colectadas cada cuatro horas

hora de muetreo (1)	gasto en el punto de muestreo, en l/día (2)	volumen muestreado, en ml (3)	porcentaje, correspondiente al volumen que se debera tomar de la muestra (4)	volumen parcial para obtener un litro de muestra compuesta, en ml (5)
4:00	11.5	1000	10.7	107
8:00	22.7	1000	21.2	212
12:00	19.0	1000	17.7	177
16:00	15.2	1000	14.2	142
20:00	25.5	1000	23.8	238
24:00	13.3	1000	12.4	124
Suma	107.2		100.0	1000

Si queremos dos litros de muestra compuesta, tendremos que multiplicar los valores de la columna (4) por dos ypor diez.Las muestras compuestas representan condiciones del agua sobre periodos finitos de tiempo.

Después de obtener una muestra, es esencial tratar de mantenerla en un estado que no varíen sus características y sea representativa.

Por esta razón es necesario obtener muestras individuales para su análisis inmediato. Por ejemplo, oxígeno disuelto, cloro residual, sulfuros solubles, pH y temperatura.

Para obtener buenos resultados en los análisis que se requieran, es importante recordar;

La muestra colectada debe ser representativa

Usar técnicas apropiadas de muestreo

El volumen de muestra sea suficiente para su análisis

Preservación de las muestras.

En el siguiente cuadro se da una guía de la cantidad de muestra necesaria para realizar un análisis en particular,ref(1)

PARAMETRO	VOLUMEN, en ml **	PARAMETRO	VOLUMEN, ** en ml
Color y olor *	100-500	Demanda química O_2	50-100
Corrosividad *	in situ	Detergentes	100-200
Conductividad*	100	Dureza	50-100
pH	100	Microrganismos	100-200
Gravedad específica *	100	Nitrógeno orgánico	500-1000
Radioactividad	100-1000	Grasas y aceites	1000-5000
Temperatura	in situ	Compuestos fenólicos	500-4000
Turbiedad *	100-1000	Sílice	50-1000
Amoníaco +	500	Sólidos disueltos	100-1000
Dióxido de carbono +	200	Sólidos suspendidos	50-1000
Cloro libre +	200	Aluminio	100-1000
Hidrógeno +	1000	Antimonio	100-1000
Acido sulfhídrico +	500	Arsénico	100-1000
Oxígeno +	300-1000	Bario	100-1000
Dióxido de azufre	100	Cadmio	100-1000
Acidez y alcalinidad	100	Calcio	100-1000
Demanda bioquímica de oxígeno.	100- 500	Cromo	100-1000
Cobre	200-4000	Bromo	100
Fierro	100-1000	Carbonatos	100- 200
Plomo	100-4000	Cloruros	25- 100
Magnesio	100-1000	Cianuros	25- 100
Manganeso	100-1000	Fluor	200
Mercurio	100-1000	Hidróxidos	50-100
Potasio	100-1000	Ioduros	100
Níquel	100-1000	Nitratos	10-100
Plata	100-1000	Nitritos	50- 100
Sodio	100-1000	Fosfatos Ortofosfatos	50- 100
Estroncio	100-1000	Sulfatos	100-1000
Estaño	100-1000	sulfuros	100- 500
Zinc	100-1000	Sulfitos	50- 100
Bicarbonato.	100- 200		

* Se pueden usar alícuotas

\+ Las muestras deben ser obtenidas en recipientes diferentes, completamen tellenos y preservadas

** La cantidad exacta debe ser consistente con el volumen que prescriben los métodos estándar para su análisis.

Las muestras, ya sean compuestas o individuales, deben ser preservadas, de tal manera que no cambien sus características a obtener en calidad y cantidad. En la recolección de algunas muestras se requiere de especial cuidado, por ejemplo, cuando se tomen muestras para analizar oxígeno, dióxido de carbono, amoníaco, ácido sulfhídrico, ácidez, alcalinidad, ion ferroso los recipientes deben ser llenados completamente con la muestra. Las muestras para análisis bacteriológicos deben ser recolectadas en recipientes esterilizados, de boca ancha y es recomendable que tengan tapón esmerilado. A continuación se presentan algunos métodos de preservación.

PARAMETRO	PRESERVACION (1)	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
Acidez-alcalinidad	Refrigeración a 4°C.	24 hrs.
Demanda Bioquímica de Oxígeno.	Refrigeración a 4°C.	6 hrs.
Calcio	No se requiere.	7 días.
D.Q.O.	2 ml./l. de Ac.sulf.conc. (H_2SO_4)	7 días.
Cloruros	No requiere	7 días.
Color	Refrigeración a 4°C	24 hrs.
Cianuro	Cáustico hasta pH de 10	24 hrs.
Oxígeno disuelto	2 ml $MnSO_4$ + 2 ml alcalí yoduro nitruro + 2 ml H_2SO_4, in situ.	12 hrs.
Floruros	No se requiere	7 días.
Dureza	No se requiere	7 días.
Metales pesados	5 ml de ac. nítrico (HNO_3)	6 meses.
Metales disueltos	filtrar 3 ml/l de Ac. Nitrico (1:1)	6 meses.

PARAMETRO	PRESERVACION	TIEMPO MAXIMO DE ALMACENAMIENTO
Nitrógeno de amoníaco	40 mg/l $HgCl_2$, 4°C6 0.8 ml/l H_2SO_4 conc.	7 días.
Nitrógeno Kjeldahl	" "	inestable
Nitrógeno nitratos	" "	7 días.
Nitrógeno de nitritos.	40 mg/l $HgCl_2$ a 4°C *	1 día.
Grasas y aceites	2 ml/l H_2SO_4 a 4° C.	24 días.
Carbón orgánico.	2 ml/l de Ac. clorhidrico, pH hasta 2 in situ	7 dias.
pH	in situ.	
Fenoles	1g/l $CuSO_4$+H_3PO_4, pH hasta 4 y a 4°C *	24 hrs.
Fósforo	40 mg/l $HgCl_2$ a 4°C o 0.8ml/l- H_2SO_4 conc.	7 días.
Sólidos	No definida	7 días.
Conductancia	No se requiere	
Sulfatos	Refrigeración a 4°C.	
Sulfuros	2 ml/l de acetato de Zinc.	
Olor	Refrigeración a 4°C.	
Turbiedad	No definida.	

* $HgCl_2$, cloruro mercúrico.

$CuSO_4$, sulfato cúpiero.

H_3PO_4, ácido fosfórico.

Los métodos y preservación de muestras se pueden obtener en la referencia (2)

CARACTERIZACION DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los principales anális para caracterizar los residuos líquidos, se pueden clasificar en físicos, químicos y biológicos.

a) Características físicas.

Las características físicas más importantes que se usan para describir la calidad del agua residual son; temperatura, olor, color, sólidos y la variación de flujo.

Temperatura. La temperatura representa el grado de calor del desecho, en términos de una escala establecida arbitrariamente, comunmente se usa la escala en grados Farenheit (°F) o Celsius (°C) y ambos están relacionados por la siguiente ecuación

$$°F = 1.8\ °C + 32$$

es un importante parámetro en la operación de las plantas de tratamiento, ya que influye significativamente en los procesos físicos, químicos y biológicos.

usualmente se obtiene por medio de termómetros con bulbo de mercurio, termistores, termocoples.

Olor. se puede definir como la impresión de las partículas emitidas por los curpos producen en el olfato. es una medida que depende de las sensibilidad individual para oler, lo qué hace que sea un parámetro subjetivo. sin embargo, puede ser usado para calificar cualitativamente las condiciones de una agua residual y en la operación de diferentes tratamientos. Por ejemplo, uno de los olores más característicos de aguas sépticas, es el del ácido sulfhídrico (olor a huevo podrido) y es producido por microrganismos anaerobios al reducir los sulfatos a sulfuros.

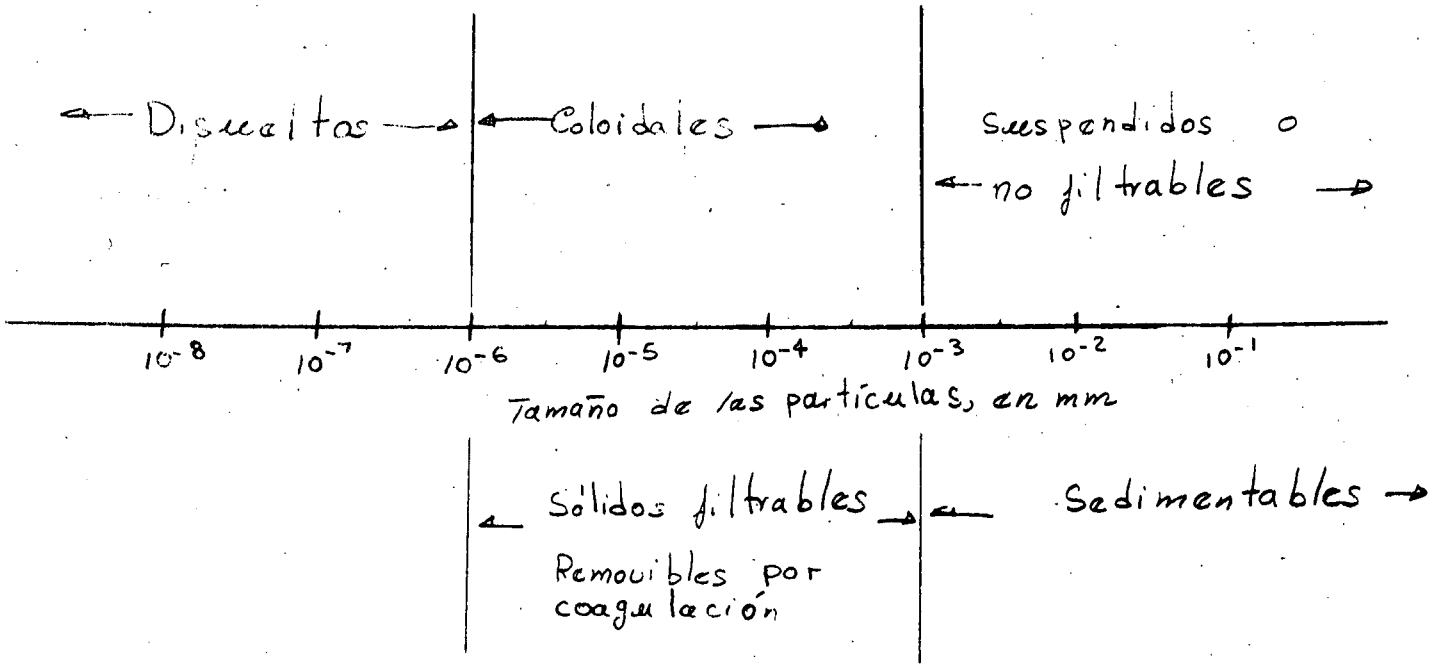
Los residuos líquidos domésticos tienen un olor característico, asi que otros olores pueden indicar la presencia de aguas residuales industriales. El olor se expresa como, número umbral de olor, y el procedimiento para obtenerlo se encuentra en la referencia (2).

Color. Es la impresión que los rayos de luz reflejados por un cuerpo producen en la vista. En las aguas residuales, el color es causado por la presencia de materia disuelta y suspendida. Las aguas sépticas tienen un color negro, colores diferentes pueden ser causados por descargas industriales, particularmente de papeleras, textiles, enlatadoras, etc. Se expresa generalmente de dos formas; una es como unidades de color, con base al color producido por 1 mg/l de platino en la forma de ion cloroplatinato, la otra forma de expresarlo es por la longitud de onda dominante, ref (2).

Sólidos. Una de las características físicas más importantes en las aguas residuales es el contenido de sólidos, y se clasifican como flotantes, sedimentables, suspendidos y disueltos.

En la siguiente figura se muestra la clasificación y rango del tamaño de las partículas,

Clasificación de las partículas, ref (3)



Debido a la gran variedad de compuestos inorgánicos y orgánicos que se encuentran presentes en las aguas residuales, las pruebas para la determinación de sólidos son de carácter empírico, por lo que, el procedimiento para su determinación deben ser consistentes.

Un esquema general de los diferentes tipos de sólidos es;

	Totales	Fijos	Volátiles	Unidad
Sólidos totales	"	"	"	mg/l
Sólidos suspendidos	"	"	"	mg/l
Sólidos disueltos	"	"	"	mg/l
Sólidos sedimentables	"	"	"	ml/l/h* o mg/l
Sólidos no sedimentables				mg/l

* No necesariamente una hora

Sólidos totales. Este término se aplica al peso del material que quede en un recipiente previamente tarado, después de la evaporación de una muestra de agua y del subsecuente secado a una temperatura constante de 103 a 105 C.

Sólidos disueltos y suspendidos. Los sólidos disueltos, generalmente son sales inorgánicas ionizadas, que logranpasar atraves de un filtro de asbesto. Los sólidos suspendidos serán aquellos que queden retenidos por el filtro.

Sólidos volátiles y fijos. Los sólidos suspendidos volátiles son de gran importancia, ya que se pueden considerar equivalentes a la cantidad de materia orgánica presente en la muestra, y son los que se descomponen a una temperatura de 550 C ± 50cC. Los sólidos fijos seran la diferencia entre los sólidos suspendidos y los volátiles.

Sólidos sedimentables. Este término se aplica a los sólidos en suspención que sedimentan por la influencia de la fuerza de gravedad, en un determinado tiempo, el resultado se reporta en ml/l/h. Son de gran importancia en el diseño y operación de sedimentadores.

Esquema de determinación de sólidos.

1) Totales

Cápsula peso constante (A) → Volumen de muestra → Evaporar → Secado a 103°C →
(103, 550 °C) (1 a 2 horas)

Enfriar → Pesar cápsula (B) → Calcinar a 550 °C → Enfriar → Pesar (C)
(15 a 20 min)

2) Suspendidos

Gooch peso constante (G) → Filtrar muestra → Secar a 103°C → Enfriar →
(103, 550 °C) (1 a 2 horas)

Pesar Gooch (H) → Calcinar a 550°C → En friar → Pesar gooch(I)
(15 a 20 min)

Cálculos

1) D= Sólidos totales totales, en mg/l (STT)

peso de la cápsula A,B,C, en mg

$$D = \frac{(B - A) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

E = Sólidos totales volátiles, en mg/l (STV)

$$E = \frac{(B - C) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

F = Sólidos totales fijos, en mg/l (STF)

$$F = D - E$$

2) Suspendidos

J = Sólidos suspendidos totales, en mg/l (SST)

peso del gooch, H,G,I, en mg

$$J = \frac{(H - G) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

K = Sólidos suspendidos volátiles, en mg/l (SSV)

$$K = \frac{(G - I) \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

L = Sólidos suspendidos fijos, en mg/l (SSF)

$$L = J - K$$

3) Disueltos o filtrables

Sólidos disueltos totales, en mg/l (SDT o SFT)

$$SDT = STT - SST$$

Sólidos disueltos fijos, en mg/l (SDF O SFF)

$$SDF = STF - SSF$$

Sólidos disueltos volátiles, en mg/l (SDV o SFV)

$$SDV = STV - SSV$$

El procedimiento de las diferentes pruebas se puede obtener en la ref (2)

4) Sólidos sedimentables, en ml/l /h.

Se obtiene directamente del cono de Imhoff

D) Características químicas

Se dan algunas características de los principales compuestos orgánicos e inorgánicos.

i) Compuestos orgánicos.

Los compuestos orgánicos son los que contienen carbón en combinación con uno o más elementos, generalmente, hidrógeno,oxígeno,fósforo,nitrógeno, azufre,fierro. No se toman como compuestos orgánicos el monóxido y dióxido de carbono.

En las aguas residuales domésticas se encuentran principalmente los siguientes grupos de sustancias orgánicas, proteínas,carbohidratos,grasas y aceites, así como una gran cantidad de diferentes compuestos orgánicos sintéticos,los que pueden variar desde una estructura

molecular simple a una compleja.

Proteínas. En los animales es uno de los principales constituyentes, en los vegetales generalmente son menos abundantes, tienen estructuras químicas complejas, sus pesos moleculares varían de 20000 a 20 millones.

Las proporciones en que se encuentran los elementos C,H,O,N,S varían entre los siguientes límites: C = 50 a 55 %, H = 6.5 a 7.3 %, N = 15 a 17.6 %, S = 0.3 a 2.4 %.

Esto hace que las proteínas junto con la urea sean las principales fuentes de nitrógeno en las aguas residuales domésticas.

Carbohídratos. Los elementos que los forman son C,H, O, comunmente tienen 6 o multíples de 6 átomos de carbono en cada molécula. Abundan en la naturaleza, por ejemplo, azúcar,almidón,celulosa

Grasas y aceites. Son mezclas de ésteres glicéricos de ácidos grasos, como son, palmítico,esteárico,oleico.

Se designan como aceites a los cuerpos grasos que, a temperatura ordinaria se presentan líquidos, todos ellos son derivados de la glicerina con diversos ácidos poco hidrogenados,y cuando su estado natural es sólido se les denominan grasas.

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos estables y su biodegradación no es fácil. Generalmente la determinación analítica, se basa en su extracción por medio de un solvente(hexano, cloroformo).

ii) Medición del contenido de materia orgánica

Se han desarrollado métodos diferentes para determinar el contenido de materia orgánica en las aguas, como son la demanda bioquímica de oxígeno, DBO, demanda química de oxígeno, DQO, carbón orgánico total, COT demanda de oxígeno total, DOT.

DBO

La DBO de las aguas residuales es un indicador del contenido de la materia orgánica que puede ser biodegradable, y se define como la medida de la cantidad de oxígeno requerido por los microrganismos para oxidar la materia

orgánica presente en un agua, para nuestro caso será una agua residual. Esta oxidación teóricamente es completa, es decir, la degradación de la materia orgánica es llevada hasta dióxido de carbono y agua.

Los datos de DBO, que se obtengan del análisis de una agua residual, son de gran importancia, ya que es uno de los parámetros básicos de diseño en los procesos biológicos. Asi mismo, son de gran utilidad en el control de la planta de tratamiento, pues sirven para conocer el grado y eficiencia de remoción de materia orgánica del tratamiento.

La medición de este parámetro esta basada en el consumo de oxígeno en la muestra preparada, ya que la cantidad requerida de oxígeno para la oxidación estará dada por la diferencia del oxígeno disuelto inicial, OD_i menos el oxígeno disuelto final OD_f. Este OD_f es obtenido, generalmente, al cabo de cinco días de incubación a una temperatura constante de 20 C.

Para obtener resultados satisfactorios, la muestra de agua deben ser incubadad con una agua de dilución especialmente preparada, de tal manera que contenga los nutrientes adecuados y el oxígeno suficiente durante el periodo de incubación. En el siguiente cuadro se dan varias diluciones de muestras y el rango de DBO que puede esperarse, ref (3)

mezcla, en %	Rango de DBO en mg/l	ml *	Rango de DBO, en mg/l
0.01	20000-70000	0.02	30000-105000
0.02	10000-35000	0.05	12000-42000
0.05	4000-14000	0.10	6000-21000
0.1	2000-7000	0.20	3000-10500
0.2	1000-3500	0.50	1200-4200
0.5	400-1400	1.0	600-2100
1.0	200-700	2.0	300-1050
5.0	40-140	5.0	120-420
10.0	20-70	10.0	60-210
20.0	10-35	20.0	30-105
50.0	4-14	100.0	6-21
100	0-7	300.0	0-7

* Se pipetea directamente la muestra para ser vertida a la botella de OD de 300 ml

DQO

La determinación de la demanda química de oxígeno, proporciona la medida de oxígeno que es equivalente a la porción de la materia orgánica e inorgánica, presente en una muestra de agua, capaz de oxidarse por procedimientos químicos.

Para la determinación análitica de la DQO, el procedimiento más empleado es el del dicromato de potasio, ya que este compuesto es un oxidante fuerte en medio ácido.

En las aguas residuales, los valores de DQO son generalmente mayores que los de las DBO, debido a que muchos compuestos son oxidados químicamente, pero no son oxidados biológicamente.

Cuando es posible establecer una relación entre los valores de la DQO y DBO, constituye una ventaja, ya que el tiempo que se requiere para hacer una prueba analítica de DQO es de tres horas, contra cinco días para la prueba de la DBO, y se puede aplicar la relación para conocer la eficiencia de remoción de la materia orgánica en la pperación de las plantas de tratamiento.

iii) Compuestos inorgánicos

En los compuestos inorgánicos no se incluyen los elementos o compuestos que esten en combinación química con el carbono orgánico. Ejemplos de compuestos inorgánicos son el nitrógeno, los fosfatos, cloruros, etc.

pH

La forma más común de expresar la concentración del ion hidrógeno, es el pH, y se define como el logaritmo del inverso de la concentración del ion hidrógeno,

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]} = -\log[H^+]$$

Los pH de las aguas residuales pueden variar desde 1 hasta 14, cuando el pH está entre 1 y 7 se concidera agua ácida, y entre 7 y 14 básica. El pH igual a 7 se define como agua neutra.

El pH es de vital importancia en la operación de las plantas de tratamiento debido a que está íntimamente relacionado con el desarrollo de la vada biológica.

La medición de pH se recomienda hacerla por medio de potenciómetros.

Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de la capacidad del agua a neutralizarse. Los principales iones que contribuyen a la alcalinidad de una agua son carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, aunque también causan alcalinidad algunos boratos, silicatos y fosfatos.

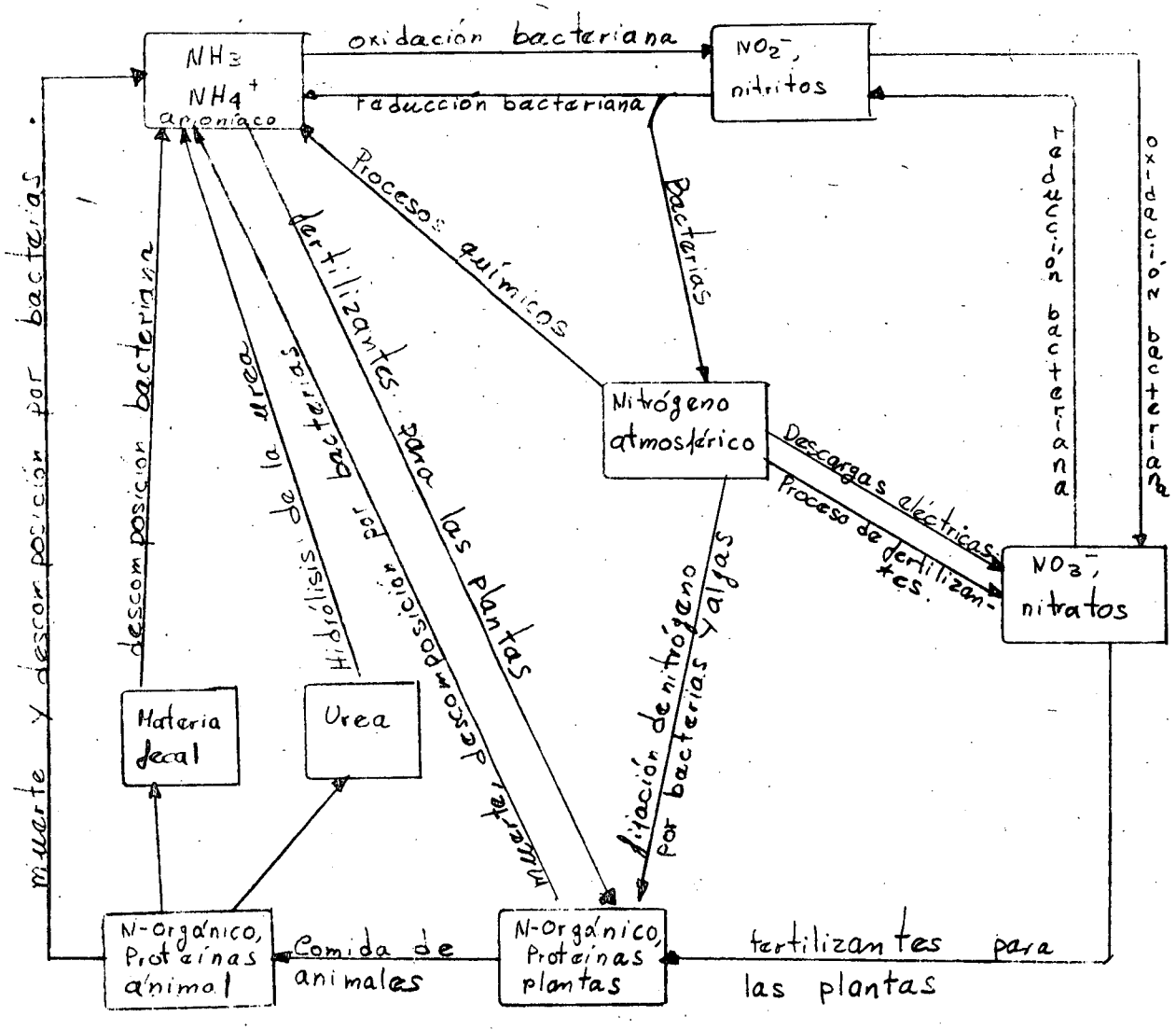
La determinación de los niveles de alcalinidad en diferentes puntos de una planta de tratamiento, ayudan al entendimiento e interpretación del proceso de tratamiento, por ejemplo, si se adicionan reactivos químicos para remover sólidos del agua residual (coagulación), la concentración del ion hidrógeno puede incrementarse, pero dependiendo de la alcalinidad que se tenga, podra tender a neutralizar los ácidos formados y se permita el proceso de la coagulación en el intervalo adecuado de pH.

Nitrógeno

Los elementos de nitrógeno y fósforo, son esenciales para el crecimiento de los microrganismos y plantas, a dichos elementos se les conoce como nutrientes o bioestimulantes.

Para el tratamiento de las aguas residuales, por medio de un proceso biológico, es necesario conocer la cantidad de nutrientes que contenga el agua residual, ya que de no haber el contenido necesario de nutrientes para el desarrollo biológico, sera necesario adicionarselos.

En la figura siguiente se presentan varias formas de compuestos del nitrógeno, asi como la manera en que se intercambian



Ciclo del nitrógeno. red (3)

En las aguas residuales domésticas recientes, el nitrógeno esta contenido en las proteínas y la urea, estas materias pueden ser descompuestas fácilmente por las bacterias, las cuales los cambian a la forma amoniacal. En un medio aerobio, las bacterias pueden oxidar el nitrógeno del amoníaco a nitritos y después a nitratos. Los nitratos son usados por las algas y otras plantas acuáticas para formar proteínas y a su vez, los animales usan estas plantas para su formación, y a la muerte de estas plantas y animales, las proteínas son descompuestas por la acción de los microrganismos, por lo que se producirá amoníaco y se vuelve a establecer el ciclo.

El contenido del nitrógeno amoniacal se determina generalmente, por la destilación de la muestra a un pH dado, y el destilado es recogido en una solución que absorve el amoníaco, para que después sea medido por métodos colorimétricos o por titulación. El nitrógeno organico se determina por el método Kjeldahl, básicamente consiste en convertir el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoníacal.

Fósforo

El fósforo es un elemento esencial para el metabolismo de los organismos biológicos.

En los procesos biológicos, se necesita una concentración mínima de este elemento para obtener buenas condiciones de desarrollo.

Las formas en que se puede presentar el fósforo en las aguas son; ortofosfatos, piro, poli y meta fosfatos, fósforo orgánico. Los ortofosfatos son facilmente aprovechadospara el metabolismo de plantas y animales

El método analítico que generalmente se usa para determinar el fósforo es el del cloruro estanoso.

Oxígeno disuelto, OD

Todo organismo vivo requiere de oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen energía para su crecimiento y reproducción. En la operación de los procesos biológicos aerobios es uno de los parámetros más importantes.

Sirve como base para la determinación de la DBO.

Uno de los dos métodos más usados para obtener la cantidad de OD de un agua es, el método de Winkler modificado, se basa en la liberación de iodo, equivalente a la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra de agua, el iodo liberado es cuantificado por medio de una solución valorada de tiosulfato de sodio. El otro método para determinar el OD es el polarográfico.

Es necesario tener en cuenta que aquí solo se presentarón algunos parámetros fisicoquímicos que sirven para caracterizar una agua residual, o bien, para definir el grado, eficiencia y control de una planta de tratamiento biológico.

c) Características biológicas

El conocimiento de los principales grupos de microrganismos que se puedan encontrar en las aguas residuales, ayudara a comprender los principios en que se basan los procesos biológicos.

Todo ser vivo requiere de una fuente que le suministre energía y carbono para su crecimiento y reproducción. Las fuentes de carbono, C, más comunes que los organismos utilizan son el dióxido de carbono, CO_2 , y la materia orgánica.

Cuando los organismos utilizan como única fuente de C al CO_2 , se les denomina autótrofos, y cuando usan C orgánico se les denomina heterótrofos.

La energía es también necesaria para el desarrollo de los microrganismos, esta energía puede ser suministrada por el sol, como el caso de la fotosíntesis. A estos microrganismos se les denomina fotótrofos, para distinguirlos de aquellos que utilizan productos químicos para derivar su energía y a los cuales se les denomina quimiótrofos. Resumiendo,

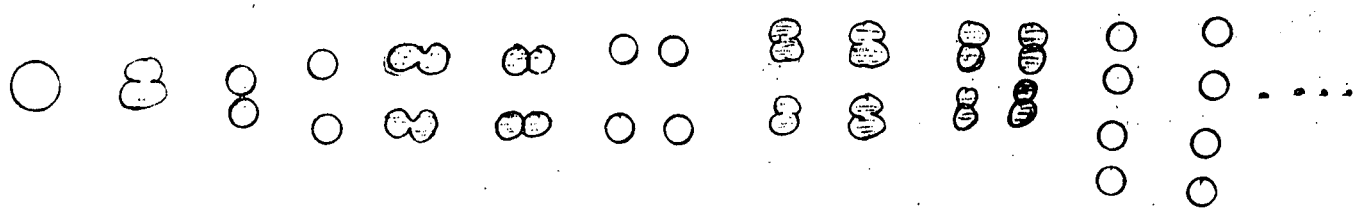
Clasificación	Fuente de energía	Fuente de carbón
1) Autótrofos		
Fotótrofos	luz solar	CO_2
Quimiótrofos	Reacción óxido-reducción de la materia inorgánica	CO_2

Clasificación	Fuente de energía	Fuente de carbón
1) Heterótrofos	Reacción óxido reducción de la materia orgánica	Carbón orgánico

Los organismos pueden clasificarse de acuerdo a las necesidades de oxígeno. Así, los microrganismos que requieran la presencia de oxígeno molecular, se les denomina aerobios. Otros microrganismos no pueden vivir en la presencia de oxígeno molecular, sino que tienen que obtener el oxígeno que necesitan para su respiración, descomponiendo o destruyendo compuestos que contengan oxígeno, estos microrganismos reciben el nombre de anaerobios. Por último hay organismos facultativos, es decir, pueden desarrollarse en la presencia del oxígeno molecular o en la ausencia de éste.

Bacterias .

Las bacterias, microrganismos unicelulares, con tamaños que varían desde 0.5 micras hasta 5 micras (una micra es la milésima parte de un milímetro), pueden ser de forma curva, esférica y alargada, solo utilizan alimento soluble (alimentación por ósmosis), la reproducción generalmente es como fisión binaria, es decir, la célula adulta se estrecha por su parte media, aumentando el estrechamiento hasta que la célula queda dividida en dos células más chicas, siendo cada una de estas un nuevo organismo vivo, estas dos células a su vez se dividen, continuando asi el proceso, un esquema de este proceso sería, ref (4)



Pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas.

El pH óptimo para la mayor parte de las bacterias se encuentra comprendido entre 6.5 y 7.5.

Las condiciones ácidas favorecen el crecimiento de hongos y levaduras, en tanto que las alcalinas favorecen el crecimiento de algas.

Referente a la temperatura, se tiene que las condiciones óptimas de este parámetro difieren bastante entre las diversas especies de bacterias, pero cualquier cambio notable en la temperatura óptima requerida por una bacteria específica, causa una disminución en sus actividades.

El siguiente cuadro resume como se pueden clasificar las bacterias en función de la temperatura en que mejor se desarrollan,

Nombre	Temperatura, en C	Temperatura óptima, en C
Psicrófilas	0 o menos	12- 18
Mesófilas	20-45	25-40
Termófilas	45-70	55-65

Pueden ser autótrofas o bien heterótrofas.

En los tratamientos biológicos de las aguas residuales, las bacterias heterótrofas son las de mayor importancia, debido a sus requerimientos de materia orgánica.

Son de gran importancia en el tratamiento de desechos orgánicos, ya que pueden degradar casi todos los compuestos orgánicos, permitiendo la estabilización de los mismos.

Sus objetivos en las plantas de tratamiento biológico son coagular y remover los sólidos coloidales no sedimentables y estabilizar la materia orgánica.

Hongos

La mayoría de los hongos, son estrictamente aerobios. Todos son Heterótrofos . El pH óptimo de lamayoría de las especies es de 5.6, aunque

crecen en rangos de pH de 2 a 9. En relación a las bacterias requieren la mitad de nitrógeno. La habilidad para sobrevivir a pH ácidos y condiciones limitadas de nitrógeno, los hacen de suma importancia en el tratamiento biológico de algunos residuos industriales.

Algas.

Organismos autótrofos, fotosintéticos, unicelulares o multicelulares.

Se desarrollan entre pH de 7 y 9, aunque pueden sobrevivir a pH de 10.5 Su reproducción se realiza por fisión binaria.

En las lagunas de oxidación son de gran importancia, ya que se establece una relación simbiótica entre las algas y las bacterias, es decir, estas especies de organismos viven juntos beneficiandose mutuamente, correspondiendo a las algas la producción de oxígeno y la utilización de los productos finales del metabolismo bacteriológico, y las bacterias emplean la materia orgánica de los desechos y el oxígeno producido por las algas.

Protozoarios

Organismos unicelulares, la mayoría son aerobios, heterótrofos. La principal fuente de alimento son las bacterias y pequeñas células vegetales, se desarrollan entre pH de 7 a 9.

Puesto que, las bacterias son su principal fuente de alimento, actuan como lustradores de los efluentes de las plantas de tratamiento biológico.

Los principales grupos de protozoarios son :

1) Ameboides (Sacardina), se desplazan utilizando pseudópodos. Por lo general son parásitos, amibas, requiriendo del organismo parasitado para sobrevivir

2) Flagelados (Mastigosphora), Se desplazan por medio de flagelos. Son organismos móviles que se transportan hacia la materia orgánica para utilizarla.

3) Ciliados, se desplazan por medio de cilios, se clasifican en ciliados

libres y ciliados anclados. Los ciliados libres se transportan hacia la comida, lo que exige mayor energía, prevalecen sobre los flagelados. Los ciliados anclados se desarrollan cuando la comida empieza a ser limitante y prevalecen sobre los ciliados libres.

4) Sustorias, su nombre se deriva de pequeñas ventosas que tienen al extremo de sus tentáculos, los cuales les permiten succionar su comida al interior de su cuerpo.

Requieren de muy poca energía para subsistir y se desarrollan en etapas posteriores a los ciliados libres y anclados.

Rotíferos

Los rotíferos son organismos aerobios, heterótrofos, multicelulares, su nombre se deriva del hecho de uqe poseen en la cabeza dos juegos de cilios rotatorios, y los usan como medio de translación y para la captura de alimentos.

Su presencia en las plantas de tratamiento biológico (procesos aerobios) indican una alta eficiencia de remoción de materia orgánica y una buena operación de la planta.

Crustaceos.

Al igual que los rotíferos, los crustaceos son aerobios, heterótrofos y multicelulares. Cuentan con una cubierta dura o concha que protege sus órganos vitales. Representan una fuente importante de alimento para los peces y como tal es normal su presencia en aguas naturales. Su presencia indica que el efluente contiene un bajo contenido de materia orgánica y gran cantidad de oxígeno disuelto.

Virus

Son las más pequeñas estructuras biológicas conteniendo toda la información necesaria para su propia reproducción. Son tan pequeños que solo se pueden ver con la ayuda del microscopio electrónico. Se clasifican como parásitos patógenos intracelulares obligados de los animales, plantas y

microrganismos y requieren de un huesped para vivir, recibiendo su denominación en función del huesped infectado. No tiene agua, su actividad metabólica propia es casi nula, no respira, nitiene otra manifestación, cuando se encuentra fuera del huesped.

Indice de contaminación

Para la determinación de la calidad bacteriológica del agua se emplean diversos índices de contaminación. En general se prefieren las bacterias que acompañan a las de la flora entérica patógena, que sean más abundantes y resistentes que las patógenas y fáciles de poner en evidencia mediante pruebas rutinarias, rápidas y sencillas. Entre otros organismos que sirven de índice de contaminación están; coliformes fecales, Escherichia coli, Streptococeus faecalis, Candida, etc.

Un índice de contaminación bacteriológica debe de reunir cuando menos las siguientes propiedades

- Sirva para cualquie tipo de agua
- Bacterias huesped del intestino
- Cantidad mayor que las patógenas
- No sean patógenas
- Su resistencia en el agua sea mayor que las patógenas
- Su ausencia indique que el agua es aceptable bacteriológicamente
- El método para ponerlas en evidencia sea fácil, rápido y reproducible

Actualmente uno de los índices que más se usan es el de los coliformes fecales. El método para determinarlos es el de tubo múltiple de fermentación, existe otro método para determinarlos y es el de filtros de membrana.

REFERENCIAS

(1) Operation of Waste Water Treatment Plants

Manual of Practce no 11

Water Pollution Control Federation

Washington D.C, 1976

(2) Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater

14 th Edition, 1975, APHA, AWWA, WPCF

(3) Wastewater Engineering, Colletion, treatment, disposal

Metcalf & Eddy, inc.

1972, Mc Graw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering

(4) Manual de tratamiento de aguas negras

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York

Herman E. Hillboe, M.D Comisionado

Cuarta reimpresión, 1974

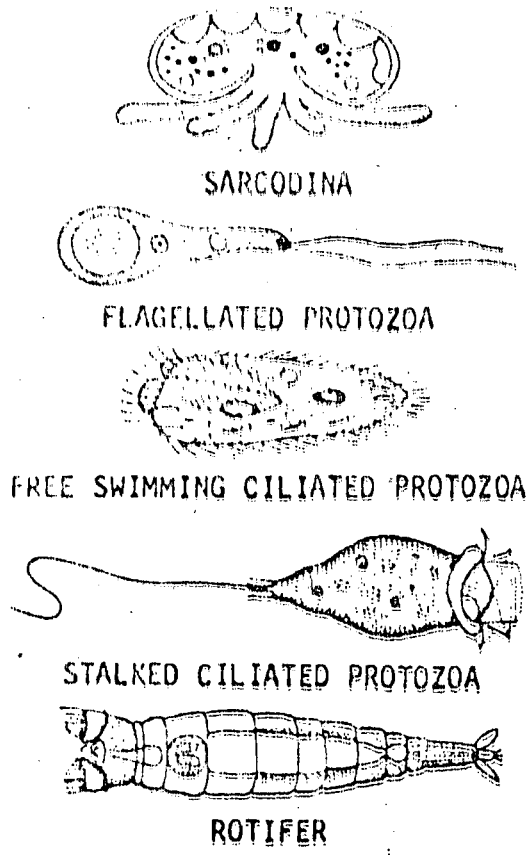


FIGURE 11-19. These typical microorganisms are important indicators of treatment plant performance.

ination can forewarn the operator of a bulking problem and allow correction before the problem becomes serious.

The operator should be able to relate certain types of organisms to good treatment and certain types to poor treatment. He then must recognize changes from the "good" organisms to the "bad" organisms in time to make changes in the environment in which the organisms live.

The animal forms of microorganisms commonly are used to indicate treatment efficiency and overall plant health. Animal forms of microorganisms are of relatively large size and may be viewed through an inexpensive microscope. In addition, the major species have sufficiently different physical characteristics so that they are recognized readily. Figure 11-19 shows the most important types that play a major role in the activated sludge process. The animal forms are the most sensitive and are killed easily by undesirable environmental changes.

Growth and predominance of microorganism types (Figure 11-20) are controlled by a variety of circumstances, including type of food matter, metabolic

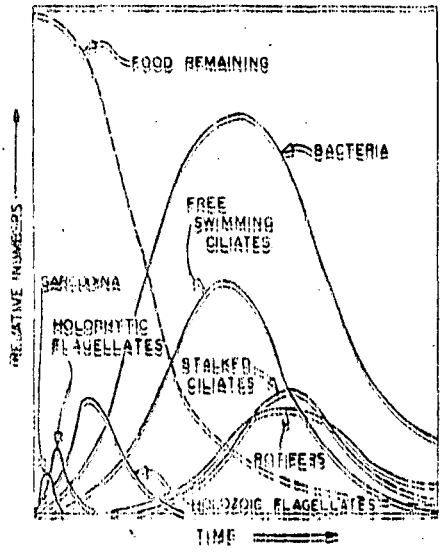
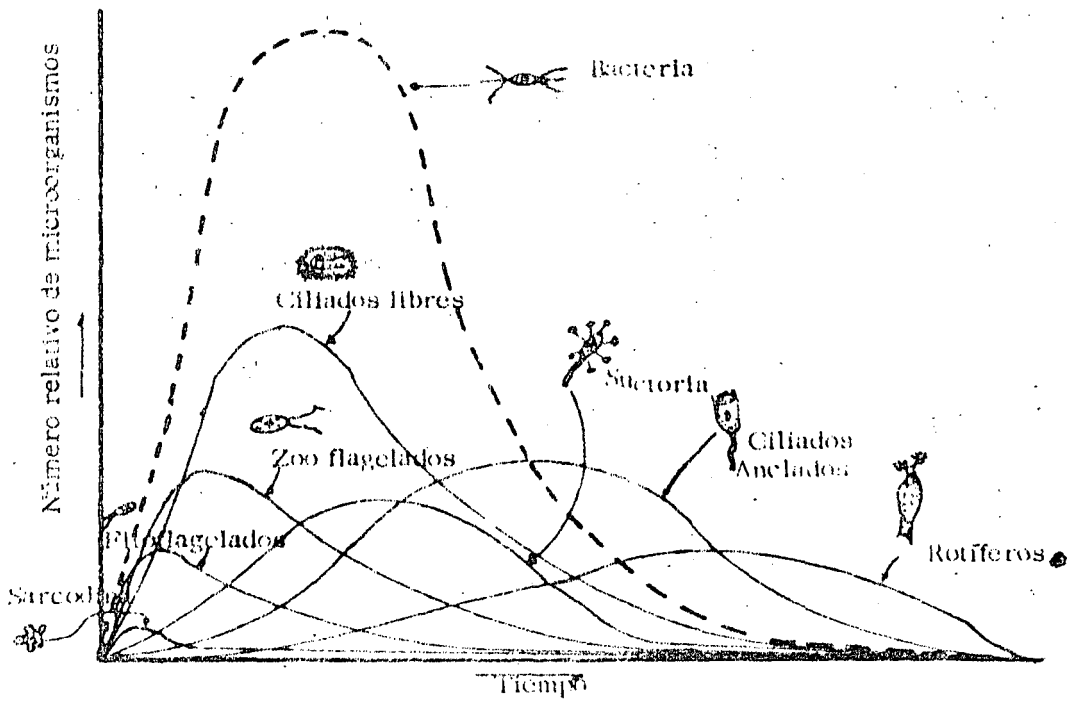


FIGURE 11-20. Relative predominance of microorganisms in activated sludge systems.

pleto a menos de que exista un balance apropiado de plantas y animale.

Lo anteriormente expuesto se representa en la sigui
te figura:



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

6. PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION.

ING. GASTON MENDOZA GAMEZ

SEPTIEMBRE, 1978

6. PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION.

6.2. Sedimentación

6.2.1. Sedimentación primaria

1. Objetivos

- Separar sólidos sedimentables y flotables de las aguas residuales.
- Igualar la concentración de las aguas residuales durante el tiempo de retención en el tanque.
- Detectar características particulares de las aguas crudas de manera de poder definir el control en el resto de unidades de la planta.

El proceso normalmente se realiza con unidades tipo flujo contínuo.

2. Remoción de sólidos suspendidos.

Los sólidos suspendidos pueden ser granulares o floculientos.

Los granulares sedimentan a velocidad constante independientemente mas de otras, sin cambio en el tamaño, forma o peso.

Las floculentas tienden a adherirse durante la sedimentación, con cambios en tamaño, forma y densidad relativa.

Los sólidos sedimentables forman la parte de material que se asienta en condiciones estáticas en un tiempo razonable.

El tratamiento químico se usa cuando se desea remover materia suspendida finamente dividida y materia coloidal que normalmente no se remuebe por sedimentación simple. Los productos químicos reaccionan con estas constituyentes para formar flóculos pesados que precipitan.

3. Remoción de flotantes.

Los flotantes denominados grasas incluyen además ácidos grasas, ceras y jabones.

Bajo condiciones de aquietamiento, parte de la grasa sedimenta con el lodo y parte flota a la superficie donde se puede remover por un dispositivo adecuado.

La eficiencia de la flotación se puede aumentar empleando aire comprimido.

4. Factores que afectan la sedimentación.

4.1. Configuración del tanque.

El tanque está definido por sus dimensiones, la entrada del agua cruda y la salida del agua sedimentada.

Las dimensiones fijan la carga superficial o tasa de derrame y el tiempo de retención para un gasto dado de agua entrante. La tasa de remoción de partículas granulares que se dimentan a velocidad uniforme depende exclusivamente del área superficial del tanque, mientras que la

de las partículas floculentas que sedimentan a velocidades variables depende además de la profundidad del tanque.
El tiempo de retención es el tiempo nominal requerido por las aguas residuales para fluir a traves del tanque a un gasto dado.

$$tr = \frac{\text{capacidad del tanque}}{\text{gasto de agua}} \qquad (6.2.1)$$

Este tiempo debe ser el suficiente para permitir la remoción prácticamente completa de los sólidos sedimentables. Los periodos demasiados largos no mejoran la eficiencia de remoción, siendo por el contrario peligrosos pues permiten que las aguas residuales se tornen sépticas. (ver tabla 6.2.1.)
Como las dimensiones de los tanques de sedimentación son fijas, la tasa de derrame y el tiempo de retención variarán con el gasto, resultando eficiencias variables. (ver tabla 6.2.1.)
Las estructuras de entrada y salida juegan un papel importante en el proceso. En la entrada se reduce la velocidad de llegada y se distribuye el flujo uniformemente en la sección transversal del tanque por medio de aberturas, mamparas u otras formas. En la salida se extrae el líquido clarificado controlando los flotantes, para lo cual se usan canales vertedores con mamparas.

5. Característica de las aguas residuales.
El proceso se afecta por la concentración y envejecimiento de las aguas residuales, la temperatura, la cantidad y tipo de desechos industriales y las características física de las partículas.
Las aguas concentradas sedimentan más rápidamente que las aguas más diluídas. Las aguas envejecidas sedimentan más lentamente que las aguas nuevas debido a la reducción del tamaño de las partículas por la degradación biológica y también porque las partículas tienden a flotar por el gas, una partícula densa sedimenta más rapídamente que una ligera, una partícula con un área superficial grande en relación con su peso sedimenta lentamente; y una con forma irregular tiene un mayor arrastre debido a la fricción y sedimenta más lentamente que una partícula con una forma más regular.

<u>Concentración de las aguas.</u> Esto es una característica del área tributaria. La concentración es función principalmente de la mezcla de contribuciones de residencias, comercios e industrias. Otros factores

son el tipo y condición del sistema de alcantarillado. Un sistema combinado producirá más arena y mayores variaciones en la carga orgánica que un sistema superado. Una red de alcantarillado antígua tendrá muy probablemente grandes infiltraciones con lo que las aguas residuales se diluyen.

Envejecimiento. Este factor es una función del sistema de alcantarillado. El tiempo que las aguas permanecen en la red está definido por las características físicas del sistema, tales como: pendiente, longitud, número de estaciones de bombeo, y la forma de operación del sistema. También pueden afectar desechos industriales que demanden oxígeno inmediato.

Características físicas de las partículas. El tamaño, forma y densidad de una partícula depende de la red de alcantarillado y del tipo de procesos aplicados antes de la sedimentación.

Temperatura. En verano se incrementa la tasa de actividad biológica, se hace más factible la sépticidad en el sistema y se puede reducir la sedimentación por la gasificación. Sin embargo, la velocidad de sedimentación de sólidos nuevos en agua templada es mayor que en agua fría. Esto se debe a que la viscosidad del agua es mayor a temperaturas bajas, con lo que se reduce la velocidad de sedimentación.

Contribuciones industriales. La cantidad y tipo de desechos pueden influir en la sedimentación, se pueden presentar cargas hidráulicas u organicas que alteren los procesos de la planta.

6. Factores operacionales.

Algunos factores que influyen en las eficiencias de los tanques de sedimentación son: la recirculación, el arrastre de arenas y cribados del pretratamiento, y el bombeo de lodos. Muchas plantas cumplen los tanques para recircular lodos y sobrenadantes. Estas cargas pueden afectar el funcionamiento al causar septicidad, sobre cargas en los meçanismos colectores de lodos y deterioro en el efluente por el arrastre de sólidos. Las arenas y materia cribada pueden causar problemas en el manejo de lodos que a la vez alteran el funcionamiento del tanque. También, la frecuencia y duración del bombeo de lodos tiene un efecto en el funcionamiento del tanque.

7. Factores que influyen en la remoción de grasas.

La eficiencia de remoción de grasas está relacionada con la configuración del tanque, las características de las aguas y las técnicas de

operación.

Configuración del tanque. Las mamparas en la salida deben ser cintínuas y profundas para evitar salida de grasas por agitación bajo el agua. Las eficiencias de remoción de grasas varían dependiendo del equipo y el sistema empleado.

Características de los desechos. La temperatura y el pH afectan la remoción de grasas. A temperaturas altas o a un pH ácido, la grasa tiende a mantenerse en suspensión y aparecerá con el lodo un lugar de flotar en la superficie. Las cargas súbitas industriales de materia flotante también afectarán la eficiencia de remoción.

Factores operacionales. La frecuencia de desnatado y la duranción seleccionada por el operador tendrá un efecto en el grado de remoción y en el contenido de grasa en el efluente del sedimentador primario.

8. Relación de la sedimentación primaria con otros procesos de la planta.

Un tanque de sedimentación bien operado ayuda a hacer más factibles los procesos subsecuentes, pero a la vez, su operación depende de los procesos previos.

Remoción de sólidos gruesos. Como se vió en el tema anterior, la remoción de sólidos gruesos se puede hacer por desmenizamiento, cribado y desarenación.

El desmenuzamiento rompe los sólidos, cambiando sus propiedades de sedimentación.

Un desmenuzamiento inadecuado puede resultar en el arrastre de material que cause taponamiento en los mecanismos de colección de lodos y de bombeo.

El cribado remueve materia que interfiere con otros procesos, una remoción insuficiente causará problemas de mantenimiento a lo largo de la planta. Las cribas finas gragmentan los sólidos orgánicos alterando sus propiedades de sedimentación.

Las cámaras desarenadoras remueven partículas inorgánicas discretas. Si las arenas se arrastran al primario se provocarán problemas en el bombeo. El continuo manejo de arena da como resultado un desgaste excesivo de los mecanísmos de colección, impulsores de bombas y líneas de lodos.

Bombeo del influente. Los tanques primarios pueden ser un problema po-

tencial de seguridad en la operación de un sistema de bombeo, cesando los tanques se drenan, se envían grandes cantidades de lodo séptico al cárcamo húmedo. Esto puede causar un problema por la acumulación de - gases combustibles..

Procesos secundarios. La operación inadecuada del primario puede causar problemas de sobrecarga de sólidos y DBO en los procesos subsecuentes. La manera más eficiente para remover sólidos sedimentables es por medio del primario. Si éstos sólidos logran pasar al secundario, se produce una mayor cantidad de lodo. La grasa arrastrada puede interferir con la operación del tanque de aeración o de los filtros por goteo, alternando también la calidad del efluente.
El exceso de lodos de retorno de los procesos secundarios se lleva frecuentemente al primario para espesamiento y posterior procesamiento. Este retorno puede causar problemas en el bombeo, septicidad y arrastre de sólidos. Si el exceso de lodos se debe retornar al primario, se debe hacer a una tasa baja durante los períodos de flujo bajo.

Sistemas de manejo de lodos. La operación del primario puede afectar estos sistemas de varias maneras.
El bombeo de un lodo débil, puede reducir la capacidad de digestión, - puede causar sobrecargas hidráulicas a los tanques de concentración, a los dispositivos de elutriación y al proceso de espesamiento de lodos. Si se permite que el lodo se septice, se afectan los procesos de manejo y se intensifican los problemas de olores. El bombeo de lodos tóxicos al sistema de digestión puede dar como resultado que el proceso falle. El operador no puede evitar esta falla pero si puede observar - los cambios físicos en las aguas como son: color, olor o consistencia, y si es posible debe alterar la operación del proceso, a la vez que debe notificar a las autoridades del sistema sobre la sospecha de la contribución de desechos industriales.

En la operación de digestores, los licores sobrenadantes se pueden enviar al primario, aun que esto provoca una carga súbita de lodos sépticos. Si la adición del licor no se puede evitar, la carga en el primario se debe balancear cuando sea posible.

9. Descripción del equipo de proceso.

Geometría de tanques: rectangulares, circulares o cuadrados.
En los rectangulares, las aguas fluyen desde un extremo del tanque has

ta el otro, y el lodo sedimentado se remueve por medio de rastras mecánicas en el extremo de entrada. En los circulares o cuadrados, el agua normalmente entra por el centro y fluye radialmente hacia la salida en la periferia, concentrándose los lodos hacia el centro del tanque. Existen diseños con otros dispositivos de entrada y salida (ver figs. 6.2.3. y 6.2.4.) .

Con tanque pequeños a veces es práctico construir una tolva recolectora de lodos que abarque todo el fondo en lugar de instalar un sistema mecánico de rastras. Las tolvas deben tener una pendiente de por lo menos 60° para hacer una remoción adecuada de los lodos.

Tanques rectangulares

En general se diseñan dos o más unidades. La longitud del tanque usualmente es varias veces el ancho (5 a 10 veces). El lodo sedimentado se mueve hacia una tolva localizada en el extremo de entrada por medio de un sistema de rastras de madera impulsadas mecánicamente a través de catarinas y cadenas, o por medio de un sistema bastidor que se mueve sobre rieles a lo largo de las paredes del tanque. Los sistemas se adaptan para remover también los flotantes (cuchillas o chorros de agua).

Los lodos se colectan ya sea en una sola tolva, en una serie de tolvas, o en una trinchera transversal con una tolva en un extremo. La trinchera se puede equipar con un colector de rastras o con un transportador de tornillo.

El material flotante se remueve por medio de una tubería con perforaciones o una media caña.

TANQUES CIRCULARES

Formados por una estructura simple donde el agua se introduce - por medio de un pozo central donde se disipan las velocidades de - entrada. El agua se mueve radialmente desde el pozo hacia el vertedor de salida localizado en la periferia. Los sólidos sedimentados se mueven hacia una tolva cercana al centro del tanque por medio de brazos adosados a una unidad de impulsión en el centro del-tanque o a una unidad de tracción operando sobre la pared del tanque. El material flotante se mueve hacia el desnatador por medio-de una cuchilla superficial adosada al colector de lodos.

TANQUES IMHUFF

Este sistema remueve los sólidos suspendidos sedimentables y a-la vez estos sólidos se dirigen en la porción inferior de la misma unidad. Los tanques se construyen con dos cámaras, una superior - para sedimentación, y una inferior para digestion. Los tanques -- pueden ser rectangulares o circulares, siendo más comunes los primeros. Ver Fi. 6.2.5

10. OPERACION NORMAL

DISTRIBUCION DEL FLUJO Y LOS SOLIDOS.

El proceso de sedimentación es más eficiente sí el flujo se -- distribuye por igual entre las unidades que lo constituyen. Los-flujos desiguales causan períodos de retención distintos en los - diversos tanques, que dan como resultado una menor reducción global de sólidos suspendidos y DBO.

Los vertedores deben mantenerse limpios y nivelados para lograr una distribución adecuada del flujo. Para distribuir equitativamente el flujo, es necesario muchas veces tener un orificio de -- control a la entrada de los tanques.

La mampara en la entrada ayuda a distribuir equitativamente el flujo. Las mamparas deben mantenerse limpias y sin defectos para no reducir la eficiencia del proceso.

El conducto de entrada y los orificios de paso a cada unidad, se deben mantener libres de materiales sólidos gruesos, de manera de asegurar una buena distribución del flujo.

Por otra parte, a igual flujo se tiene igual carga orgánica. Si parte de los lodos se retornan al primario, se deben evitar las sobrecargas de sólidos. Se tendrá una mejor distribución de sólidos si los retornos se descargan en una zona de turbulencia o donde se disponga de mezclado.

INSPECCION DE RUTINA

El primario y el equipo mecánico requiere de inspección en cada turno. Las rastras, desnatadores y bombas deben revisarse para lograr una operación adecuada. También se deben revisar las condiciones de la superficie de agua. El lodo que flota o la abundancia de burbujas de gas, son evidencia de fallas del proceso o del equipo. El operador debe observar cambios en la apariencia física de las aguas, y en su caso, debe tomar muestras y notificar al personal de supervisión.

REMOCION DE ESPUMA

Normalmente se instala una mampara en la trayectoria del flujo entre las zonas de entrada y de salida del tanque. La nata flotante se puede remover en forma mecánica o normal. La remoción de natas en el primario ayuda a reducir los problemas de olores, de moscas, mejora la apariencia de la planta y la de los procesos

La remoción insuficiente permite que las natas fluyan alrededor o debajo de la mampara y salgan con el afluente. En los tanques - rectangulares sin sistema desnatador automático, se deben remover- las natas normalmente después de que las rastras han dado una vuelta completa.

TANQUES IMHOFF

Se debe vigilar lo siguiente:

a. Remoción diaria de grasa, espuma y sólidos flotantes del -- compartimento de sedimentación.

b. Raspado semanal de los lodos y fondo del compartimento de - sedimentación para desprender sólidos adheridos que pueden- descomponerse.

c. Limpieza semanal de la abertura del fondo del compartimento de sedimentación.

d. Controlar la espuma en la cámara, disgregandola con agua a- presión, manteniéndola húmeda con las aguas del compartimento de sedimentación, y removiéndola si la profundidad llega a los 60-90 cm.

e. Remoción del lodo antes de que el espesor llegue a 45 cm. - de la altura que separa las dos cámaras.

f. Cada vez que el lodo se remueva, las tuberías deberán lim-- piarse y llenarse con agua o aguas residuales para evitar - taponamiento.

g. Remoción y disposición de material acumulado en los canales de entrada y salida.

Los problemas más complicados a que se enfrenta el operador con estos tanques son el espumamiento de los contenidos de la cámara - de digestión y de la de natas, y el taponamiento en el conducto -- elevador de lodos.

RECOLECCION DE LODOS

METODOS: MANUAL Y MECANICO

El manual se usa en tanques pequeños donde el fondo del tanque se construye con una pendiente empinada y el lodo se desliza hacia la zona de extracción. El fondo se raspa diario para asegurar que el lodo se mueve hacia el punto más bajo.

El mecánico se emplea en muchas plantas. Los tanques tienen un fondo con una pendiente suave. Se puede iniciar la operación del sistema aproximadamente una hora antes de extrael el lodo y se detiene cuando la extracción se completa. También se opera el sistema en forma continua, aunque esto no es necesario. En los tanques de sección cuadradas o circular, normalmente es necesario mantener en operación los colectores ya que toma más tiempo llevar al lodo hacia las tolvas. Con el sistema continuo, se puede simplementar una extracción automática de los lodos.

CARACTERISTICAS DE LOS LODOS

La calidad de los lodos del sedimentador primario varía de planta a planta. Las variaciones dependen de:

a. La composición, envejecimiento, concentración y sedimentade las aguas residuales.
b. Las características del tanque sedimentador.
c. La operación del tanque, incluyendo los métodos para remover los lodos.

En la tabla 6.2.2 aparecen algunas características de lodos sedimentados de aguas negras promedio de los E. U.

BOMBEO DE LODOS

La concentración de sólidos de los lodos bombeados de tanques de sedimentación varía de planta a planta. El bombeo puede ser continuo o intermitente. Si se instalan varias bombas, una unidad puede extraer lodos de una tolva mientras otra extraer de otra tolva, con un solo equipo no se debe extraer de más de una tolva a la vez. El bombeo debe ser de corta duración con intervalos frecuentes. Idealmente, el bombeo debe aproximarse a una operación continua. En esta forma se tiene una dosificación balanceada en los procesos de acondicionamiento de los lodos.

El operador debe medir los niveles de lodos antes y después del bombeo para asegurar que la frecuencia y duración de bombeo se ha seleccionado correctamente.

En muchas plantas el bombeo de lodos es automático. El mecanismo básico de control consiste en el caso de un contador de tiempo solo o en conjunto con un medidor de densidad (areómetro). En el primer caso los contadores se ajustan para bombear cada tanque con una frecuencia y duración dada. En el segundo caso, el contador arranca la bomba y el deusímetro la para. En esta forma el espesor del lodo define el tiempo requerido de bombeo. Con cualquiera de los sistemas se deben medir los niveles de lodos en forma rutinaria para asegurarse que no está ocurriendo abundamiento del lodo.

VOLUMEN DE LODOS

Con una operación cuidadosa se puede remover lodo conteniendo un 5 por ciento de sólidos.

El volumen de lodos se puede estimar midiendo los sólidos sus

pendidos en el influente y en el afluente, los sólidos totales en el lodo bombeado y el gasto de aguas residuales. El cálculo es - el siguiente:

Sólidos secos removidos (promedio), en kg/día:

(6.2.2) $(SS_i - SS_e$, en mg/l) x (Gasto, en m^3/día) x 10^{-3}

Lodos húmedos removidos, en kg/día:

(6.2.3) (Sólidos secos removidos, en kg/día) x $\left(\frac{100}{\%\ \text{sólidos secos en lodo}}\right)$

Lodos húmedos removidos, en m^3/día:

(6.2.4) $\frac{\text{lodos húmedos removidos, en kg/día}}{1000\ kg/m^3}$

A partir de estas expresiones, el operador puede aproximar el- tiempo requerido para bombeo, basándose en una capacidad conocida- de la bomba. La operación se debe ajustar por los niveles de la - carpeta de lodos medidos diariamente y la guía de cálculo actualizada semanalmente.

ACCESORIOS DE LAS BOMBAS

Se debe programar la limpieza de las líneas de lodos y las bombas. En las líneas se emplean herramientos hidráulicas. La fre-- cuencia de limpieza en una función del contenido de grasa en los - lodos y de la temperatura. Los taponamientos de grasa son más severos a bajas temperaturas.

Las bombas se limpian con sistemas de lavado hidráulico o con- aire comprimido.

11. PROBLEMAS DE OPERACION

Frecuentemente la naturaleza del problema y el grado de severidad dependen de la temperatura. En época de frío, el lodo es más dificil de bombear, las líneas de lodo se taponan rápidamente y aumentan las cantidades de natas flotantes; sin embargo, se tienen pocos problemas de olor y septicidad. En época de calor sucede todo lo contrario.

LODO FLOTANTE

Causa. El lodo se descompone en el primario y flota a la superficie.

Remedio. El lodo se puede remover del tanque en forma más completa o más frecuente:

a) Operando las rastras durante más tiempo o más frecuentemente. Las rastras se deben inspeccionar periodicamente para reemplazar las tiras dañadas.

b) Removiendo el lodo completamente de las tolvas por bombeo o por gravedad por periodos de tiempo más largos a gastos bajos. Cuando el lodo se pega en los taludes, se debe raspar o aplicar un chorro de agua para desprenderlo.

El retorno de lodo activado bien nitrificado al primero puede causar flotación del lodo cuando tiene lugar la denitrificación. Para controlarlo se puede variar la cantidad y la edad del lodo de retorno.

LODO NEGRO Y OLOROSO

Causa. Aguas residuales sépticas o sobrenadante concentrado del digestor.

Remedio.

1. Para aguas residuales sépticas.

a) Desconectar todo el bombeo de tanques.

b) Modificar, pretratar, reducir o eliminar los desecho -- orgánicos de origen industrial.

c) Clorar en la línea de aguas crudas o antes del tanque - de sedimentación para retrasar o reducir la descomposición de las aguas. Esto es efectivo cuando el tiempo - de transporte en la línea es desusualmente largo o la - temperatura del desecho es alta.

d) Preaerar desechos orgánicos industriales concentrados.

e) Mejorar la hidráulica de los sistemas de aguas residuales para reducir acumulaciones de sólidos.

2. Para el sobrenadante del digestor.

a) Corregir o mejorar la digestión de lodos para producir- un sobrenadante de mejor calidad.

b) Reducir el gasto de extracción del sobrenadante o retrasar la extracción hasta mejorar la calidad.

c) Seleccionar una mejor calidad del sobrenadante de otra- zona de digestión.

d) Descargar el sobrenadante a una laguna, a un tanque de- aeración o a un lecho de secado de lodos.

e) Pressedimentar el sobrenadante.

f) Clorar el sobrenadante.

DERRAME DE NATAS O ESPUMAS

Causa. Localización del equipo de remoción o la frecuencia de remoción inadecuados.

Remedio.

a) Remover las natas más frecuentemente
b) Colectar las natas o espumas hacia el otro lado del vertedor de salida.
c) Disturbio de espumas causado por un fuerte viento. El desnatado se debe modificar para compensar
d) Operar el mecnismo colector más frecuentemente.
e) Limitar más extrictamente la contribución de desechos industriales.

ROTURA DE CADENAS DE LAS RASTRAS Y FALLAS FRECUENTES DE PASADORES

Causa. Carga excesiva sobre las rastras mecánicas.

Remedio.

a) Desaguar periódicamente el tanque y examinar todas las partes metálicas de defectos y desgaste.
b) Reemplazar las partes defectuosas o gastadas, particularmente pasadores, eslabones y tiras de madera, inspeccionar el tamaño de pasadores y el alineamiento de las tiras. Las tiras no deben rozar las paredes.
c) Operar el mecanismo colector durante más tiempo o bombear el lodo con más frecuencia.

REMOCION POBRE DE SOLIDOS SUSPENDIDOS

Causa. Son posibles varias causas que incluyen: sobre carga hidráulica, cortos circuitos, prácticas inadecuadas de remoción de lodos, retornos excesivos de lodos activados o lodos digeridos, y la presencia de desechos industriales.

Remedio.

a) En el caso de sobrecarga hidráulica, la distribución equitativa de flujo minimizará el impacto. Se debe programar el mantenimiento de los tanques en períodos de flujo bajo. Se pueden emplear productos químicos para mejorar la sedimentación.

b) Los cortos circuitos significan que el agua atraviesa el tanque en un tiempo más corto que el de diseño. Las causas incluyen un diseño hidráulico inadecuado, ausencia de mamparas adecuadas para dispersar el flujo y reducir las velocidades de entrada, posición desigual de vertedores y corrientes de densidad. Para determianr la ocurrencia de cortos circuitos se emplea la técnica de trazadores.

c) Las demás causas se obvian con una vigilancia y control adecuados.

12.- COLECCION DE DATOS Y CONTROL DE LABORATORIO

Algunas de las pruebas útiles para evaluar el proceso de sedimentación son: determinación de sólidos, DBO, PH y concentración de grasas.

6.2.2 SEDIMENTACION SECUNDARIA

1. Objetivos

° Remover los sólidos del proceso biológico que le antecede.

° Mantener la calidad de las aguas producidas por los procesos previos

° Concentrar los lodos y retornar una fracción al sistema de tratamiento

° Mantener el lodo biológicamente activo, removiéndolo en forma continua o por lo menos a intervalos frecuentes.

Los factores que influyen en el proceso son semejantes a los señalados para la sedimentación primaria.

2. Configuración de los tanques

Similar a la de los tanques de sedimentación primaria.

3. Características de la operación

Comparadas con las del primario, se tienen en particular la densidad del lodo y el volumen de natas. Se produce un lodo más ligero y con menor volumen de natas que en el primario.

En este proceso se puede emplear la remoción hidráulica de lodos por medio de boquillas conectadas a tuberías de recolección, o los sistemas convencionales ya descritos.

4. Operación normal

° Control estricto de sólidos suspendiods, flotantes y espuma en el efluente.

° Distribución del flujo, inspección, remoción de natas y colección de lodos, similar a la del primario.

RECIRCULACION DE LODOS

En una planta de filtros rociadores, el lodo del secundario usualmente se bombea a la entrada de la planta o antes del primario. Dependiendo del deseño, el lodo de estas plantas se puede bombear a tanques de espesamiento, digestores o a la disposición final. Si el operador puede escoger el lugar a donde bombear, obtendrá una operación más eficiente retornando los lodos al primario. En una planta de lodos activados, los lodos se removerán continuamente, con una porción recirculada al tanque de aeración y el remanente descargado al primario, a espesadores, al digestor, o aeración extendida, se recircila generalemtne el 100 por ciento al tanque de aeración.

El bombeo de lodos puede ser intermitente, pero normalmente se operaría en forma continua, si se instalan varias bombas.

VOLUMEN DE LODOS

Se estima como se indicó en el análisis del primario. Una acumulación diaria promedio estimada en los E.U., es la siguiente:

Origen del lodo	Volumen de lodo secundario m^3 / persona
Lodo precipitado químicamente	0.028
Humus de filtros rociadores	0.042
Lodos activados (convencional)	0.070
Aeración extendida (sin remoción primaria)	0.140

5. PROBLEMAS DE OPERACION

Sólidos Flotantes

Causa. La formación de grumos o cenizas puede provocar descomposición del lodo y flotación.

Previsión y Remedio. Remover el lodo en forma más completa o más frecuente por uno o más de los siguientes métodos:

a) Operar las rastras mecánicas durante más tiempo o más a menudo.
b) Reemplazar las tiras de madera rotas o gastadas.
c) Remover el lodo de las tolvas en forma más completa, raspando o aplicando chorros de agua sobre los taludes.

Partículos suspendidos de lodos

Causa. La aparición de flóculos pequeños o dispersos puede deberse a: (a) cortos circuitos del flujo que reducen el tiempo de retención y dejan pasar sólidos en el efluente antes de que sedimenten, (b) sólidos resultantes de una sobre aración, y (c) sobrecarga hidráulica.

Prevención y remedio.

a) Reducir la carga hidráulica
b) Bombear el lodo con más frecuencia
c) Aplicar productos químicos
d) Ajustar los procesos previos para modificar la naturaleza de los sólidos.
e) Nivelar los vertedores para evitar cortos circuitos.

Fallas de los vertedores

Causa. Acumulación de sólidos o crecimientos de plantas acuáticas sobre los vertedores.

Prevención y remedio.

a) Limpieza más frecuente y completa de todas las superficies en contacto con las aguas
b) Precloración acoplada con la limpieza

Taponamiento de salidas de lodo

Causa. Alto contenido de materia fácilmente compactable o baja velocidad en las líneas de extracción.

Prevención y remedio

a) aflojar el material compactado en forma manual o por corros de agua o aire a presión.
b) Retrolavar las tuberías taponadas
c) Bombear el lodo con más frecuencia.

Cortos circuitos

Causas.

a) Carga hidráulica excesiva
b) Vertedores desnivelados
c) Equipo con mal funcionamiento
d) Acumulación excesiva de sólidos que reduce el tiempo de retención
e) Viento

Prevención y remedio.

a) Reducir el gasto de aguas residuales

b) Nivelar los vertedores

c) Reparar o reemplazar estructuras dañadas o el mecanismo de remoción de lodos

d) Proveer un rompedor de viento

e) Remover la acumulación excesiva de lodos

Exceso de torsión sobre el mecanismo de las rastras

Las causas y la forma de evitarlo es semejante a lo indicado en los tanqies de sedimentación primaria.

6. COLECCION DE DATOS Y CONTROL DE LABORATORIO

Las pruebas más importantes para el control del proceso son: sólidos, OD, PH, temperatura, DBO, DQO y COT.

6.2.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

La implantación de un programa de mantenimiento incrementará la eficiencia del proceso de sedimentación en sus dos etapas, primaria y secundaria, con la consecuente obtención de una mejor calidad del efluente de la planta.

El programa debe incluir una carta de lubricación de todo el equipo mecánico, la inspección, rectificación y limpieza de las distintas partes constituyentes del proceso, la protección contra la corroción de las partes metálicas, etc.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION.

ING. ARNULFO PAZ SANCHEZ

SEPTIEMBRE DE 1978.

TRATAMIENTO PREPARATORIO

OPERACION .

1.- RECOMENDACION INICIAL.

El trabajo en las facilidades del tratamiento preparatorio requiere precauciones para evitar enfermedades tipicas de trasmisión por el agua, como paratifoideas, tifoidea o disenteria, por la frecuencia con la que el operador está en contacto con bombas, rejillas, desmenuzadores, desarenadores y herramientas que se emplean para su operación y mantenimiento. Ello requiere que todos los operadores observen estrictas medidas de higiene personal, principalmente en manos y uñas, cuidandose de lavarlas perfectamente antes de comer o fumar. Un jabón neutro es suficiente, sin embargo, pueden usarse soluciones antisepticas complementarias:

Es recomendable, asunque no obligatoria la vacuna contra tifoidea y tétanos. Se recomienda usar ropa especial durante las horas de trabajo, la cual deberá lavarse separada del resto de la ropa familiar, así como guantes durante la remoción de residuos y "arena".

2.- REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL.

Estas rejillas requieren atención frecuente. A medida que se retiene el material, se obstruye el canal de llegada, originando elevación del tirante aguas arriba, lo que causa sedimentación de materia orgá, reducción del oxígeno disuelto y condiciones sépticas que pueden producir ácido sulfhidrico, corrosivo, al concreto, metales y pintura.

La limpieza poco frecuente, origina durante su ejecución, descargas subitas de aguas negras sépticas que producen "cargas de choque" INCIDIENDO EN BAJAS EFICIENCIAS.

La limpieza se hace con rastrillos, se deben extremar precauciones durante esta operación para evitar resbalones.

3.- REJILLAS DE LIMPIEZA MECANICA.

Las recomendaciones se canalizarán al mantenimiento preventivo de los equipos y a la inspección contínua, durante la operación para retirar manualmente algunos desechos que el equipo no puede remover. Para hacer esto, se debe primero desconectar la energía, debe tenerse presente que los equipos de movimiento lento son especialmente peligrosos, porque su apariencia no lo indica, sin embargo pueden triturar obstrucciones duras.

4.- REJILLAS DE LIMPIEZA HIDRAULICA.

Las rejillas de limpieza hidráulica, del tipo de la "HYDRASIEVE", requieren un mínimo de atención y la operación se concentrará en inspecciones para remover manualmente material retenido.

5.- DISPOSICION DEL MATERIAL RETENIDO.

El material removido de las rejillas es muy ofensivo y peligroso, produce olores desagradables y atrae ratas y moscas.

Hay tres formas de disposición:

a).- Relleno sanitario

b).- Incineración

c) Desmenuzado o molido.

a).- En el rellono sanitario se debe considerar una capa mínima de 15 cm., de tierra, colocada inmediatamente.

El relleno final debe ser de espesor suficiente para evitar que las moscas entren por grietas causadas por el asentamiento. En plantas pequeñas los operadores pueden ingeniarse para fabricar dispositivos que permitan prensar el material removido para extraer el agua antes de su disposición.

b).- No se recomienda por el costo del combustible.

c).- La práctica de desmenuzar o moler el material, no es aconsejable, ya que aumenta la carga en los procesos subsecuentes.

6.- DESMENUZADOREZ.-

La operación de desmenuzadores se orientará principalmente al mantenimiento preventivo de motores y partes mecánicas, según señale el manual respectivo. El cambio de dientes y cuchillas cortantes debe hacerse rutinariamente, de acuerdo con las características particulares de cada equipo, la inspección contínua será indispensable para remover manualmente piezas de madera, plástico y hule. Algunos equipos tienen una trampa para piedras y pedazos de metal que deben retirarse periódicamente.

En algunos desmenuzadores hay sellos de mercurio para mantener libre de agua a los baleros. Se hace una especial llamada de atención al peligro que representa el manejo de mercurio.

Este metal es venenoso. La inhalación de vapores puede ser fatal o causar la pérdida del pelo y dientes. Se recomienda trabajar en lugares muy ventilados, usar charolas grandes para evitar que se derrame, no usar anillos de oro y lavarse muy bien después de su manejo.

LODOS ACTIVADOS.

PRINCIPIOS BASICOS DE LA OXIDACION BIOLOGICA.

Aunque existe hoy en día un significado muy amplio para el término OXIDACION BIOLOGICA, lo circunsbribiremos aquí a un sentido limitado para "describir aquellas reacciones en las cuales los materiales se combinan con oxígeno para producir energía." Otro término, "respiración aeróbica" puede utilizarse para el mismo tipo de reacciones. A pesar de existir diferencias en los mecanismos, los resultados finales de la oxidación biológica son similares a los obtenidos con oxidación química.

En la mayor parte de los casos la oxidación biológica se efectúa en materiales orgánicos, los cuales se componen de pocos elementos, a saber:

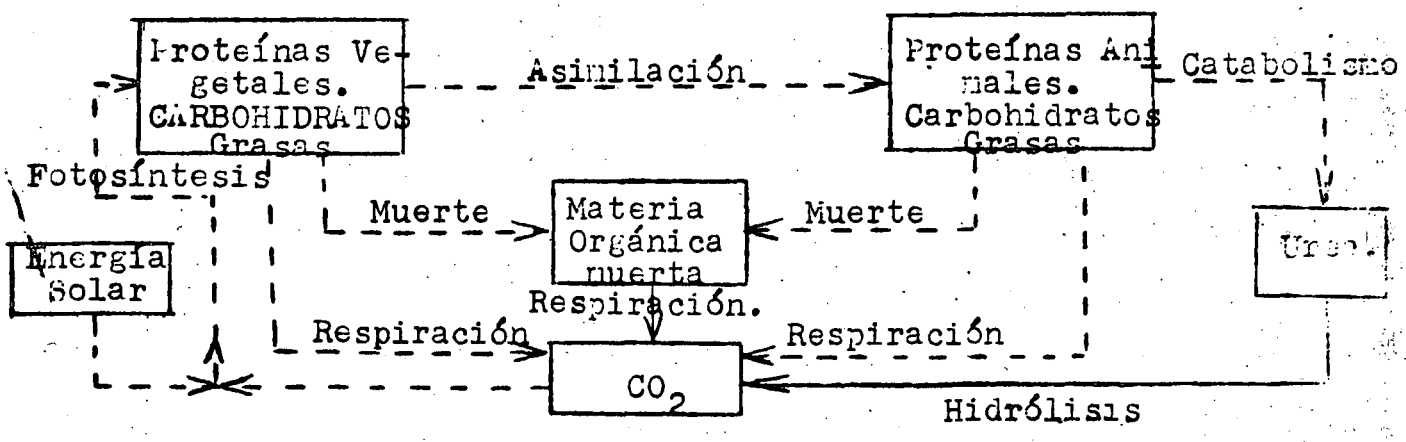
1.- Carbono (C)
2.- Hidrógeno (H)
3.- Oxígeno (O)
4.- Nitrógeno (N)
5.- Fósforo (P)
6.- Azufre (S)

Los primeros 3 constituyen la mayor parte de la molécula orgánica.

Pueden existir otros elementos diferentes a los 6 indicados, pero en cantidades pequeñísimas.

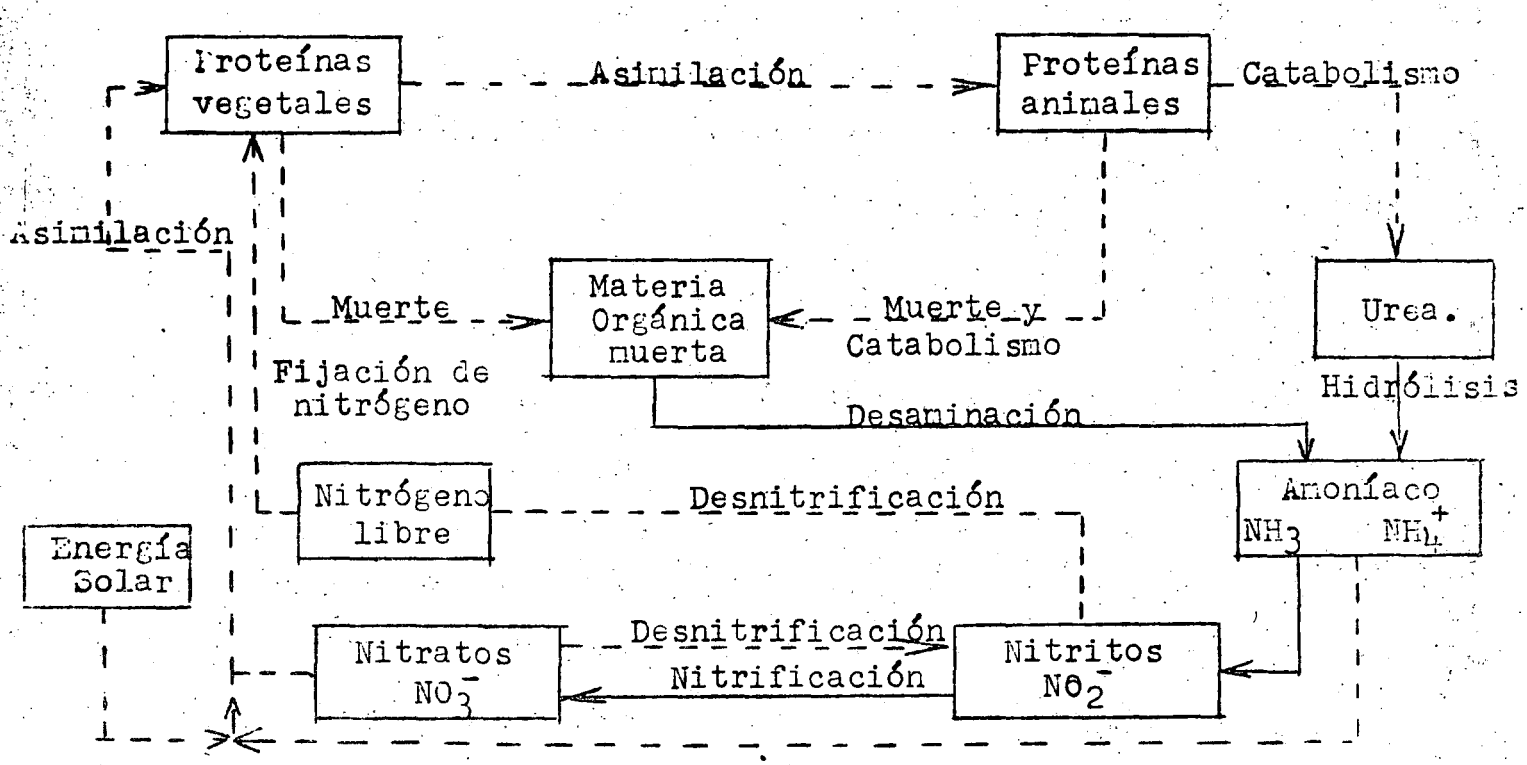
El significado de la oxidación biológica en procesos de Ingeniería Sanitaria puede ser explicado mejor por la manera como son transformados los elementos en la naturaleza.

Figura # 11



Un diagrama similar para el Nitrógeno se muestra en la figura siguiente:

Figura #12



El carbono, el nitrógeno y los otros elementos en los compuestos orgánicos siguen una trayectoria cíclica entre los estados orgánicos e inorgánicos.

El mismo patrón general se sigue si el ecosistema es un bosque o una corriente poluída.

En general se puede sintetizar:

C orgánico + O_2 $\xrightarrow{\text{Microorganismos}}$ CO_2

N orgánico + O2 $\xrightarrow{\text{Microorganismos}}$ NO_3^-

Dondequiera que una oxidación biológica tenga lugar, se ejerce una demanda de oxígeno sobre los recursos del medio ambiente. Si los recursos son limitados ocurrirá un déficit de oxígeno con el consiguiente desarrollo de condiciones desagradables creadas por la ANAEROBIOSIS.

El ingeniero sanitario utiliza la OXIDACION BIOLOGICA para convertir los desechos orgánicos en formas inorgánicas inocuas, utilizando a microorganismos con los cuales reproduce parte de los ciclos naturales elementales seguidos po

el carbono, el nitrógeno, etc.

Los desechos orgánicos típicos se representaron en las figuras anteriores por materia orgánica muerta y urea. Las trayectorias seguidas en su tratamiento se indican por las líneas llenas.

Las plantas de tratamiento representan medios artificiales para controlar y acelerar los procesos de degradación de la materia orgánica, reduciendo al mínimo las molestias inherentes.

Aunque la oxidación biológica no es la única forma de mineralización de los desechos orgánicos, hay también la combustión, sí es la más económica.

DEMANDAS TEORICAS DE OXIGENO.

Arriba se indicaron las expresiones cualitativas para la oxidación biológica del carbono y del nitrógeno. Pueden escribirse otras similares para el H, el P y el S.

$$H_{orgánico} + O_2 \xrightarrow{\text{microorganismos}} H_2O$$

$$P_{orgánico} + O_2 \xrightarrow{\text{microorganismos}} PO_4$$

$$S_{orgánico} + O_2 \xrightarrow{\text{microorganismos}} SO_4$$

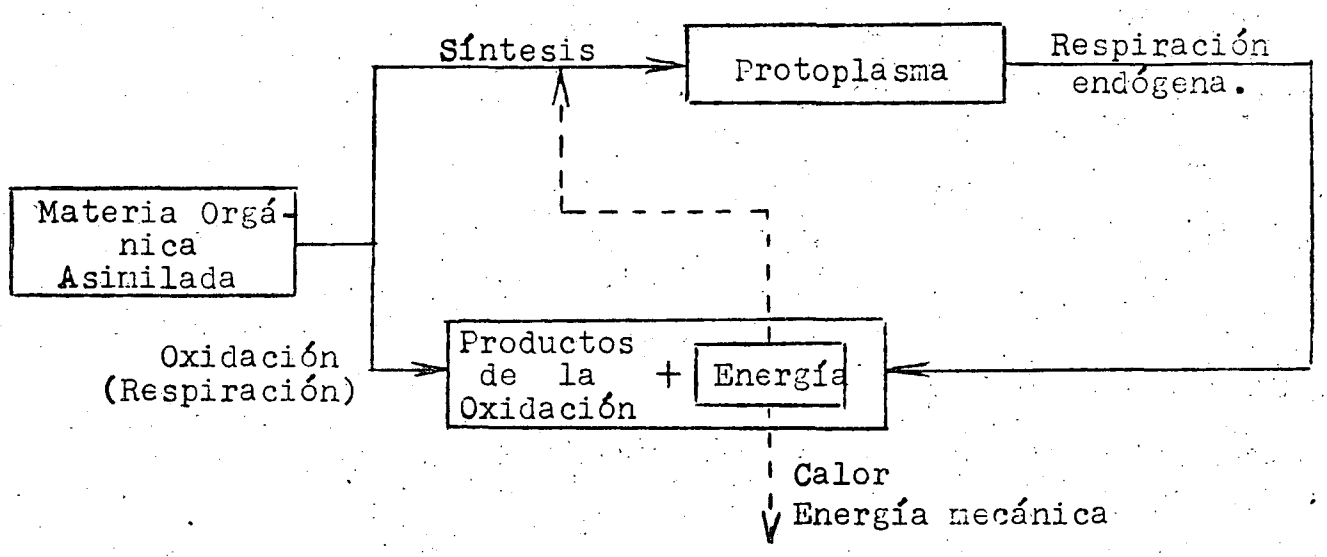
El monto de oxígeno requerido para la oxidación de materia orgánica compuesta de estos elementos será la suma de la cantidad requerida para la oxidación de cada elemento menos el oxígeno inicial presente.

La velocidad a la cual el oxígeno se utiliza en el proceso se relaciona íntimamente al crecimiento y supervivencia de los microorganismos. Dicha relación se presenta en la figura siguiente. La materia orgánica asimilada por los microorganismos no sólo proporciona los elementos de los cuales el protoplasma se forma, sino también la energía para su síntesis.

Cuando no se dispone de materia orgánica asimilable, la energía requerida para la supervivencia del protoplasma se suple con una auto-oxidación comúnmente llamada RESPIRACION ENDOGENA. Como la velocidad de oxidación biológica y --

por tanto la velocidad de utilización del oxígeno se asocian con el crecimiento. es conveniente visualizar los patrones de crecimiento de los microorganismos.

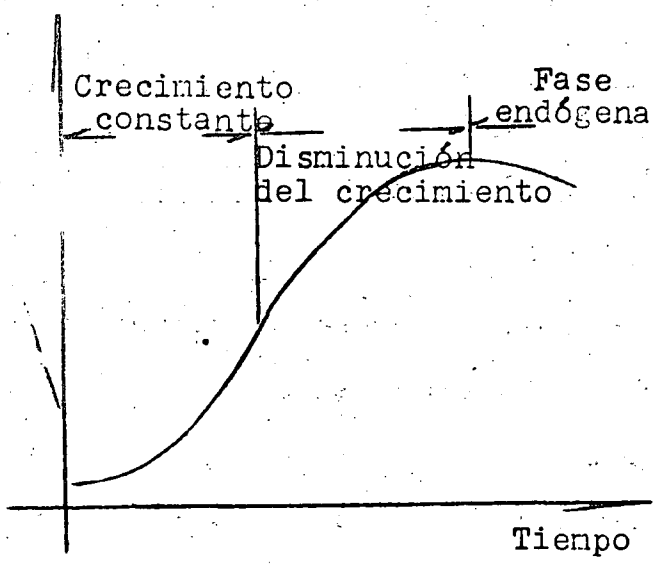
Figura #13



PATRONES DE CRECIMIENTO.

La curva en la figura siguiente ilustra el crecimiento clásico exhibido -- por los microorganismos en un cultivo tipo batch.

Figura #14



C_m, es la concentración de microorganismos.

Se muestran 3 fases diferentes:

1.- En la primera todos los nutrientes están en exceso de lo requerido por los microorganismos y el crecimiento se --- efectúa sin restricciones.

2.- A medida que el número de organismos -- crece, uno de los nutrientes puede limitar el crecimiento y el cultivo entra en la 2a. fase.

3.- La competencia por obtener el nutriente que se está agotando limita el creci -- miento hasta que cesa. En este punto el nutriente se ha agotado y el reemplazo de los organismos muertos no es posible. Consecuentemente, se llega a la fase endógena o de AUTO-OXIDACION.

FIG. 15

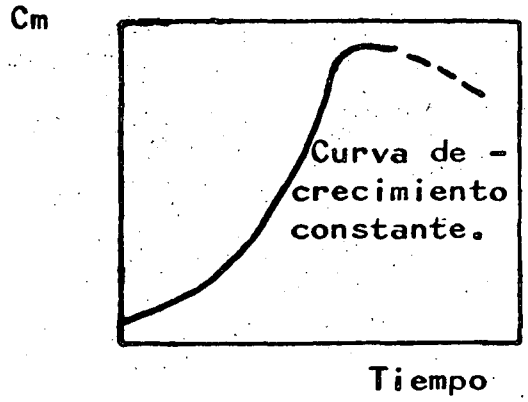
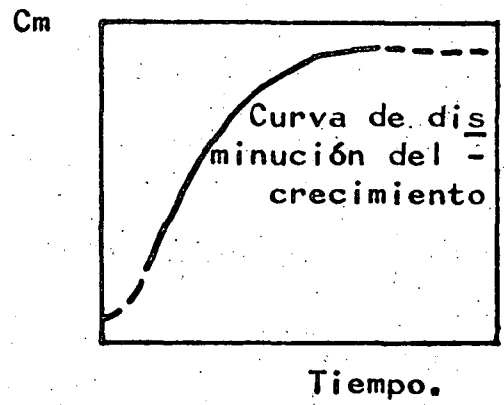


FIG. 16



Cuando los microorganismos son introducidos en un medio de crecimiento al cual no están adaptados, antes de la fase de crecimiento constante ocurre un retardo durante el cual se efectúa la aclimatación.

En algunos casos el crecimiento no sigue el patrón clásico ilustrado y se pueden presentar dos casos típicos:

1.- Los nutrientes están presentes en exceso en un medio donde se introduce un cultivo relativamente pequeño. (Fig. 15)

2.- Un cultivo relativamente grande se introduce en un sistema de alimentación continua en cantidades suficientes para mantener la concentración de nutrientes a un nivel dado. (Fig. 16)

La velocidad de crecimiento es controlada tanto por la naturaleza misma de los microorganismos como también por factores físicos y químicos del medio ambiente. La temperatura y el pH tienen una influencia marcada. También influyen la salinidad y una amplia variedad de agentes tóxicos.

Los requisitos nutricoinales de los microorganismos se pueden clasificar como sigue:

1.- Compuestos que proporcionan C y N.

2.- Compuestos usados como fuentes de energía.

3.- Iones inorgánicos.

4.- Factores de crecimiento.

Aunque los microorganismos difieren en muchos aspectos, la composición básica de su protoplasma es totalmente uniforme. La podemos expresar en la siguiente forma:

$$C_aH_bO_cN_dP_eS_f$$

Esta expresión es similar a la fórmula empírica de la materia orgánica.

PROCESOS AEROBIOS DE TRATAMIENTO.

1.- LODOS ACTIVADOS:

Aunque existe una gran cantidad de variantes, el fundamento de estos procesos es el contacto de los desechos orgánicos con los flóculos biológicos llamados "Lodos activados" formados con antelación, en un sistema aerobio. El resultado final es que la porción orgánica degradable se convierte en materia inorgánica y lodo activado adicional.

Los lodos activados consisten de una mezcla floculenta de microorganismos, materia inorgánica y materia orgánica muerta. Los microorganismos incluyen: bacterias, hongos, protozoarios y metazoarios, tales como las rotíferas, larvas de insectos y gusanos, todos ellos relacionados en una cadena de alimentación.

El término activados se debe a que los flóculos biológicos son muy activos en la adsorción de material suspendido (coloidal) y disuelto. Esta propiedad se ilustra en la figura siguiente:

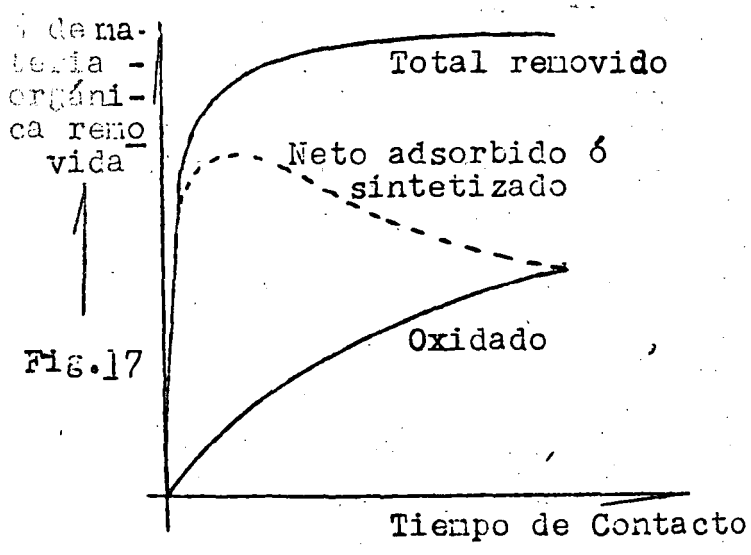


Fig.17

La línea discontinua se dibujó como la diferencias entre las otras dos curvas, y representa aquella porción de materia orgánica adsorbida y sintetizada como protoplasma.

Se notará que inicialmente la remoción se debe casi íntegramente a la adsorción. La porción orgánica adsorbida que no es inmediatamente oxidada o usada en síntesis, se almacena en el flóculo de lodo activado.

Cuando la capacidad total de almacenamiento del lodo ha sido utilizada, el lodo pierde su capacidad de adsorción. La activación puede restituirse aerando el lodo para que el material almacenado se utilice en oxidación y síntesis. El proceso de restitución de la activación se llama ESTABILIZACION.

ALGUNAS CARACTERISTICAS NUTRICIONALES Y DE ADAPTACION.

Aunque los requisitos nutricionales pueden estimarse de un análisis elemental de los lodos activados, se ha encontrado más conveniente relacionarlos a la D. B. O. a 5 días del desecho que servirá de alimento.

Para cantidades adecuadas de nitrógeno y fósforo, se sugieren las siguientes relaciones:

D. B. O. a N = 32 a 1

D. B. O. a P = 150 a 1

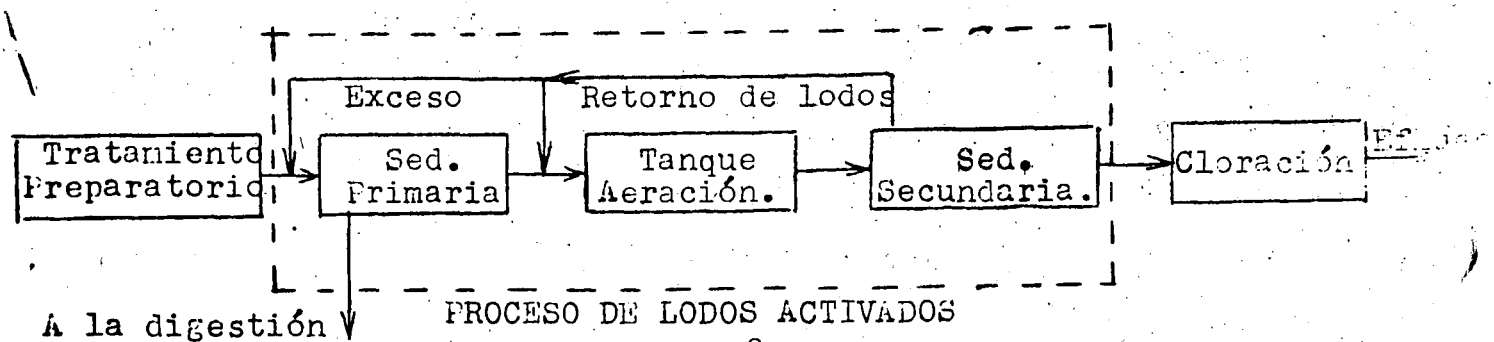
Efecto del pH. No existe problema en el desarrollo de los lodos activados en un rango de 6 a 9.

Temperatura. La influencia de este factor es muy grande, ya que a bajas temperaturas la actividad biológica decrece considerablemente.

Oxidación de los Lodos. En ausencia de materia orgánica utilizable, una gran porción de la parte orgánica de los lodos activados puede ser auto-oxidada por aeración prolongada, llamándose a este proceso Oxidación de lodos u oxidación húmeda.

PROCESOS DE TRATAMIENTO.

A.- PROCESO CONVENCIONAL.



PROCESO DE LODOS ACTIVADOS
Figura 18

Las aguas negras sedimentadas son mezcladas con el retorno de lodos activados y aeradas por un período entre 4 y 8 horas en los tanques de aeración, de donde el líquido llamado "LICOR MEZCLADO" pasa a un segundo sedimentador (Secundario) en donde se depositan los lodos activados que son recirculados, dejando el agua clara. La recirculación generalmente es del orden del 15 al 25% del gasto de aguas negras. El lodo en exceso es más o menos del orden del 0.5% del gasto de aguas negras. La concentración de lodos activados que se acostumbra mantener en el licor mezlcado varía de 1500 a 2500 mg/lt.

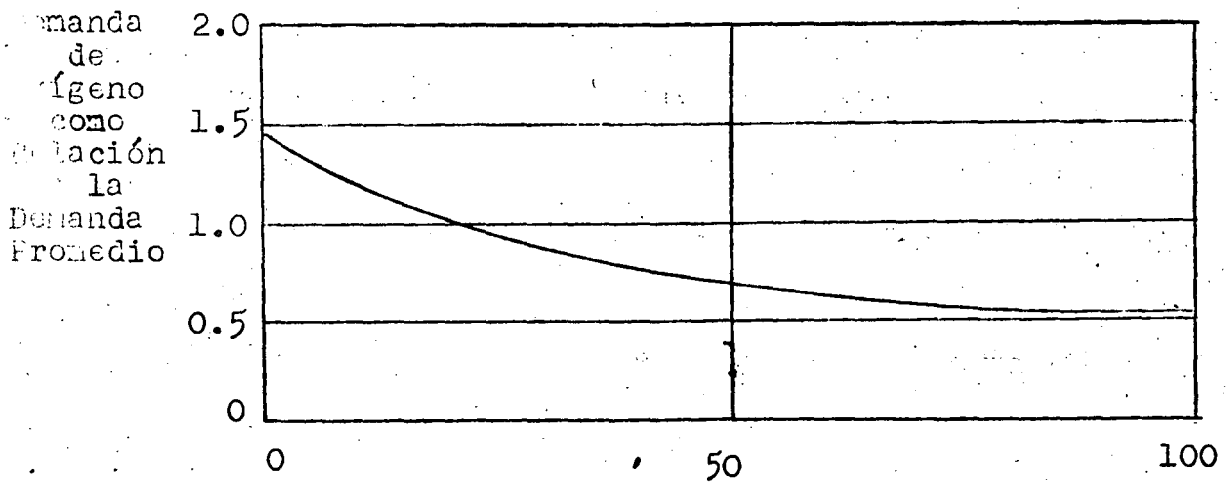
En los tanques de aeración el proceso se realiza en dos etapas:

1.- La primera es una clarificación, en la cual la mayor parte de los sólidos suspendidos y coloidales es adsorbida en las superficies de los flóculos.

2.- La segunda es una estabilización y ocupa la mayor parte del volumen del tanque.

La utilización del oxígeno es decreciente como se indica en la figura siguiente:

Figura 19

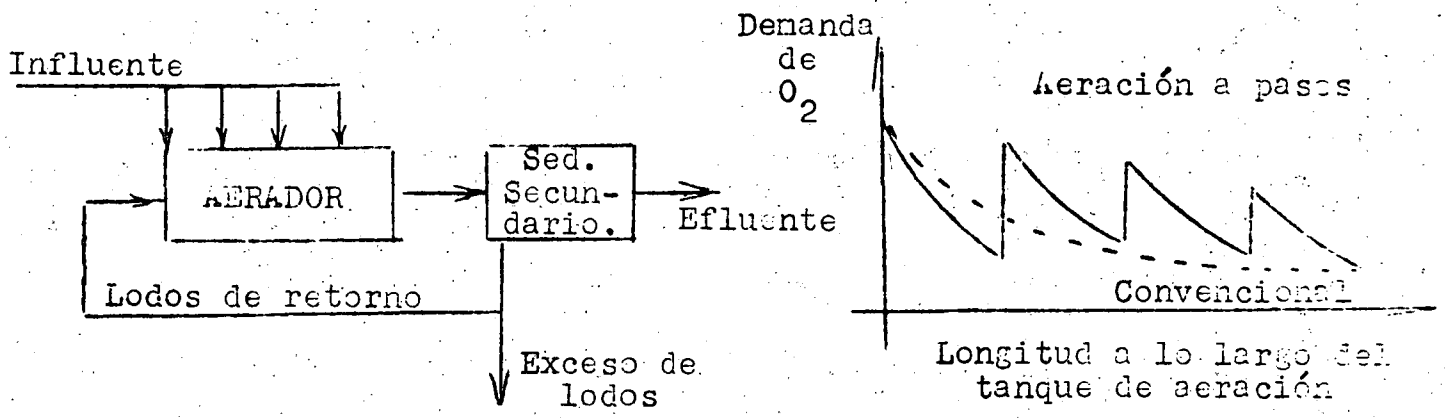


Longitud a lo largo del tanque de aeración como por ciento.

B.- PROCESO DE AERACION A PASOS.

Este proceso es una modificación del convencional. Las aguas negras se introducen a los tanques de aeración en diferentes puntos, 3 ó 4, distribuyendo la carga orgánica en la longitud total del tanque.

Figura 20

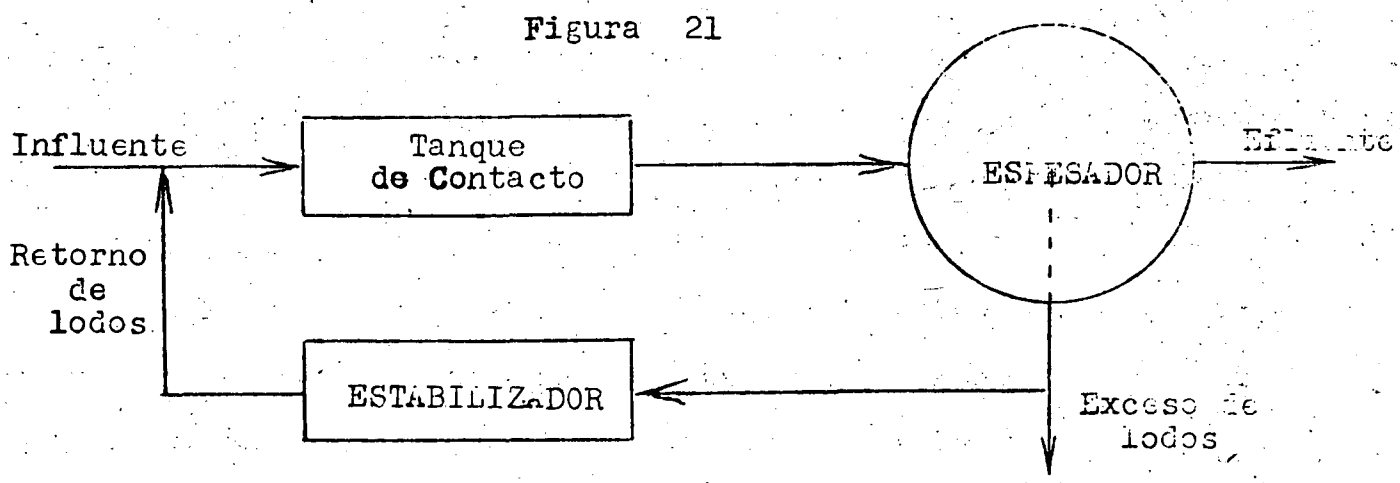


Como resultado, el crecimiento y la oxidación no se confinan a un extremo del tanque como en el proceso convencional. Debido a esta distribución de la carga orgánica en la longitud total del tanque, pueden usarse menores tiempos de retención y más bajas concentraciones de lodos en el licor mezclado.

C.- PROCESO CONTACTO-ESTABILIZACION.

Este proceso se desarrolló tomando en cuenta las características particulares adsortivas del lodo activado.

Figura 21



Las aguas negras sedimentadas se mezclan con el retorno de lodos activados en un tanque de contacto aerado que tenga un tiempo de retención de 10 - 40 minutos. En este tiempo los productos orgánicos son adsorbidos por los flóculos biológicos efectuándose así la fase de clarificación. El licor mezclado pasa a un tanque de sedimentación en donde se separan los lodos activados. Una pequeña parte de lodos se dispone como exceso mientras que el resto se pasa a un tanque de estabilización. Aquí los lodos son aerados de una y media a 5 horas dependiendo de la concentración del desperdicio orgánico. Durante este período la materia orgánica almacenada se utiliza en crecimiento y respiración y como resultado se estabiliza o se activa. El retorno de los lodos estabilizados se mezcla con el agua negra sedimentada reiniciándose el proceso.

El uso de este proceso permite una reducción en la capacidad de los tanques de aeración.

D.- PROCESO DE AERACION MODIFICADO.

Los tres procesos anteriores consiguen eficiencia de remoción de D. B. O. del orden del 85 al 95%. El proceso de aeración modificado llamado también proceso de alto gasto, se utiliza donde se requieran menores eficiencias. Este proceso es similar al proceso convencional, excepto que el retorno es del 5 al 10% del gasto de aguas negras y el tiempo de aeración limitado a 2 ó 3 horas. La alta relación de materia orgánica a lodos activados da como resultado una velocidad fuerte de crecimiento, pero un efluente poco clarificado. La remoción de D. B. O. es del orden del 50 al 75%.

E.- PROCESO DE AERACION PROLONGADA.

Como se ha visto, los mecanismos básicos en los diversos procesos biológicos son los mismos, es únicamente la relación entre la cantidad de síntesis y respiración endógena la que los diferencia.

En los sistemas convencionales de lodos activados, la carga orgánica en los tanques de aeración es del orden de:

$$\frac{550 \text{ a } 800 \text{ Kg. de D. B. O. (5 días y } 20^{\circ} \text{ C)}}{1000 \text{ M3. de tanque}}$$

siendo el crecimiento de aproximadamente 50% de la demanda última removida.

En los sistemas de alto-gasto, se aplican más de 1600 Kg., por lo que la cantidad de lodos es muy grande.

En los sistemas de aeración prolongada, se usan de 240 a 480 Kg. por lo que el lodo producido es mínimo. Idealmente, sólo la fracción biológicamente inerte permanecerá en el sistema. Para obtener esto, la fase endógena debe predominar, lo cual se logra manteniendo una relación baja de alimento a microorganismos.

Prácticamente esto significa:

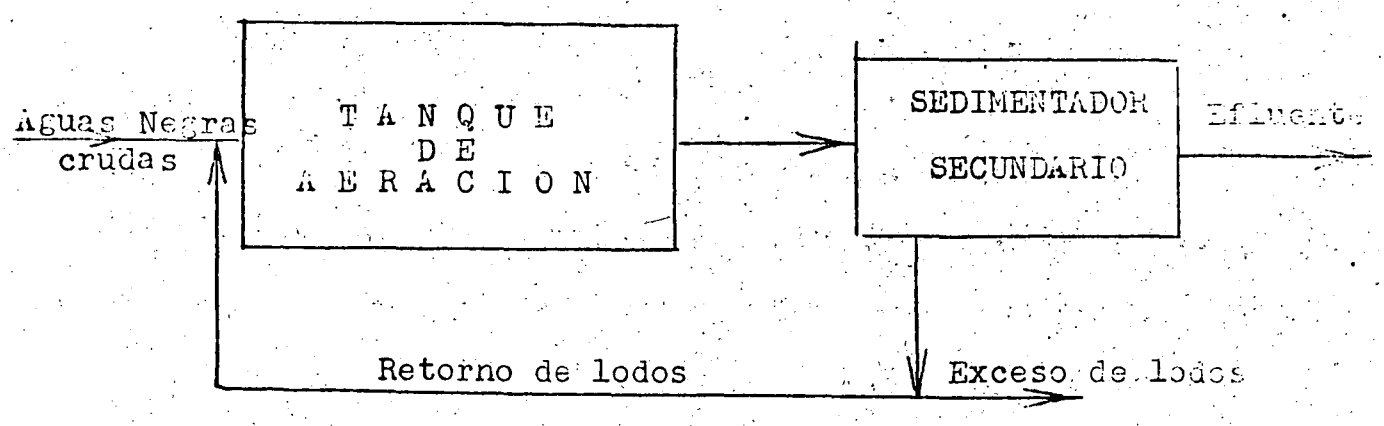
a).- Baja carga de D. B. O. (200 a 240 Kg/1000 M3.)

b).- Licor mezlcado con fuerte concentración de sólidos suspendidos. (5000 a 6000 mg/lt.).

c).- Período prolongado de aeración. (24 horas).

Con tales condiciones el sistema de aeración prolongada produce un mínimo de lodos muy estabilizados, por lo que se hace innecesaria la digestión anaeróbica. Se puede eliminar también la sedimentación primaria:

Figura 22



Las eficiencias de este sistema dependen principalmente de la carga de D. B. O. y del uso del exceso de lodos. En general, se alcanzan valores mayores del 90% hasta del 95%.

Los requisitos de aire se estiman en:

$$\frac{1.3 \text{ Kg. de } O_2}{\text{Kg. de D.B.O.}}$$

2.- CANALES O ZANJAS DE OXIDACION.

Una aplicación muy interesante del proceso de lodos activados son las zanjas o canales de oxidación desarrollados por el Dr. Pasveer en el Instituto TNO de La Haya y que pueden ser utilizados con éxito en el tratamiento de aguas negras para pequeñas comunidades.

El principio básico de éstas instalaciones es la reconstitución artificial del fenómeno natural de autopurificación en un curso o corriente de agua. Para ello, el agua se agita violentamente con un rotor o cepillo y crear una corriente en un circuito generalmente elíptico. Después de un prolongado período de aeración es posible conseguir un cultivo biológico de lodo activado que estará continuamente en circulación. El dispositivo más simple trabaja intermitentemente de manera que al parar la agitación tenga lugar una sedimentación y pueda ser extraída agua tratada con una eficiencia similar a las plantas de lodos activados convencional. Una ventaja extraordinaria de este proceso es la mineralización del exceso de lodos y que puede ser llevado directamente a lechos de secado. El lodo mineralizado se extrae periódicamente de una trampa para lodos colocada en la zanja.

La extracción del agua tratada puede hacerse por introducción intermitente del agua negra cruda o por una compuerta basculante que se abra un tiempo después que el rotor haya parado y se cierre una vez que el rotor se ponga en marcha nuevamente. El proceso puede hacerse totalmente automático. En tema aparte se verán estos dispositivos con detalle.

3.- FILTROS ROCIADORES.

Los filtros rociadores son muy empleados para el tratamiento biológico de aguas negras y residuos industriales. Consisten de un lecho de piedra quebrada de 5 a 8 cm. colocadas sobre un sistema adecuado de drenaje.

Las aguas negras sedimentadas se aplican en la superficie del lecho intermitente o continuamente por medio de distribuidores generalmente rotatorios. El uso de piedras grandes proporciona huecos suficientemente grandes para acomodar simultáneamente los desechos líquidos y el aire circulante. Por la misma razón el sistema de drenaje deberá ser diseñado de manera que no se inunde.

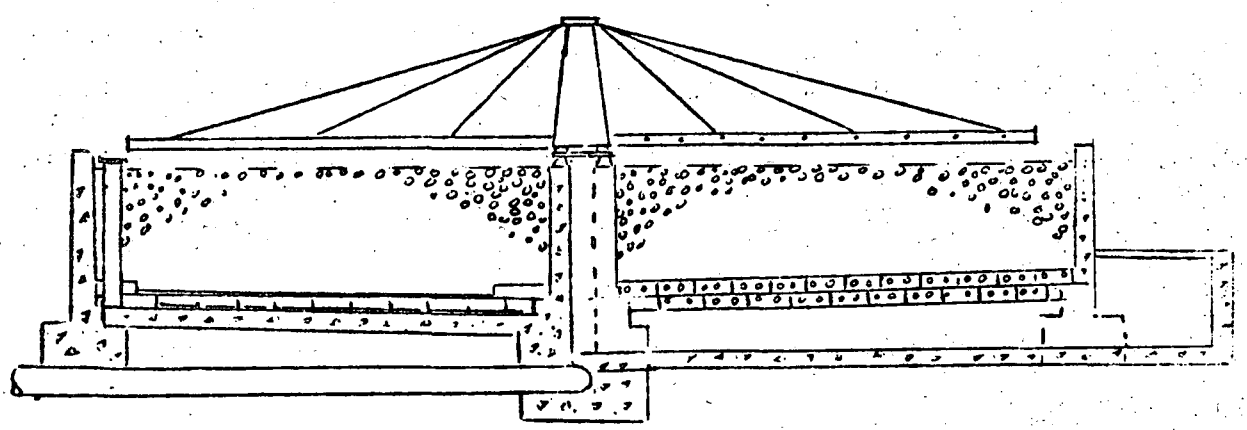
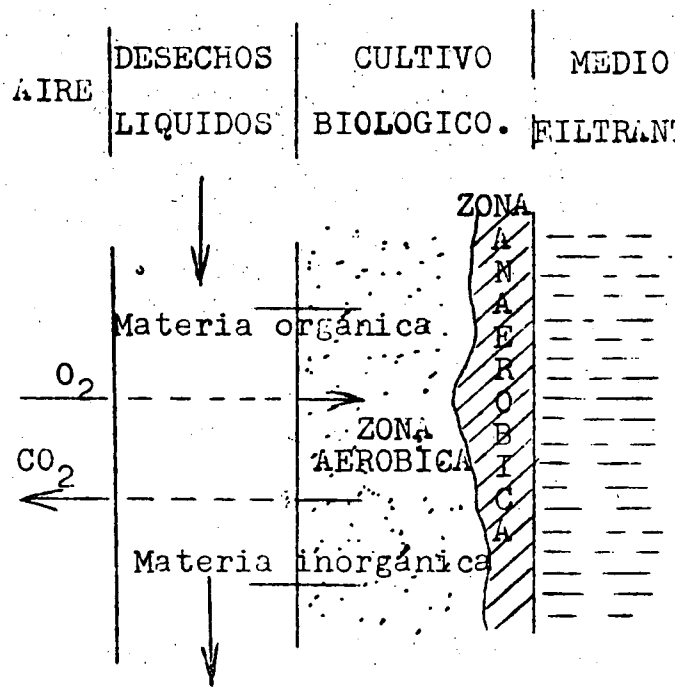


Figura 23.- ESQUEMA DE UN FILTRO ROCIADOR.

La remoción de la materia orgánica es el resultado de un proceso de adsorción que ocurre en la superficie de las piedras en donde se ha formado un cultivo biológico. Subsecuente a su adsorción los productos orgánicos son utilizados por el cultivo para su crecimiento y energía para su síntesis.

La composición del cultivo biológico es muy similar a la de los lodos activados. Las transformaciones tienen lugar en los cultivos que cubren las piedras como se muestra en la figura siguiente:

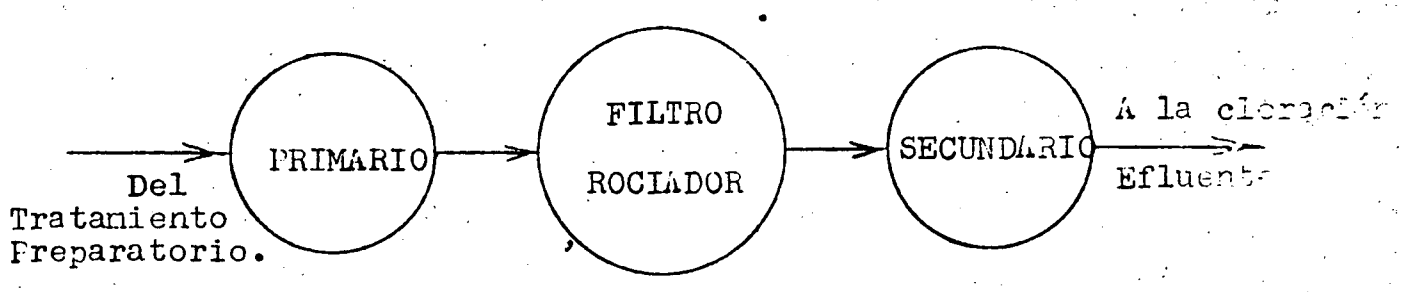


El crecicimiento es más activo en la superficie de contacto donde la concentración de materia orgánica es mayor; consecuentemente la Demanda de oxígeno es más grande en esta zona y el monto de oxígeno restante que se difunde a mayor profundidad en el cultivo es limitado. Después de que el cultivo crece y adquiere un cierto espesor puede establecerse una zona de anaerobiosis en la parte pegada inmediatamente a la piedra. El cultivo continuamente está sujeto a fuerzas de arrastre por el paso del líquido; después de que la capa llegue a un espesor crítico las porciones exteriores son arrastradas y descargadas en el efluente. El "Descascare" ocurrirá en forma intermitente o más o menos continua, dependiendo de la carga hidráulica sobre el filtro.

EL PROCESO DE FILTROS ROCIADORES.

Los diseños de los filtros rociadores se han basado en su mayor parte en datos empíricos. Las investigaciones recientes han permitido encontrar una serie de relaciones básicas para lograr diseños más racionales.

La figura siguiente muestra el arreglo típico de una planta de filtros rociadores de una sola etapa sin recirculación.



Dentro del rango de cargas orgánicas normalmente aplicadas a los filtros rociadores, la eficiencia de remoción es independiente de la carga orgánica. Para ello las cargas deberán ser menores de 160 Kg. de D. B. O. por M3. y por día. Eso está en contraste con el proceso de lodos activados en donde la eficiencia es una función de la carga. En lugar de eso se ha encontrado que la remoción en los filtros rociadores está gobernado por la profundidad del filtro y la carga hidráulica.

RECIRCULACION.

Muchos diseños de filtros rociadores incorporan la recirculación para mejorar la calidad del efluente final. Aunque no hay bases teóricas para ello, la recirculación contribuye a igualar las cargas hidráulicas, mejor distribución sobre el filtro, y menor problema de obstrucciones, contribuyendo todo ello a un aumento en la eficiencia del tratamiento.

Existe una amplia variedad de esquemas de recirculación, muchos de los cuales están patentados. Los más comunes se presentan a continuación. A pesar de la amplia variedad de arreglos las diferencias en funcionamiento son muy pequeñas.

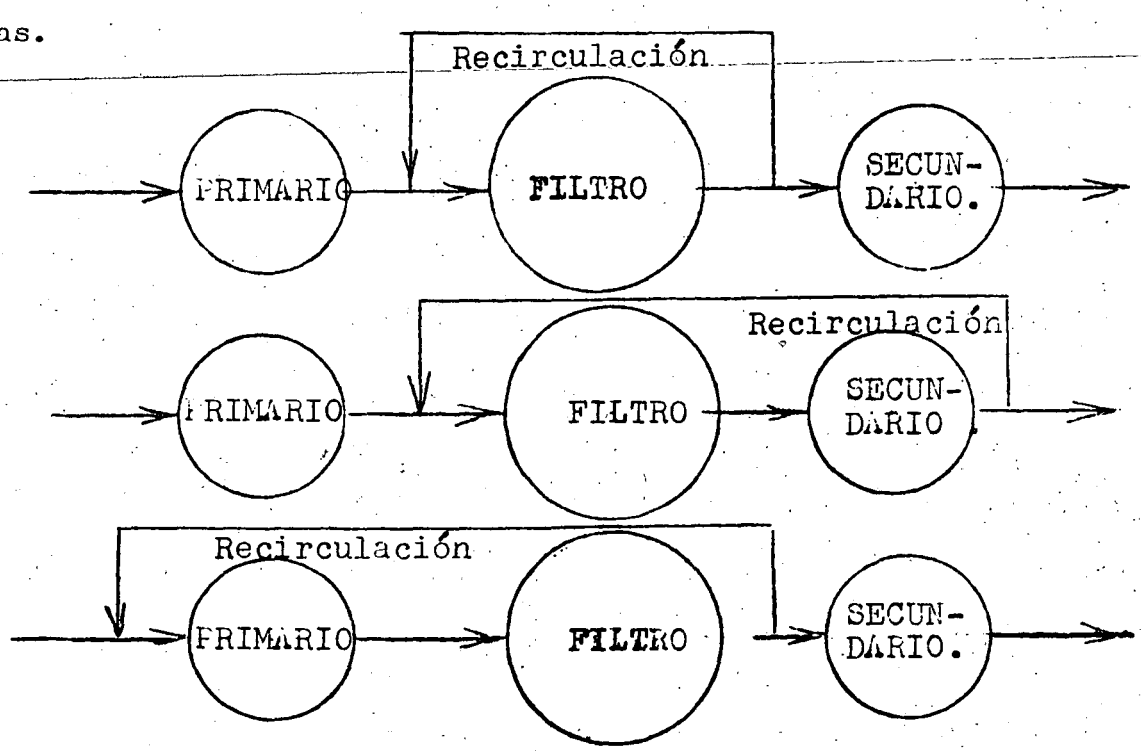


Figura 25

Generalmente la relación del gasto recirculado al gasto de entrada de aguas negras varía de 0.5 a 3. Algunos arreglos consideran la recirculación solamente durante el período de gastos bajos.

Los esquemas anteriores corresponden a diseños con una sola etapa de filtración, sin embargo, existen arreglos de dos etapas de filtración en la cual dos lechos filtrantes están en serie o separados por un sedimentador intermedio. Por supuesto que los procesos de dos etapas pueden complementarse con arreglos de recirculación.

DISEÑO.

Como resultado de desarrollos empíricos los filtros rociadores se diseñan y operan ya sea como filtros de gasto estandar o como unidades de alto gasto. La distinción entre los diseños se ilustra en la tabla siguiente.

COMPARACION ENTRE FILTROS ESTANDAR Y DE ALTO GASTO.

CARACTERISTICAS	FILTROS ESTANDAR	FILTROS DE ALTO GASTO
1.- Carga hidráulica (M3/m2/día)	Menos de 3.7.	De 9.3 a 28
2.- Carga Orgánica D. B. O. (Kg.)		
a).- Por Ha-m por día	2,200	11,000
b).- Por 1,000 m3 por día	Menos de 250	Más de 500
c).- Por m3. por día	Menos de 0.22	Más de 0.44
3.- Frecuencia de la dosis	No más de 5 min., generalmente intermitente, pero puede ser continua.	No más de 15 seg., pero puede ser continua.
4.- "Descascare"	Intermitente	Continuo
5.- Lodos secundarios	De color negro, altamente oxidados, partículas ligeras y finas.	De color café, no completamente oxidado, partículas finas, tendencia a la septicidad.
6.- Efluente	Altamente nitrificado, en la etapa de nitrificación, 20 ppm o menos de D. B. O.	Incompletamente nitrificado, generalmente hasta el principio del estado de nitrificación, 30 ppm o más de D. B. O.
7.- Sistema de Recirculación	Generalmente no incluído, pero podría considerarse si la carga hidráulica no es excesiva.	Siempre incluído, aunque en algunos diseños, la recirculación se usa solamente durante períodos de bajo gasto.

CRIBADO.

1.- OBJETIVO.- Remoción de partículas flotantes o suspendidas para:

a).- Evitar obstrucciones en tuberías, canales y procesos de tratamiento,

b).- Atascamientos y daños al equipo mecánico,

c).- Reducir la magnitud de bancos de lodos.

d).- Disminuir la absorción de oxígeno en aguas de dilución y

e).- Interceptar materia flotante desagradable a la vista.

2.- CLASIFICACION.- Los dispositivos de cribado se dividen en:

a).- Rejillas.

b).- Cribas finas.

c).- Desmenuzadores y rejillas con dispositivos cortadores.

3.- ABERTURAS.- Las aberturas comunes en los dispositivos de cribado son como sigue:

TIPO DE CRIBA	ABERTURA mm.	CONSIDERACIONES
A.- Rejillas antes de bombas y desarenadores.	50 a 150	- - - - - - -
B.- Rejillas antes de otros -- dispositivos o procesos.	20 a 50	25 mm. es lo usual.
C.- Desmenuzadores.	6 a 20	La abertura es función de la capacidad hidráulica.
D.- Cribas Finas	2.5 a 5	No es común menos de 2.5 mm.

4.- REJILLAS.- Las rejillas se componen de barras verticales o inclinadas de sección circular, rectangular o trapecial, espaciddas a intervalos iguales y colocadas transversalmente a la dirección del escurrimiento. Se usa precediendo a estaciones de bombeo, desarenadores y tanques de sedimentación primaria y como pasos laterales de desmenuzadores.

La inclinación de las rejillas es comúnmente de 30° pero puede ser también de 1:1 hasta 1:3.

5.- ESPECIFICACIONES PARA SU INSTALACION.-

a).- Las rejillas se colocarán en un canal diseñado con una velocidad mínima que lo haga auto-limpiante, una máxima que evite el desprendimiento del material retenido. En términos generales, no menor de 0.60 m/seg. si el agua lleva arena, y 0.30 m/seg. para aguas negras prácticamente sin arena.

b).- El área sumergida de la rejilla deberá ser del 200% de la sección transversal del canal para alcantarillados separados y del 300% para alcantarillados combinados.

c).- El área neta sumergida de las rejillas no deberá ser menor de 4.2 $\frac{m2}{m3/seg}$ para alcantarillados separados y 6.3 para alcantarillados combinados.

d).- La pérdida de carga a través de las rejillas varía necesariamente con la cantidad y naturaleza del material retenido entre limpiezas. Para rejillas limpias se puede usar:

$$h = 0.73 \quad (V^2 - v^2)$$

h, es la pérdida de carga en m.

V, es la velocidad a través de las rejillas. m/seg.

v, es la velocidad antes de las rejillas. m/seg.

e).- Para compensar la pérdida de carga, el piso donde se colocan las rejillas es más bajo 8 a 15 cm. que el fondo del canal de aproximación.

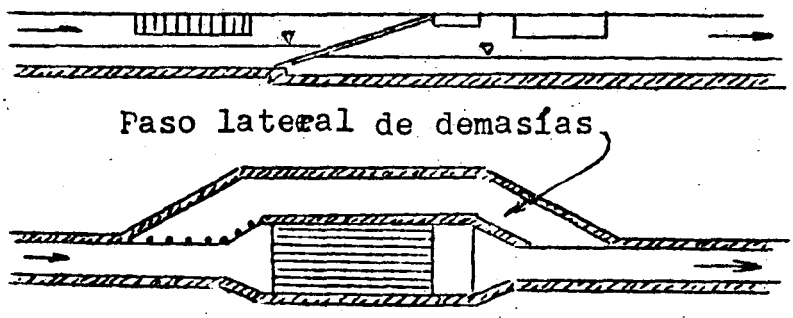


Fig. 1

REJILLA DE LIMPIEZA MANUAL.

6.- CRIBAS FINAS.- La mayor parte de estos equipos son patentados, consisten de placas de metal perforados como discos o tambores rotatorios o placas metálicas encadenadas en bandas sin fin. En la mayor parte de ellas el material retenido se limpia con cepillos y chorros de agua a presión ó con aire comprimido.

Estas cribas pueden utilizarse en lugar de una sedimentación donde no haya suficiente espacio para los tanques y donde se desee remover sólo una pequeña parte de la materia suspendida.

Su uso es relativamente restringido y se substituye ventajosamente por los sedimentadores primarios.

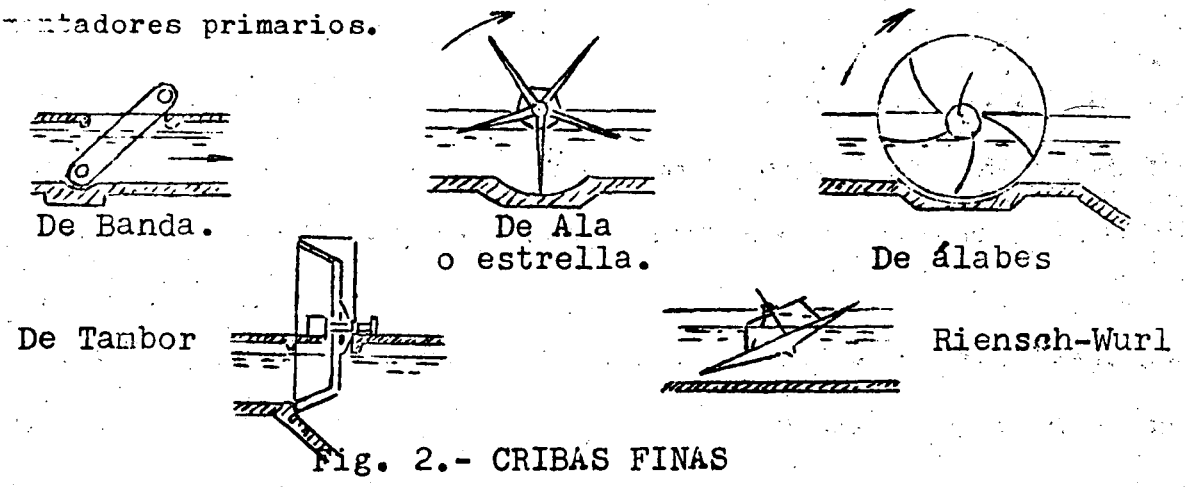


Fig. 2.- CRIBAS FINAS

7.- DESMENUZADORES.- Un desmenuzador es una criba o rejilla que tiene un mecanismo que corta el material retenido sin removerlo del escurrimiento de aguas negras. Tien la ventaja de reducir olores, moscas y condiciones desagradables a la vista comunes en el manejo del material retenido en rejillas o cribas Otros dispositivos consisten de rejillas con limpieza mecánica, el material retenido es llevado a un molino o bomba donde es reducido y puede ser dispuesto aguas abajo o arriba de la rejilla.

8.- CLASIFICACION DE LAS REJILLAS Y CRIBAS DE ACUERDO CON LA LIMPIEZA.-

a).- Fijas.

b).- Removibles.

c).- Móviles.

La limpieza puede hacerse manual o automática dependiendo de:

a).- Naturaleza de las aguas negras.

b).- Abertura.

c).- Grado al cual la materia sólida se desmenuza en el sistema de alcantarillado.

9.- CANTIDADES DE MATERIAL RETENIDO.- Depende de los 3 factores arriba considerados. Como valores normativos se dan los indicados en la tabla de eficiencias.

10 - EFICIENCIAS.- La eficiencia de las unidades de cribado varía muchísimo, dependiendo de la composición de los desechos a ser tratados. Para aguas negras municipales se da la siguiente tabla:

TIPO DE CRIBA	ABERTURAS mm	LIMPIEZA	VOLUMEN DE MAT. RETENIDO. lt/habxaño	% APROXIMADOS DE REMOCION Sol.Susp.	D. [illegible]
Rejilllas	50 a 75	Manual	Hasta 0.6	- - - - -	
Rejillas	40 a 50	Manual	0.6 a 3	Hasta 2%	[illegible]
Cribas finas	12 a 25	Mecánica	3 a 9	2 a 5%	1 [illegible]

DESARENADORES.-

1.- OBJETIVO. Los desarenadores son dispositivos que sirven para remover partículas gruesas y finas de arena, grava y otras de materia mineral, inclusive semillas y material similar que no sea de origen mineral, pero que no sea putrescible y que tengan velocidades de sedimentación mayores que la de los sólidos orgánicos. Con ello se consigue:

a).- La protección del equipo mecánico móvil de abrasión y excesivo desgaste.

b).- La reducción de obstrucciones en tuberías causadas por depósitos de las partículas anteriores o lodo pesado en tuberías y canales particularmente en los cambios de dirección.

c).- La reducción en la frecuencia de limpieza para digestores y sedimentadores como resultado de una excesiva acumulación de arena.

2.- DISEÑO. Los desarenadores pueden diseñarse para escurrimiento horizontal y vertical.

A.- Desarenadores horizontales.- Se puede efectuar una separación satisfactoria de partículas de arena reduciendo la velocidad de escurrimiento aproximadamente a 30 cm/seg. Técnicamente el diseño se realiza calculando el área superficial requerida y determinando la sección transversal correspondiente a la velocidad indicada. Se deberá proporcionar una capacidad adicional abajo de esta sección que sirva de depósito a una cantidad de arena que pueda ser llevada por un día máximo. A continuación se da una tabla de cargas superficiales de diversas partículas en el agua.

VELOCIDADES DE SEDIMENTACION EN EL AGUA A 10° C. EN CM/HORA.

NATURALEZA DE LAS PARTICULAS	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MM.						
	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01	0.005
Arena cuarzosa S = 2.65	50000	26000	8100	2400	610	30	5
Carbón S = 1.5	15200	7600	2600	760	147	8	1.4

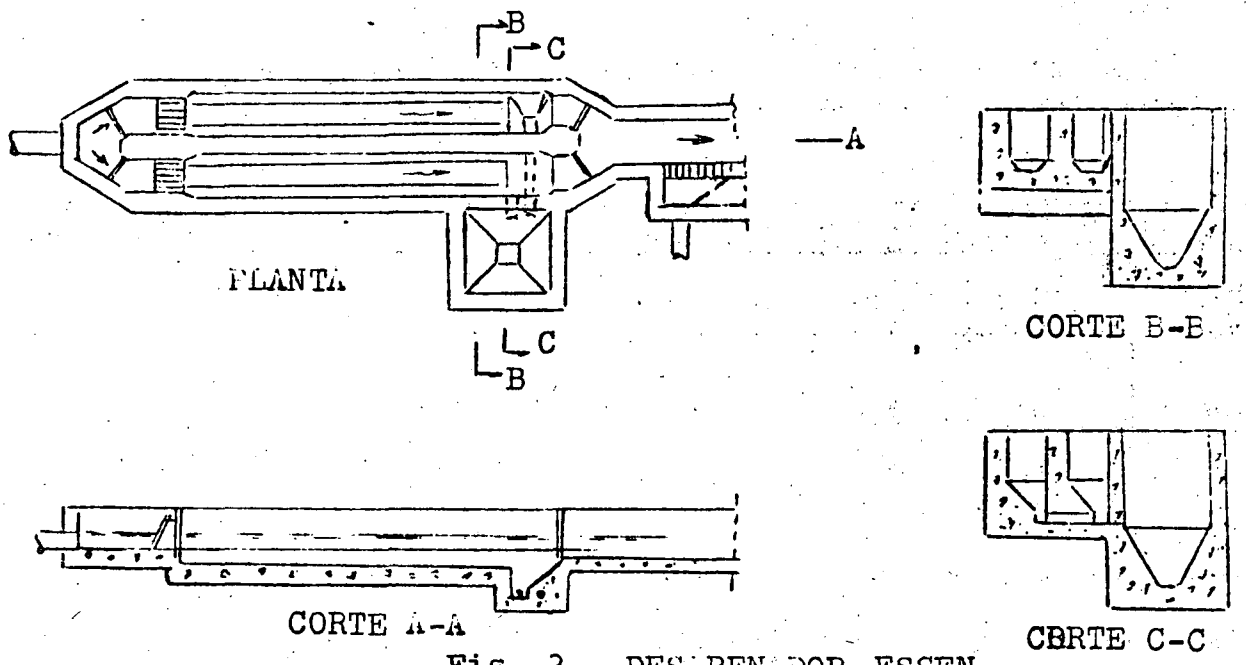
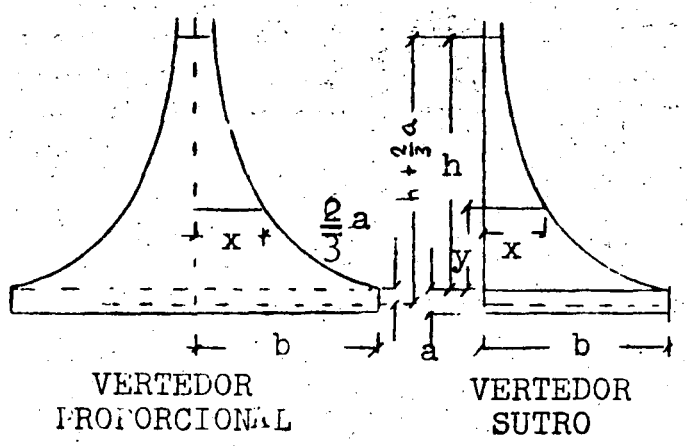


Fig. 3.- DESARENADOR ESSEN

La variación del tirante en los desarenadores puede hacer variar la velocidad de escurrimiento cambiando las condiciones de sedimentación. Para conservar constante la velocidad se utilizan dispositivos como el vertedor llamado proporcional o Sutro y los canales Venturi o Parshall y otros tipos similares.

El vertedor proporcional.- El principio básico del vertedor proporcional es que el gasto a través de él varía directamente con la carga. El gasto a través de un dispositivo de este tipo se da por la siguiente expresión:

Figura 4



$$Q = b\sqrt{2ag}\left(h + \frac{2}{3}a\right)$$

$$Q_1 = \frac{2}{3}\, b\sqrt{2g}\left[(h+a)^{1.5} - h^{1.5}\right]$$

$$x = b\left(1 - \frac{2}{\pi}\tan^{-1}\sqrt{\frac{y}{a}}\right)$$

En donde:

Q es la descarga total en [illegible]

Q_1 es la descarga a través de la parte rectangular, en las mismas unidades.

El vertedor proporcional no debe trabajar ahogado. Para valores de h menores de 2.5 cm., la curvatura se termina verticalmente.

B.- Desarenadores de escurrimiento vertical.- También se diseñan desarenadores de este tipo y si el área superficial es adecuada, opera satisfactoriamente. Como ventaja se puede señalar que la arena puede recolectarse en el fondo del tanque y puede ser lavada fácilmente usando aire comprimido antes de su extracción. Existen otros tipos de diseños en forma de embudos o bien de escurrimiento tangencial y el control de la velocidad puede hacerse inyectando aire en tal forma que las partículas de material orgánico ligeras se mantengan en suspensión, permitiendo la sedimentación de las partículas minerales pesadas.

3.- REMOCION DE LA ARENA.- El desarenador convencional se puede limpiar con un drenaje colocado en el fondo y la arena se remueve a mano, pudiéndose usar mangueras de alta presión para limpiar la arena. En plantas grandes se usa equipo mecánico de diversos tipos: cadenas, tornillos helicoidales, etc.

4.- LIMPIEZA DE LA ARENA.- Debido a que la sedimentación de estas partículas de todas formas se acompaña con pequeñas cantidades de materia orgánica, muchas veces se considera conveniente el lavado de la arena antes de su disposición final para evitar problemas de olores, moscas, etc. Los métodos de lavado [illegible]

sintetizarse en dos:

a).- La arena se remueve de las cámaras y se lava en dispositivos especiales por medio de un escurrimiento que lave la materia orgánica. El agua de lavado se agrega al efluente del desarenador.

b).- Usando aire para mantener en suspensión la materia orgánica.

5.- CANTIDADES DE ARENA REMOVIDA.- En sistemas combinados de alcantarillado se puede esperar un monto de 4 a 13 M3. por mil personas anualmente. En sistemas separados es normalmente despreciable. Sin embargo, en algunas áreas arenosas, como zonas costeras pueden entrar cantidades apreciables de arena a las alcantarillas, hasta 4 M3. por año por mil personas.

6.- DISPOSICION FINAL DE LA ARENA.- La arena limpia se caracteriza por estar exenta de olores que normalmente resultan de la presencia de materia orgánica en descomposición. Si la arena no ha sido lavada se tendrán materia orgánica en cantidades hasta del 50% del peso de la arena y en algunos casos más, de modo que si no es satisfactoriamente dispuesta, se convertirá en lugar de proliferación de insectos y roedores así como de olores desagradables; por lo tanto, la arena debe disponerse en rellenos sanitarios o bien puede ser incinerada antes de su disposición.

REMOCION DE ACEITES Y GRASAS.- Aceites, grasas y otros materiales más ligeros que el agua, se elevan a la superficie cuando el agua se aquieta y pueden ser removidos manualmente o por un desnatador mecánico.

La remoción se puede aumentar y hacer que incluya algunas sustancias más pesadas que el agua introduciendo aire a las aguas negras (flotación) o aplicando un vacío en la superficie de ellas.

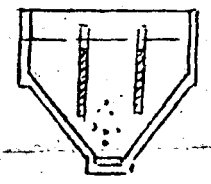
En general, el proceso de flotación es más usual en el tratamiento de desechos industriales salvo que las aguas negras municipales tengan cantidades considerables de grasa o aceite.

TRATAMIENTO PREPARATORIO

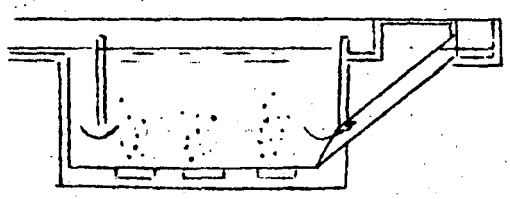
La remoción puede efectuarse en unidades independientes o bien en el mismo sedimentador primario. La ventaja del uso de tanques desnatadores con inyección de aire es la pre-aeración de las aguas negras eliminando algunos gases como el ácido sulfúrico y mejorando las condiciones de septicidad. La grasa removida de aguas negras municipales no es económico recuperarla y puede ser dispuesta en relleno sanitario, quemada o bien llevada a digestión. El volumen de grasas es muy variable, variando de 0.7 a 45 $\frac{lt}{1000\ M3}$ ó 5.6 M3. por mil personas por año.

En hoteles, hospitales y algunas industrias pueden utilizarse trampas de grasa o separadores. Es muy importante que gasolina y otros aceites ligeros no entren al alcantarillado porque pueden originar explosiones o incendios, para lo cual se dispondrán de trampas en los lugares de manejo de estos productos.

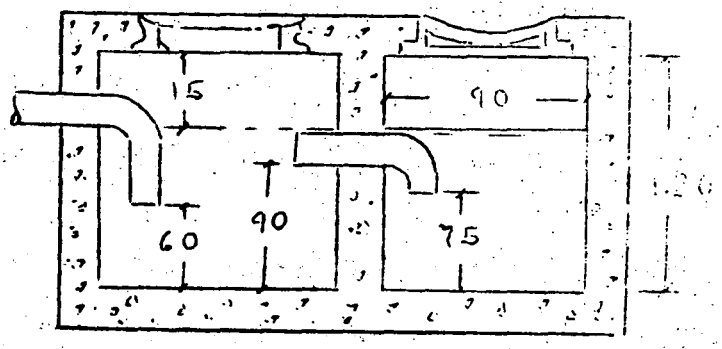
Figura 5



CORTE



DESGRASADOR POR FLOTACION.



DESARENADOR Y TRAMPA DE ACEITE PARA GARAGES.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

PRINCIPALES CRITERIOS Y NORAMS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO

ING. GASTON MENDOZA GAMEZ

Septiembre de 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

7. PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO.

7.1. Generalidades sobre el tratamiento secundario.

En el tratamiento de aguas residuales, principalmente aguas negras, el tratamiento secundario se lleva al cabo por medio de un proceso biológico, donde la materia orgánica finamente dividida y disuelta se convierte en materia floculenta sedimentable.

El proceso secundario se aplica en conjunto con el tratamiento preparatorio y el primario, sin que los sustituya.

Los procesos biológicos más empleados son los lodos activados y los filtros rociadores. Estos procesos tienen variantes que se eligen para lograr requisitos específicos de tratamiento. Otros procesos biológicos incluyen lagunas aeradas, lagunas de estabilización y zanjas de oxidación.

Todos estos procesos se agrupan por la dependencia del oxígeno que tienen los principales microrganismos responsables del tratamiento.

Lodos activados

Este proceso se desarrolló en Inglaterra a principios del siglo veinte. El nombre del proceso proviene de la masa activa de microrganismos que se produce y que aeróbicamente estabiliza el desecho en un tanque.

El ambiente aerobio se logra empleando aeración por difusión o mecánica. Los contenidos del tanque o reactor se conocen como licor mezclado. Después de que el desecho es tratado en el reactor, la masa biológica resultante se separa del líquido en un tanque de sedimentación. Una porción de los sólidos biológicos sedimentados se recircula; el remanente se lleva a la entrada del primario o se conduce al sistema de digestión y acondicionamiento de los lodos. Esto se hace así, porque una parte de los microrganismos se debe desechar, pues de otra manera la masa biológica se incrementaría paulatinamente hasta que el sistema fuera incapaz de contenerla. El nivel al cual se debe mantener la masa biológica depende de la eficiencia de tratamiento deseada y otras consideraciones relacionadas con el patrón de crecimiento. En el sistema convencional del proceso de lodos activados que se analizará en detalle en la segunda parte de este tema, se mantiene una concentración de microrganismos medida como sólidos suspendidos volátiles de 1500 a 3000 mg/l, con tiempos de aeración entre 4 y 8 horas y una eficiencia de remoción de DBO en-

tre 85 y 95 porciento.

Para diseñar y operar un sistema de lodos activados eficientemente, es necesario comprender la importancia de los microrganismos en el sistema. El papel básico de los microrganismos es el de descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso que se analiza, las bacterias son las responsables de la descomposición de la materia orgánica. - Parte de la materia orgánica se usa para obtener energía para la síntesis de la materia restante con lo que se producen nuevas células.

El tiempo que permanecen los microrganismos en el tanque de aeración (llamado tiempo de residencia media de las células o edad de lodos) afecta a la eficiencia del proceso, cuando este tiempo se incrementa, se mejoran las características de sedimentación de los flóculos biológicos. Con aguas negras, los tiempos de residencia media de las células son del orden de 3 a 4 días para lograr buena sedimentación.

El proceso biológico es dependiente de la temperatura. La temperatura no solo influye las actividades metabólicas de los microrganismos, sino que también tiene un efecto en la transferencia del aire y en las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

Filtro rociador o por goteo

El primer filtro se operó en Inglaterra a fines del siglo pasado. El concepto se originó por el uso de filtros de contacto, que consistían en tanques cubiertos con piedra fracturada. Se operaba llenando el lecho de contacto con aguas negras desde la parte superior, permitiendo que el líquido se pusiera en contacto con el medio durante un corto tiempo. Entonces se drenaba el lecho y se dejaba en reposo antes de repetir el ciclo. Un ciclo típico requería 12 horas con un reposo de 6 horas para regenerarlo. Las limitaciones del filtro de contacto incluían obturaciones frecuentes, la necesidad de un periodo prolongado para la recuperación, y la carga relativamente baja que podría usarse.

Para evitar estas limitaciones se diseñó el filtro rociador o por goteo, donde las aguas negras se rocían sobre un lecho de piedra y se permite que - escurran a través del lecho. El filtro lo forma un lecho de un medio altamente permeable en el cual los microrganismos se adhieren y a través del cual - se percola el desecho líquido. En la zona inferior se tiene un sistema de -

bajo drenes para colectar el desecho tratado, a la vez que sirve para circular el aire.

La meteria orgánica presente en las aguas residuales se degrada por una población de microrganismos que está adherida al medio filtrante. La materia se adsorbe sobre la película biológica. En las porciones exteriores de la película la materia orgánica es degradada por microrganismos aerobios. Al crecer los microrganismos, se incrementa el espesor de película y el oxígeno que se difunde se consume antes de que pueda penetrar el espesor de la película. Debido a esto, se crea un ambiente anaerobio cerca de la superficie del lecho.

En la fase final de crecimiento los microrganismos, pierden su habilidad para adherirse a la superficie del lecho y entonces el líquido que pasa lava la capa biológica, iniciandose el crecimiento de una nueva.

Como en el proceso de lodos activados, la unidad de sedimentación es una parte IMPORTANTE DE ESTE PROCESO. Se requiere para remover los sólidos que se han desprendido de la superficie del lecho. En este proceso se puede emplear recirculación de los sólidos sedimentados, desechando el remanente, aunque en este proceso la recirculación no es tan importante como en el de lodos activados. El principal objetivo de la recirculación es la de díluir desechos concentrados y llevar el efluente de vuelta a estar en contacto con la población biológica para un tratamiento más completo.

Otros procesos

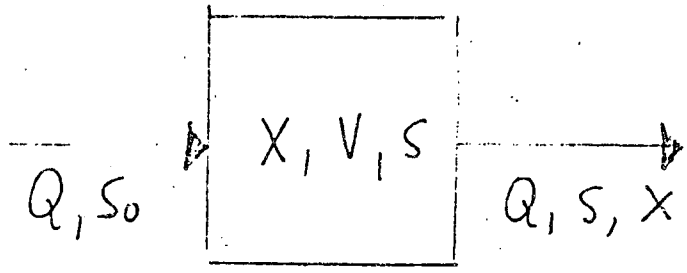
Incluyen lagunas aeradas, lagunas de estabilización y zanjas de oxidación. En las lagunas aeradas, se emplea aeración mecánica para suministrar el oxígeno a las bacterias, siendo el proceso similar al de lodos activados, pero sin recirculación. En las lagunas de estabilización, el oxígeno se suministra por aeración natural de superficie y por fotosíntesis de las algas. Excepto por la población de algas, la comunidad biológica presente en las lagunas es similar a la que se presenta en el proceso de lodos activados. El oxígeno liberado por las algas a través del proceso de fotosíntesis es utilizado por las bacterias en la degradación aerobia de la materia orgánica. A su vez, los nutrientes y el bióxido de carbono liberado en la degradación los utilizan las algas.

Donde se tienen sistemas de aeración, no son muy significantes las al-

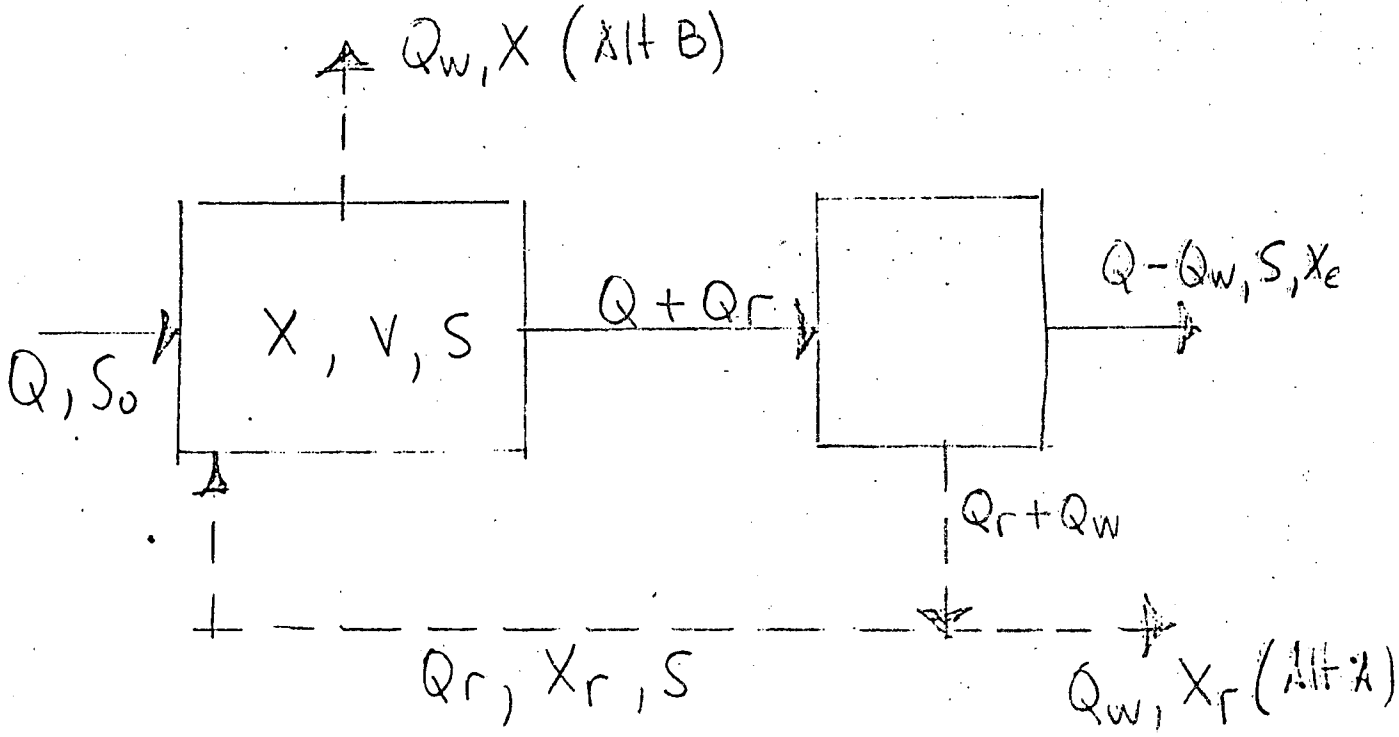
gas. Los sitemas de aeración también sirven para mezclar los contenidos de las lagunas y evitar la sedimentación de sólidos suspendidos que podría provocar una capa de lodo anaeróbica en el fondo.

La zanja de oxidación se desarrolló para tratar pequeños caudales de ciudades de Holanda. Se trata de un proceso de aeración extendida (opera en la fase de decaimiento de la cueva de crecimiento de los microrganismos, donde se requiere una carga orgánica relativamente baja). La zanja consiste de un canal de forma anular de baja profundidad. Atravesando el canal se instala un rotor mecánico para proporcionar aeración y circulación. El sistema puede operar en forma intermitente o continua.

FIG 7.1

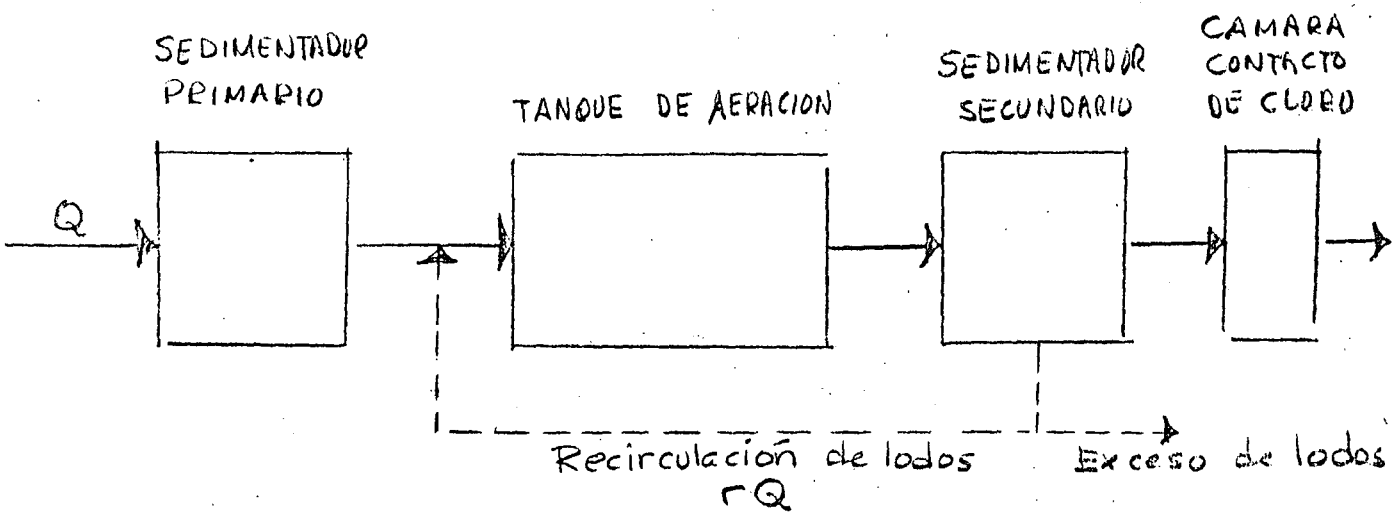


REACTOR MEZCLADO SIN RECIRCULACION

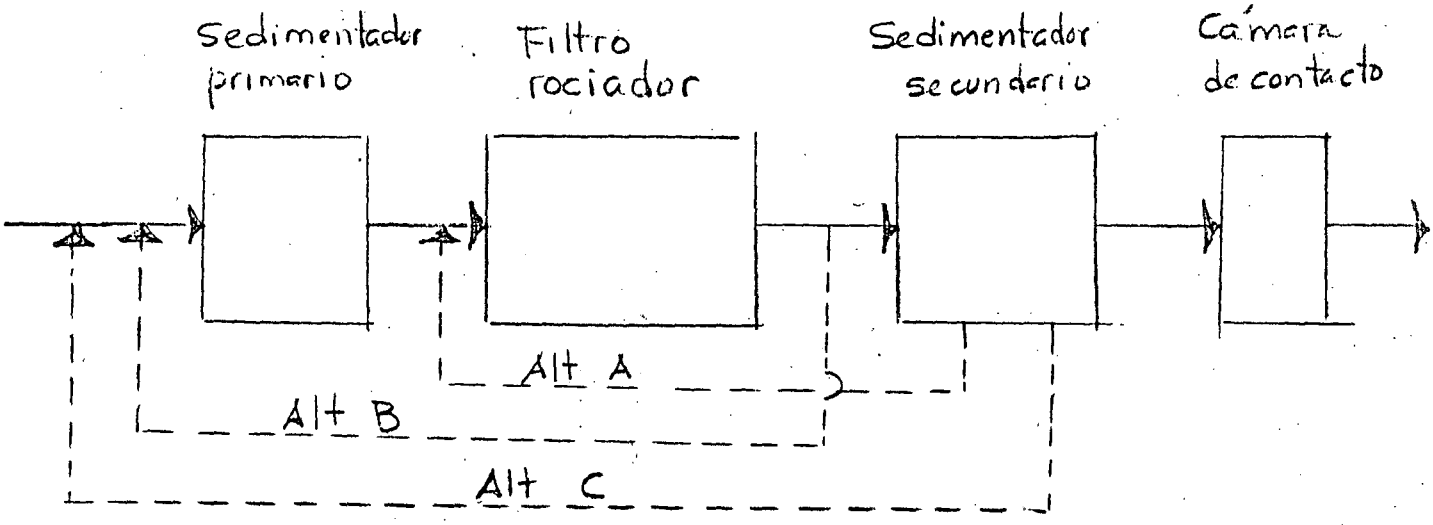


REACTOR MEZCLADO CON RECIRCULACION

FIG 7.2

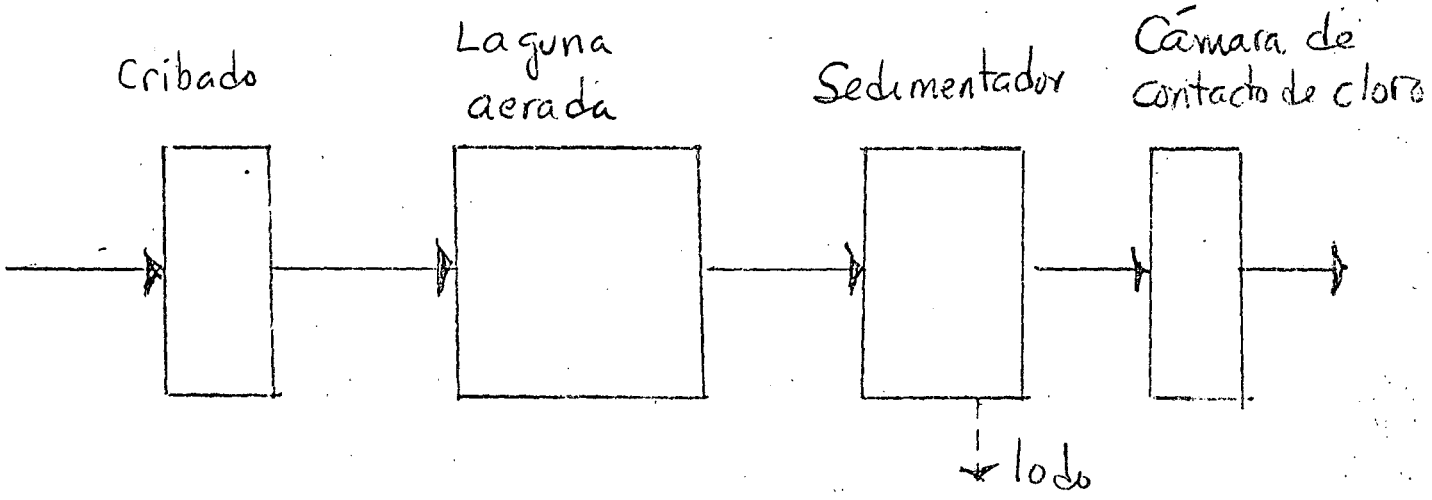


Planta de lodos activados (convencional)

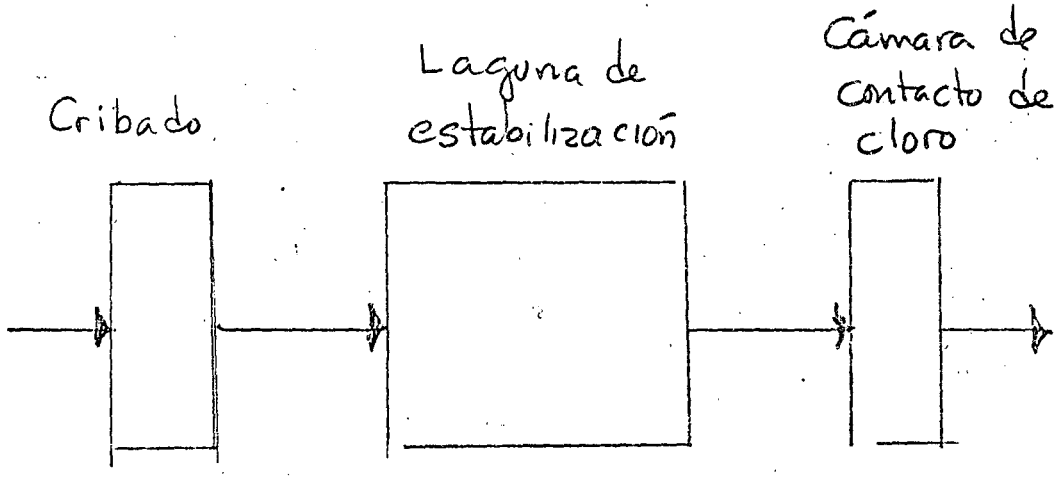


Planta de filtros rociadores
(Tres alternativas de recirculación de lodos)

FIG 7.3



LAGUNAS AERADAS



LAGUNAS DE ESTABILIZACION

TRATAMIENTO SECUNDARIO

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

PRINCIPALES CRITERIOS Y NORMAS PARA LA OPERACION Y MANTENIMIENTO DEL TRATAMIENTO PREPARATORIO Y SEDIMENTACION.

ING. GASTON MENDOZA GAMEZ

SEPTIEMBRE DE 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

TABLA 6.2.1

EFICIENCIAS TIPICAS DE LA SEDIMENTACION PRIMARIA

	Eficiencia de remoción esperada, en %
Sólidos sedimentables	90 - 95
Sólidos suspendidos	40 - 60
Sólidos totales	10 - 15
Demanda bioquímica de oxígeno	25 - 35
Bacterias	25 - 75

CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTADORES PRIMARIOS

- Carga superficial, en $m^3/dia - m^2$

Suspensión	Gama	Flujo pico
Aguas residuales crudas	24-48	48
Flóculo de aluminio	16-24	24
Flóculo de hierro	22-32	32
Flóculo de cal	22-48	48

- Tiempo de retención : 60 a 180 min

Menores tiempos cuando se tiene tratamiento secundario

- Gasto de derrame por vertedores : 120 - 240 $m^3/d - m$

TABLA 6.2.1 (CONT)

CARACTERISTICAS DE LOS SEDIMENTADORES SECUNDARIOS

- Carga superficial 12 - 48 $m^3/día - m^2$
- Tiempo de retención 60 - 120 min
- Gasto de derrame por vertedores 60 - 180 $m^3/d - m$

TABLA 6.2.2 CARACTERISTICAS DE LODOS PRODUCIDOS POR SEDIMENTACION SIMPLE

Parámetro	Descripción	Observaciones
Textura física	No uniforme, grumoso	
Color	Café	Tintes industriales pueden colorearlos, o ser grises o negros si se hacen sépticos
Densidad	Contenido de sólidos promedio de 3 a 8 %	Buena calidad para espesarlos con 5 a 7 %
Olor	Usualmente ofensivo ("terroso" o "musgoso")	Poco olor en presencia de desechos con sales metálicas
Materia volátil	Gama promedio: 70 a 80 porciento de sólidos totales secos	Ocasionalmente puede variar entre 60 y 85 %
pH	Gama usual de 5.5 a 6.5	Afectado por desechos industriales y septicidad del lodo
Alcalinidad total	Gama de 300 a 1000 ppm Usual: 500 a 800 ppm	
Sólidos minerales	Aprox. 30 % de los sólidos totales secos	Si se tiene mucho más de 30%, se puede sospechar presencia de arena
Septicidad	Usualmente no séptico	Septicidad si (a) aguas residuales sépticas, (b) retención prolongada en tanques o (c) pobre calidad del licor derramado de digestores

TABLA 6.2.1 (CONTINUACION)

Parámetro	Descripción	Observaciones
· Volumen de lodos	0.52 a 5.2 l por m^3 de desechos tratados Promedio: 1.85 a 2.6	Los volúmenes altos indican un lodo muy delgado o presencia de desechos industriales Los volúmenes bajos indican residuos débiles, baja eficiencia de tanques o acumulación de lodo en los tanques
· Digestibilidad	Normalmente de fácil digestión	Sólidos no digeribles indican desechos industriales como sales metálicas o materia fibrosa
· Contenido de grasa	Normalmente de 10 a 20 mg/l	Cifras apreciablemente mayores indican desechos industriales como aceites o lavados de lana

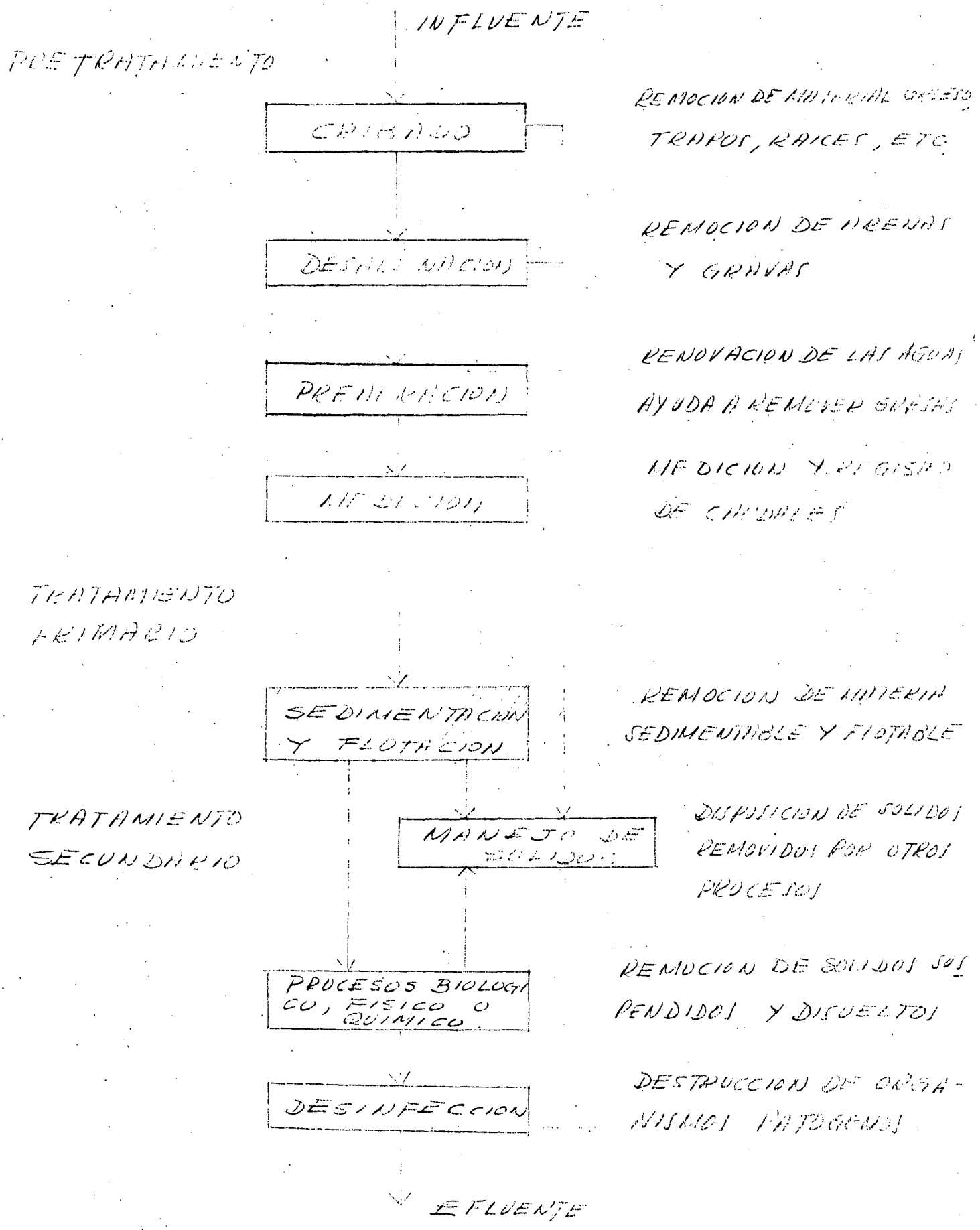

INFLUENTE
PRETRATAMIENTO
CRIBADO
REMOCION DE MATERIAL GRUESO
TRAPOS, RAICES, ETC
DESARENACION
REMOCION DE ARENAS
Y GRAVAS
PREAIREACION
RENOVACION DE LAS AGUAS
AYUDA A REMOVER GRASAS
MEDICION
MEDICION Y REGISTRO
DE CAUDALES
TRATAMIENTO
PRIMARIO
SEDIMENTACION
Y FLOTACION
REMOCION DE MATERIA
SEDIMENTABLE Y FLOTABLE
TRATAMIENTO
SECUNDARIO
MANEJO DE
SOLIDOS
DISPOSICION DE SOLIDOS
REMOVIDOS POR OTROS
PROCESOS
PROCESOS BIOLOGI
CO, FISICO O
QUIMICO
REMOCION DE SOLIDOS SUS
PENDIDOS Y DISUELTOS
DESINFECCION
DESTRUCCION DE ORGA-
NISMOS PATOGENOS
EFLUENTE

FIG 6.2.1

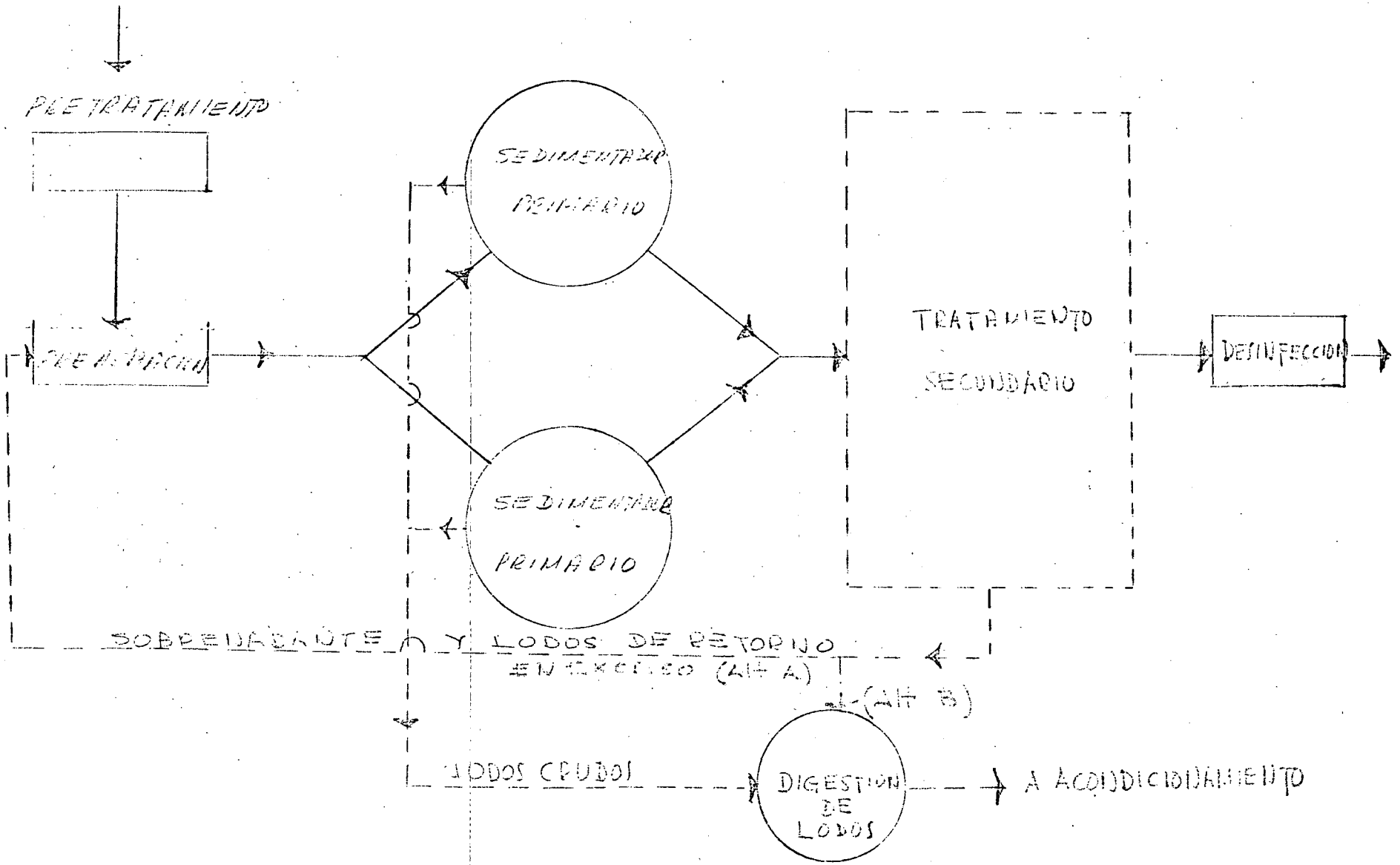


FIG 6.2.2 DIAGRAMA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO TÍPICO

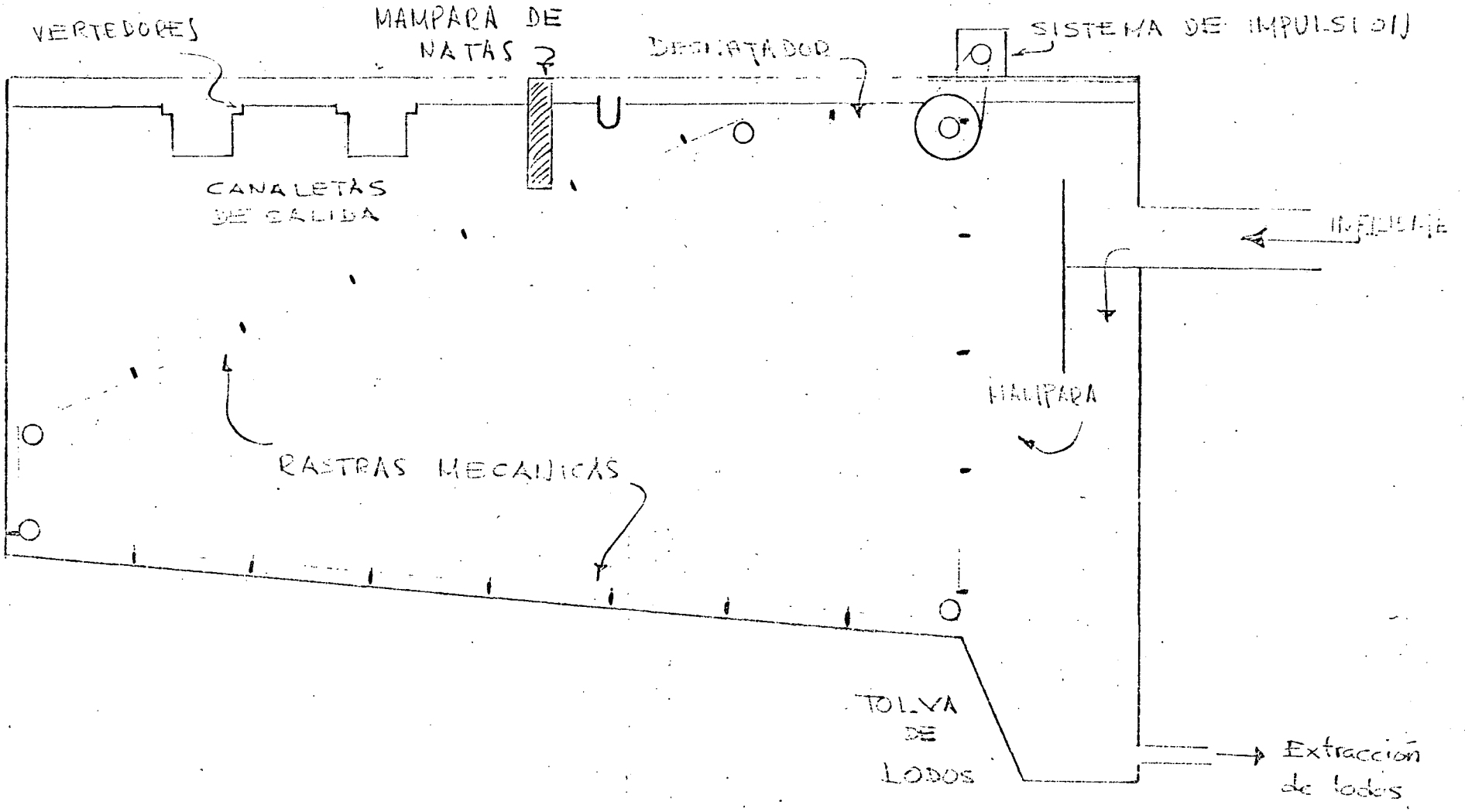


FIG 6.2.3 TANQUE RECTANGULAR DE SEDIMENTACION

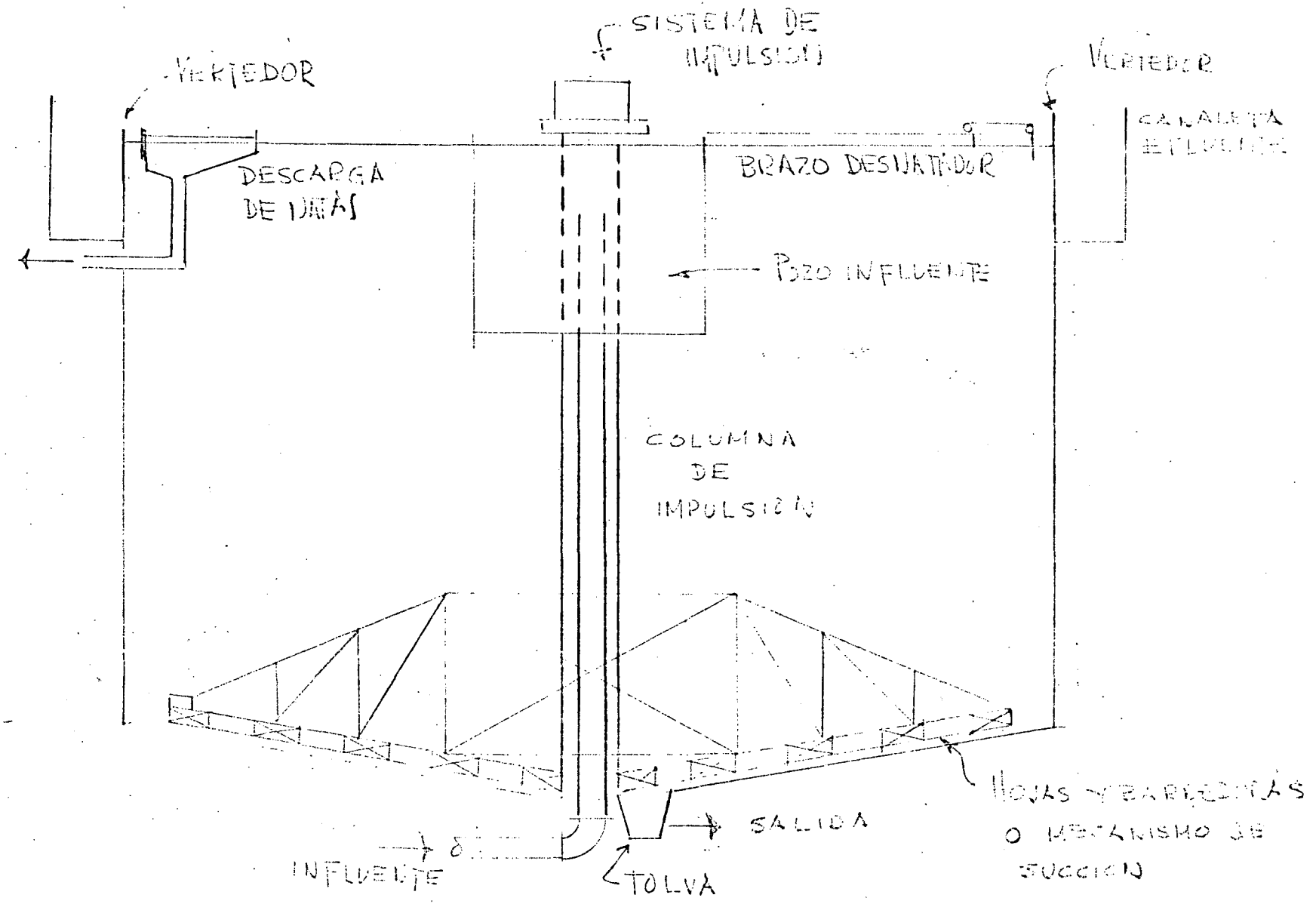


FIG 6.2.4 SEDIMENTADOR CIRCULAR

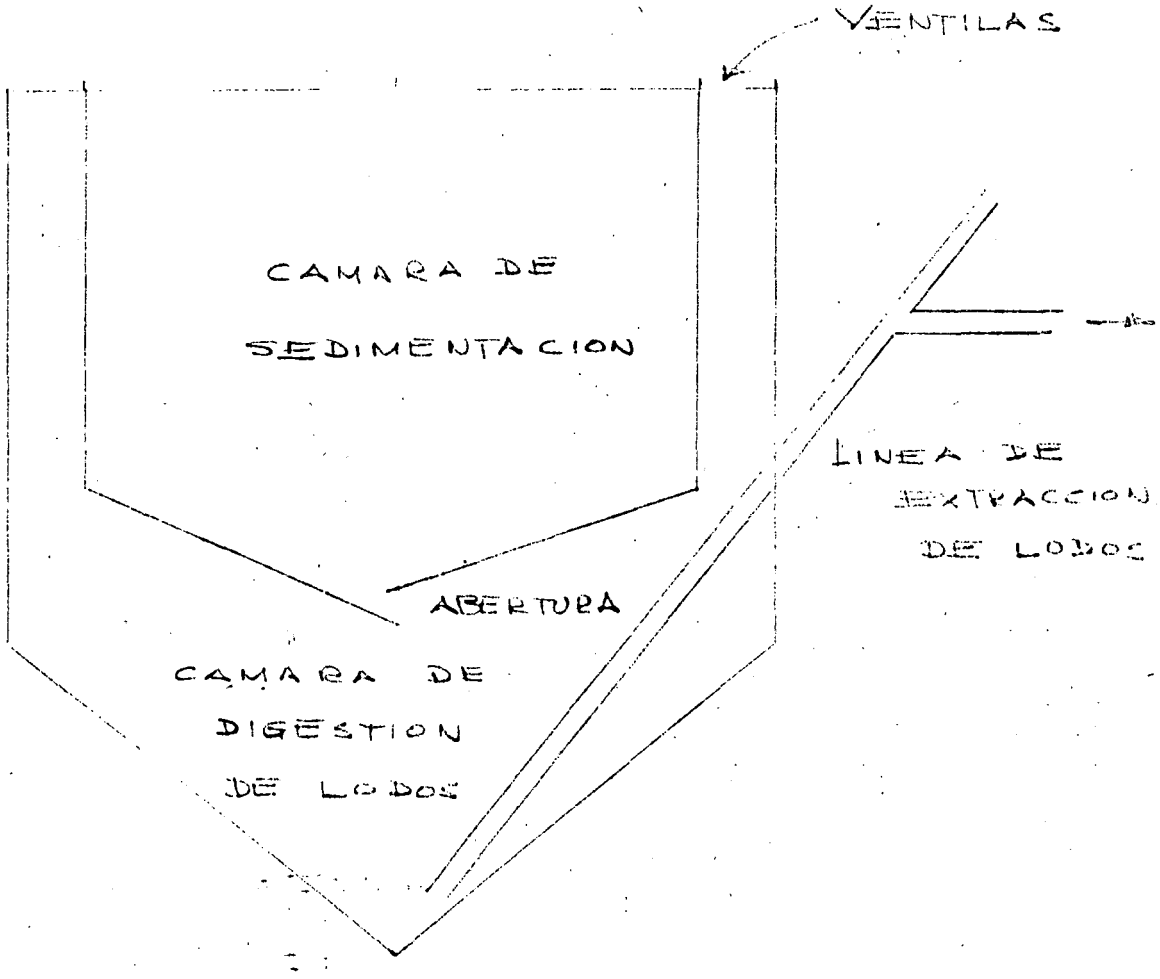


FIG 6.2.5 TANQUE IMHOFF

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

PRINCIPIOS GENERALES DE QUIMICA
(ANEXOS)

ING. FRANCISCO SUZAN C.

Septiembre de 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1, D. F.

Tabla 10

Gases peligrosos que se encuentran comúnmente en las alcantarillas y en las plantas de tratamiento de aguas negras *

Nombre del gas	Fórmula química	Densidad de los vapores. Peso específico** (Aire = 1)	Límites explosivos (Volumen por ciento en el aire)		Principales propiedades (Los porcentajes que se mencionan son porcentajes de volumen en el aire)	Efectos fisiológicos (Los porcentajes que se mencionan son porcentajes de volumen en el aire)	Procedencia más común	Método de análisis, seguro, sencillo y barato***
			Límite inferior	Límite superior				
Oxígeno (en el aire)	O_2	1.11	No inflamable		Gas incoloro, inodoro, insípido y no venenoso. Sostiene la combustión.	El aire contiene normalmente 20.93% de O_2. El hombre tolera una disminución hasta del 12%. Se estima que una disminución por abajo de 7-5% es fatal.	Agotamiento del oxígeno debido a ventilación insuficiente y absorción, o consumo químico del O_2 disponible.	Indicador de deficiencia de oxígeno.
Vapores de gasolina	Desde C_5H_{12} hasta $C_{11}H_{24}$	Desde 3.0 hasta 4.0	1.3	7.0	Incoloro, olor perceptible hasta en concentraciones de 0.03%. Inflamables. Explosivos.	De efectos anestésicos cuando se inhalan. Al 2.43% es rápidamente fatal. De 1.1 a 2.2% es peligroso aún durante corta exposición.	Fugas de tanques de almacenamiento, descargas de los garages y de operaciones domésticas o comerciales de lavado en seco.	1. Indicador de gases combustibles. 2. Indicador de deficiencia de oxígeno, para concentraciones mayores de 0.5%.
Monóxido de carbono	CO	0.97	12.5	74.2	Incoloro, inodoro, no irritante, insípido, inflamable. Explosivo.	La hemoglobina de la sangre tiene una gran afinidad por este gas, causándose la muerte por falta de oxígeno. Del 0.2 al 0.25% provoca la pérdida del conocimiento en 30 minutos.	Gas combustible elaborado.	Ampolletas de CO
Hidrógeno	H_2	0.07	4.0	74.2	Incoloro, inodoro, insípido, no venenoso, inflamable. Explosivo. Propaga las llamas rápidamente; muy peligroso	Actúa mecánicamente para desalojar el oxígeno de los tejidos. No sostiene la vida. Es un asfixiante simple.	Gas combustible elaborado.	Indicador de gases combustibles.
Metano	CH_4	0.55	5.0	15.0	Incoloro, insípido, inodoro, no venenoso, inflamable. Explosivo.	Consúltese hidrógeno.	Gas natural, gas de los pantanos, gas combustible elaborado, gas de alcantarilla.	1. Indicador de gases combustibles. 2. Indicador de deficiencia de oxígeno.
Ácido sulfhídrico	H_2S	1.19	4.3	46.0	Olor a huevos podridos, aun en pequeñas concentraciones, pero el sentido del olfato se embota rápidamente. El olor no es evidente a concentraciones altas. Incoloro, Inflamable. Explosivo. Venenoso.	Provoca la muerte en pocos minutos a 0.2%. Paraliza los centros respiratorios.	Hornos de petróleo, gases de alcantarillas.	Indicador de deficiencia de oxígeno.
Bióxido de carbono	CO_2	1.53	No inflamable		Incoloro, inodoro, no inflamable. No se presenta generalmente en cantidades peligrosas, a no ser que ya exista una deficiencia de oxígeno.	Al 10% no puede resistirse por más de unos cuantos minutos. Actúa sobre los centros nerviosos de la respiración.	Se desprende de los estratos carbonosos. Gas de alcantarillas.	Indicador de deficiencia de oxígeno.
Nitrógeno	N_2	0.97	No inflamable		Incoloro, insípido, inodoro. No inflamable. No venenoso. Principal constituyente del aire (cerca del 79%).	Consúltese hidrógeno.	Se desprende de algunos estratos de rocas. Gas de alcantarillas.	Indicador de deficiencia de oxígeno.
Etano	C_2H_6	1.05	3.1	15.0	Incoloro, insípido, inodoro, no venenoso. Inflamable, explosivo.	Consúltese hidrógeno.	Gas natural.	Indicador de gases combustibles.
Cloro	Cl_2	2.5	No inflamable No explosivo		Gas amarillo verdoso, o bajo presión, líquido de color ámbar. De olor fuertemente irritante y penetrante. Intensamente corrosivo en presencia de humedad.	Irritante respiratorio, irritante de los ojos y de las membranas mucosas. 30 ppm provocan accesos de tos. 40-60 ppm son peligrosas en 30 minutos. 1000 ppm pueden resultar fatales en pocas aspiraciones.	Fugas en conexiones de tubería. Dosificación excesiva.	Olor, amoníaco concentrado en atropa produce humos blancos.

* Ja Water and Sewage Works — Van Kleeck — Agosto de 1953.
** Los gases con densidad menor de 1.0 son más ligeros que el aire; los de más de 1.00 son más pesados que el aire.
*** El primer procedimiento que se menciona es el más indicado.

TABLA 11

DATOS BÁSICOS DE LOS ELEMENTOS Y RADICALES QUE SE PUEDEN ENCONTRAR EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS NEGRAS

	Símbolo	*Peso atómico*	*Valencia*	*Peso equivalente*
ELEMENTOS				
Aluminio	Al	26.98	+3	8.99
Calcio	Ca	40.08	+2	20.04
Carbono	C	12.01	+4	3.00
Cloro	Cl	35.46	−1	35.46
Cobre	Cu	63.54	+2	31.77
Hidrógeno	H	1.008	+1	1.008
Yodo	I	126.91	−1	126.91
Hierro	Fe	55.85	+3	18.62
Magnesio	Mg	24.32	+2	12.16
Manganeso	Mn	54.93	Varias	
Nitrógeno	N	14.01	Varias	
Oxígeno	O	16.00	−2	8.00
Potasio	K	39.10	+1	39.10
Sodio	Na	23.00	+1	23.00
Azufre	S	32.06	Varias	
RADICALES				
Hidroxilo	(OH)		−1	17.00
Nitrito	(NO_2)		−1	46.01
Nitrato	(NO_3)		−1	62.01
Sulfato	(SO_4)		−2	48.03
Carbonato	(CO_3)		−2	30.00
Bicarbonato	(HCO_3)		−1	61.01
Fosfato	(PO_4)		−3	31.66
Silicato	(SiO_3)		−2	38.05
Amonio	(NH_4)		+1	17.03

en el símbolo. Así H_2SO_4 significa que una molécula de ácido sulfúrico está compuesta por dos átomos de hidrógeno, un átomo de azufre y cuatro átomos de oxígeno. Cuando un grupo de átomos se encierra entre paréntesis y se emplea un subíndice, esto significa que en la molécula hay tantas veces ese grupo, como lo indica el valor del subíndice. Por ejemplo, $Fe_2(SO_4)_3$ significa que el sulfato de hierro contiene dos átomos de hierro y tres grupos sulfato, cada uno de los cuales consta de un átomo de azufre y cuatro átomos de oxígeno. Esto se hace porque ciertos elementos se combinan para formar grupos que reaccionan con otros elementos de manera similar a como lo hacen los elementos solos. El grupo se conoce con el nombre de radical y será estudiado más ampliamente al

tratar de las soluciones: consúltese la tabla 10. Otro tipo de grupos de símbolos es el que corresponde a aquellos casos de compuestos complejos que contienen moléculas completas de compuestos más sencillos, sin cambiar su naturaleza. Por ejemplo el sulfato de aluminio es $Al_2(SO_4)_3$; pero si se prepara cristalizándolo de su solución en agua, retendrá algunas moléculas de agua y su fórmula será $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$. Esto significa que por cada molécula de $Al_2(SO_4)_3$ presente en el compuesto, habrá también dieciocho moléculas de agua. Sin embargo, si el compuesto se calienta, el agua como tal, se expulsa del compuesto. Las fórmulas de los compuestos químicos más comunes, con sus nombres químico y vulgar, se dan más adelante en la tabla 12.

Ecuaciones. Usando estas fórmulas, es posible representar gráficamente los cambios químicos. En esta forma: $CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2CO_3$ significa que, cuando reaccionan o se combinan el carbonato de calcio y el ácido sulfúrico, se forman sulfato de calcio y ácido carbónico como productos de la reacción. Similarmente, cuando el hierro se enmohece, se combina con el oxígeno para formar óxido de hierro. Esto se representa por la siguiente ecuación $4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$. En todo caso, hay que tener en cuenta que una de las leyes de la química establece que la materia no puede crearse ni destruirse. En consecuencia, en cualquier transformación química debe haber el mismo número de átomos en las substancias producidas, que los que había en los compuestos originales. Por lo tanto, la reacción anterior debe estar "balanceada" para que pueda ser una "ecuación" que tenga el mismo número de átomos en cada lado. El óxido de hierro está formado por dos átomos de hierro y tres átomos de oxígeno; así pues, debe haber el mismo número de átomos reaccionando o combinándose; por lo que podríamos tratar de escribir la ecuación en la siguiente forma: $2Fe + 3O \rightarrow Fe_2O_3$, pero esto no puede hacerse porque sabemos que el gas oxígeno está formado por moléculas cuya fórmula es O_2. Entonces, para que la ecuación corresponda verdaderamente a los hechos, podemos multiplicar todo por dos, resultando: $4Fe + 3O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3$. Y así ya podemos afirmar que 4 átomos de hierro reaccionan con 3 moléculas de oxígeno, para producir 2 moléculas de óxido de hierro; y el número de átomos en cada lado de la ecuación será igual.

En los datos que aparecen en la tabla 11, encontramos que el peso atómico del hierro es 55.85 y el del oxígeno es 16.0; entonces, 4 átomos de hierro equivalen a $4 \times 55.85 = 223.40$; una molécula de oxígeno equivale a dos átomos o sea $2 \times 16.0 = 32.0$, que es el peso molecular del oxígeno y tres moléculas de oxígeno serán iguales a $3 \times 32.0 = 96.0$. Por otro lado, una molécula de óxido de hierro será igual a $2 \times 55.85 = 111.70$ que es el peso de dos átomos de hierro, más $3 \times 16.0 = 48.0$, el peso de tres átomos de oxígeno, o sea un total de 159.70. Dos moléculas de óxido de hierro serán: $2 \times 159.70 = 319.40$.

Los cálculos serán entonces:

All parts of the system usually are affected in varying degrees by different types of industrial wastes. With proper control of the industrial wastes, however, combined treatment offers significant financial and technological benefits to both the municipality and the industries involved, thus justifying the very widespread application of the combined treatment approach.[5]

Joint treatment of industrial and municipal wastewaters may be a desirable practice. Treatment of the combined wastewaters may benefit the environment, the municipality, and industry if

TABLE 29-I. Effects of Some Contaminants on Sewers and Waste Treatment Plants

Waste Characteristics	Problems Caused in Sewer System	Remedial Action	Problems Caused in Joint Treatment	Remedial Action
Oil, grease, and fat	Coating and clogging; reduction in sewer capacity as a result of grease build-up	Pretreatment, sewer cleaning	Interferes with biological activity in both trickling filter and activated sludge plants. Excessive scum; inhibits digestion	Gravity oil separation, dissolved air flotation
Acidity	Corrosion and disintegration of concrete and steel pipe	Neutralization, equalization	Corrosion of pumps and other plant equipment and structures upset biological organisms	Neutralization
Alkalinity	Corrosion of metal pipe, possible scaling	Neutralization, equalization	Reduced efficiency of activated sludge; possible unloading of trickling filters; disruption of the digestion process	Neutralization
Grit	Excessive wear on pump stations; accumulations may clog piping	Pretreatment, sewer cleaning	Overload municipal grit chambers; adds to sludge volumes; clogs pipes in settling tank; difficult to remove accumulations from digesters; reduces digester capacity	Installation of additional grit removing facilities
Coarse suspended matter	Obstruction of piping	Pretreatment utilizing screen and grit removal; cleaning of sewers	Overloads municipal treatment equipment	Frequent cleaning of screens and other preliminary treatment units
Heavy metals and toxic substances	In the presence of excess acidity or alkalinity, may produce poisonous gases	Pretreatment	Inhibits or upsets biological processes; heavy metals may accumulate in the sludge, causing additional sludge disposal problems	Identification; increase monitoring act; pretreatment using chemical addition
Excessive organic loadings	May create septic conditions in sewer lines resulting in the production of hydrogen sulfide gas, which corrodes concrete structures and is also lethal	Pretreatment; try to maintain aerobic conditions in sewer system; prechlorinate in lift stations	Creates excess organic load on treatment plant; reduces DO concentrations in the activated sludge process; produces ponding and anaerobic conditions on trickling filters	Prechlorination; increase capacity of aeration equipment; control pH
Flammable and explosive substances	Fires, explosions; noxious vapors, create safety hazards for sewer maintenance personnel	Prevent discharge into sewer; monitoring; use of safety equipment	Fires, explosions; may inhibit or destroy biological organisms	Monitoring of influent

TABLE 29-III. Some Industrial Wastewater Characteristics

Industry	Flow	BOD	TSS	COD	pH	Grit	Nitrogen	Phosphorus	Heavy Metals	Chlorine Demand
Meat Products	Intermittent	High-extremely high	High	High-extremely high	Neutral	Absent	Present	Present	Absent	High
Dairy Products:										
Milk handling and milk products	Intermittent	Average-high	Low-average	Average-high	Acid-alkaline	Present	Adequate	Present	Absent	High
Natural and cottage cheese products	Intermittent	Extremely high	Average-extremely high	Extremely high	Acid-alkaline	Present	Deficient	Present	Absent	High
Beverages:										
Malt beverages and distilled spirits	Intermittent to continuous	High	Low-high	High	Acid-neutral	Present	Deficient	Deficient	Absent	No data
Wine and brandy	Intermittent	High-extremely high	Low-high	High-extremely high	Acid-alkaline	Present	Deficient	Deficient	Absent	No data
Soft drinks bottling	Intermittent	Average-high	Low-high	Average-high	Alkaline	Present	Deficient	Deficient	Absent	No data
Textile:										
Wool	Intermittent to continuous	High	High	High	Alkaline	Present	Deficient	Present	Present	High
Cotton and synthetics	Continuous	Average-high	Low-average	Average-high	Alkaline	Absent	Deficient	Present	Present	High
Leather tanning and finishing:										
Chrome tanning	Intermittent	Extremely high	Extremely high	Extremely high	Acid-alkaline	Present	Adequate	Deficient	Present	High
Vegetable tanning	Intermittent	Extremely high	Extremely high	Extremely high	Acid-alkaline	Present	Adequate	Deficient	Absent	High
Petroleum refining	Continuous	Average	Low	High	Acid-alkaline	Present	Adequate	Deficient	Present	High
Metal finishing	Continuous-Variable	Low	Average-high	Low	Acidic	Present	Present	Present	High	High
Fruit and vegetables	Intermittent	Average-extremely high	Average-extremely high	—	Acid-alkaline	Present	Deficient	Deficient	Absent	Average-high
Paper and allied products:										
Mechanical pulping	Continuous	Extremely high	High	High	Neutral	Present	Deficient	Deficient	Absent	High
Chemical pulping (unbleached)	Continuous	Average-extremely high	Low-high	High	Acid-alkaline	Present	Deficient	Deficient	Present	High
Chemical pulping (bleached)		Average-extremely high	Low-high	High	Acidic	Present	Deficient	Deficient	Present	High

TABLE 29-IV. Some Typical Industrial Pretreatment Schemes

Industrial Waste	Flow Characteristics	Normal Contaminants	Typical Pretreatment
Meat products	Intermittent	BOD, COD, TSS, TDS, chlorine demand, color, coliforms, oil and grease, organic nitrogen	Screening, oil and grease removal, equalization
Dairy products:			
Milk handling and milk products	Intermittent-continuous	BOD, TDS, COD, grit, chlorine demand, alkalinity, color, turbidity, detergents, coliform	Oil and grease removal, equalization and neutralization
Natural and cottage cheese products	Intermittent	BOD, COD, TSS, grit, alkalinity, color, detergents, foaming, coliform	Oil and grease removal, equalization and neutralization
Beverages:			
Malt beverages and distilled spirits	Intermittent-continuous	BOD, COD, TSS, grit, acidity, alkalinity	Grit removal, coarse solids separation, equalization, neutralization
Wine and brandy	Intermittent-continuous	BOD, COD, TSS, grit, nutrient deficiency	Grit removal, coarse solids separation, equalization, neutralization
Soft drinks bottling	Intermittent-continuous	Grit, alkalinity	Grit removal and neutralization
Textile:			
Wool	Intermittent-continuous	BOD, COD, TSS, TDS, grit, chlorine demand, alkalinity, color, detergents, heavy metals, phosphorus, oil and grease, coliform	Coarse solids separation, oil and grease removal, chemical precipitation, equalization, neutralization
Cotton and synthetics	Intermittent-continuous	BOD, COD, TSS, TDS, chlorine demand, alkalinity, color, detergents, heavy metals, phosphorus	Coarse solids separation, chemical precipitation of heavy metals and color, equalization, neutralization
Leather tanning:			
Chrome tanning and finishing	Intermittent	BOD, COD, TSS, TDS, grit acidity/alkalinity, heavy metals, oil and grease	Grit removal, equalization, chemical precipitation, solids separation, neutralization
Vegetable tanning	Intermittent	BOD, COD, TSS, TDS, grit, oil and grease, acidity/alkalinity	Coarse solids separation, grit removal, equalization, neutralization
Petroleum refining	Continuous	BOD, COD, TDS, grit, heavy metals, oil and grease, phenol, sulfides	Oil separation, equalization, chemical coagulation, dissolved air flotation
Metal finishing	Intermittent-continuous	TDS, cyanide, ammonia, hexavalent chromium, heavy metals, acidity/alkalinity	Equalization, neutralization, cyanide removal, chromium reduction, chemical precipitation, solids separation
Fruit and vegetable	Intermittent	BOD, COD, TSS, TDS, grit, color, detergents, acidity/alkalinity	Grit removal, coarse solids separation, neutralization
Pulp and paper	Mechanical pulping, continuous	BOD, COD, TSS, grit, chlorine demand, heavy metals, acidity, coliform	Grit removal, coarse solids separation, neutralization
Chemical pulping (unbleached)	Continuous	BOD, COD, TSS, TDS, grit, heavy metals, color, coliform	Grit removal, coarse solids separation, neutralization
Chemical pulping (bleached)	Continuous	BOD, COD, TSS, TDS, grit, chlorine demand, acidity, heavy metals, color, coliform	Grit removal, coarse solids separation, neutralization

APPENDIX III
SIMPLIFIED LABORATORY PROCEDURES FOR WASTEWATER EXAMINATION

This appendix is a simplified guide for use by operators of small wastewater treatment plants to establish operational plant control. It is to be used in conjunction with other information[1] to assure proper general laboratory procedures, analysis, data recording, and general laboratory supplies. As the simplified techniques are mastered, the operator then must read the details as given in "Standard Methods"[2,3] to be aware of possible pitfalls and interferences. Simplified methods for the examination of industrial wastes are not recommended and are not included in this presentation.

For cases in which effluent quality standards have been established, such as those set by the federal government under the National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES) for a specific wastewater treatment facility, such standards must be followed. The effluent quality standards, tests to be performed, frequency of testing, and acceptable method of sampling to be used are delineated in the discharge permit. The tests required for effluent monitoring should be accomplished in accordance with federal requirements.

Physical and Chemical Examination

Settleable Matter

This simple test may be made to show quickly, visibly, and qualitatively if the primary and secondary processes are functioning properly. The volume of settleable solids in the raw waste and effluents is seen readily, and the turbidity removal caused by the secondary purification processes is evident immediately to the eye. The results are not quantitative but are very illuminating to both the untrained and trained operator.

Apparatus

An Imhoff cone, made either of Pyrex glass or clear plastic material, a cone support, and a long glass stirring rod.

Procedure

1. Fill the Imhoff cone to the 1-l mark with a well-mixed sample.
2. Settle for 45 min and then gently stir the sample with the glass rod to dislodge suspended matter clinging to the tapered sides of the cone.
3. Settle 15 min longer, then read the volume of settleable matter in milliliters per liter.

Reference in "Standard Methods"

See page 95 of the 14th edition.

pH

It has been said that pH is a numerical expression of the intensity of acidity or basicity. The numbers 1 to 14 are used to express pH values. The pH value of 7.0, halfway between 1 and 14, is the neutral point at 25°C. A solution having a pH of 7.0 is neither acid or basic. Numbers below 7.0 denote acidity, the intensity of acidity increasing as the numbers become smaller; numbers between 7.0 and 14.0 denote basicity, the intensity increasing as the numbers increase.

The pH of wastewater is normally near 7.0. Sudden changes of pH values of wastewater may be indicative of illegal discharges of acid or alkaline industrial waste into the wastewater system. These discharges are often damaging to the sewer lines, treatment facilities, and biological treatment methods such as activated sludge or the trickling filter process.

pH may be measured either colorimetrically or electrometrically. The colorimetric method requires a less expensive investment in equipment but suffers from severe interference contributed by color, turbidity, high saline content, colloidal matter, free chlorine, and various oxidants and reductants. The indicators are subject to deterioration, as are the color standards with which they are compared. Moreover, no single indicator encompasses the pH range of interest in water and wastewater. In poorly buffered liquids—a description applicable to some waters—the indicators themselves may alter the pH of the sample that they are expected to measure unless they are preadjusted to nearly the same pH as the sample. For these reasons, the colorimetric method is suitable only for rough estimation and will not be described. The electrometric method is considered preferable and is the only method accepted by NPDES.

Apparatus

pH meter, calomel and glass electrodes, beakers.

Reagents

Buffer tablets of various pH values.

Procedure

Because of the differences between the many makes and models of pH meters that are available commercially, it is impossible to provide detailed instructions for the correct operation of every instrument. In each case, the manufacturers instructions must be followed. The electrodes are wetted thoroughly and prepared for use in accordance with the instruction given. The instrument is standardized against a buffer solution with a pH approaching that of the sample, and then the linearity of the electrode response may be checked against at least one additional buffer of a different pH. The readings with the additional buffers will afford a rough idea of the limits of accuracy to be expected from the instrument and the technique of operation. After standardization, the electrodes are to be washed carefully with distilled water from a wash bottle and wiped with soft tissue. Because wastewaters may contain oils, greases, and fats, the electrodes may need occasional cleaning by wiping with solvents or detergents. The electrodes are delicate instruments and must be handled carefully. Always keep the electrodes immersed in distilled water when not in use.

Reference in "Standard Methods"

See page 460 of the 14th edition.

Acidity

Drainage from swampy areas often contains organic acids, as do some streams receiving mine drainage industrial wastes. Because most public water supplies are neutral or basic, the presence of low pH with moderate acidity generally indicates the discharge of acidic industrial wastes into the sewers.

Apparatus

Twenty-five-ml buret, assorted pipets, flasks, graduated cylinders, glass rods, and bottles as needed and a 1-l volumetric flask.

Reagents

1. Sodium hydroxide (NaOH), 1 *N*. Dissolve 40.0 g NaOH in distilled water and make up to 1 l with distilled water.

2. Sodium hydroxide, 0.02 *N*. Dilute 20.0 ml of 1 *N* NaOH with distilled water to 1 l in a volumetric flask.

3. Phenolphthalein indicator. Dissolve 5 g phenolphthalein in 500 ml isopropyl alcohol, and add 500 ml distilled water. Add 0.02 *N* sodium hydroxide dropwise until a faint pink color appears.

Procedure

1. Measure 100 ml of sample, using a graduated cylinder. Transfer the sample to a 250-ml Erlenmeyer flask.

2. Add three drops of phenophthalein.

3. Add 0.02 *N* sodium hyroxide from a buret with constant swirling of the flask contents above a white surface until a pink color appears and lasts for at least 3 s. If there is a lasting pink color on adding the indicator before the addition of sodium hydroxide, there is no acidity.

Calculations

The total acidity is expressed in terms of the amount of $CaCO_3$ needed to neutralize the sample:

$$\text{Total acidity, as mg/l } CaCO_3 = \frac{\text{ml of 0.02 } N \text{ NaOH} \times 1{,}000}{\text{ml of original sample}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 273 of the 14th edition.

Acidity Test for Sludge

The test measures the acidity that may be caused by the presence of uncombined carbon dioxide, organic acids such as the volatile acids, or industrial wastes. This information may be valuable in the control of sludge digestion and other sludge conditioning practices. A titration procedure is used, making use of a pH meter for determining the end point.

Apparatus

pH meter; 25-ml buret; assorted glass rods, beakers, and graduated cylinders as needed.

Reagents

Sodium hydroxide, 0.05 *N*. Dilute 50 ml of 1 *N* sodium hydroxide with distilled water to 1 l.

Procedures

1. Measure 50 ml of wastewater or supernatant liquor (at room temperature) into a beaker.

2. Insert electrodes of pH meter, and measure pH (the pH meter should be standardized according to the manufacturer's directions before using).

3. With careful stirring to minimize loss of CO_2, add 0.05 *N* NaOH from a buret until the pH is 8.3.

4. Record the number of milliliters of hydroxide used.

Calculations

Acidity, as mg/l $CaCO_3$ =

$$\frac{\text{ml of 0.05 } N \text{ NaOH} \times 2{,}500}{\text{ml of original sample}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 273 of the 14th edition.

Determination of Volatile Acids in Wastewater Sludge

If an aqueous sample containing volatile acids is absorbed on a silicic acid column and an organic solvent is passed through the column, the volatile acids will be extracted from the aqueous sample. The extracted acids then may be determined by titration with a base dissolved in methyl alcohol.

The volatile acids test measures the acid content in sludge. The test measures the organic fatty acids that are present. This information is valuable to maintain digester control. If the acid content of a digester increases and continues to build up, this test will detect a condition of acid fermentation quickly.

Apparatus

Centrifuge or filtering apparatus, fritted glass filtering crucible (30-ml capacity) with 4.5-in. (114 mm) glass extention, vacuum filter flask with rubber adapter, buret with 0.01-ml graduations.

Reagents

1. Silicic acid specially prepared for chromatography. The silicic acid must be dried at 103°C.

2. Thymol blue indicator solution. Dissolve 0.08 g of thymol blue in 100 ml of absolute methanol (absolute methyl alcohol).

3. Sulfuric acid, 10 *N*. Cautiously and slowly add 280 ml of concentrated H_2SO_4 to approximately 600 ml of distilled water while stirring. Cool, then dilute to 1 l.

4. Sulfuric acid, 0.5 *N*. Dilute 50 ml from Step 3 above to 1 l.

5. Standard sulfuric acid solution, 0.05 *N*. Dilute 10 ml from Step 4 above to 100 ml.

6. Chloroform butyl alcohol reagent CB_{25}. Mix 100 ml of *N* butanol with 300 ml of chloroform and shake with about 80 ml of 0.5 *N* H_2SO_4 in a separatory funnel. After shaking, allow the water layer to separate from the organic layer and drain off the lower organic layer through a filter paper into a dry bottle.

7. Phenolphthalein indicator solution. Dissolve 0.08 g of phenolphthalein in 100 ml of absolute methanol.

8. 0.02 *N* sodium hydroxide in methanol. Dilute 2.0 ml of 1 *N* NaOH to 100 ml in absolute methyl alcohol.

Procedure

1. Centrifuge or vacuum filter about 50 ml of sludge.

2. Place 10 g of silicic acid in a fritted glass crucible fitted in a filtering flask. Pack the silicic acid by applying suction to the flask.

3. Collect sludge supernatant from Step 1 in a small beaker. Discard residue.

4. Add a few drops of thymol blue indicator to supernatant.

5. Add 10 *N* H_2SO_4 dropwise until sample just turns red.

6. Place 5 ml of the acidified sample (from Step 5 above) in the silicic acid crucible. Gently draw the sample into the silicic acid by applying suction to the filtering flask. Release suction as soon as the sample is drawn completely into the silicic acid. Discard the filtrate. Rinse flask thoroughly.

7. Quickly add 50 ml of chloroform-butanol reagent to the crucible and apply suction until just before the last of the reagent enters the column. Add a few drops of phenolphthalein solution to the acids in the filtering flask.

8. While stirring, add from a buret 0.02 *N* NaOH in absolute methanol to the solution in the flask until the pink color of the indicator solution first appears and record as "a."

9. Prepare a blank composed of 5.0 ml acidified (H_2SO_4) distilled water, place on column, extract with 65 ml of CB_{25}, and titrate in a similar manner. Record as "b."

Calculations

Total volatile acids, as milligrams per liter of acetic acid $= \dfrac{1{,}200(a-b)}{\text{ml sample}}$

in which a = results of titration in milliliters (Step 8) and b = results of titration in milliliters (Step 9).

Reference in "Standard Methods"

See page 527 of the 14th edition.

Alkalinity of Wastewater and Sludge

The presence of abnormally high alkalinity in wastewater may be indicative of the presence of alkaline industrial waste. The determination of the alkalinity levels at various points in a treatment plant is an aid to the proper understanding and interpretation of the treatment process and to the management of digesters and sludge elutriation as well as sludge conditioning before vacuum filtration.

Apparatus

Twenty-five-ml buret, 250-ml Erlenmeyer flask, a white surface such as a 4-x4-in. (100 x 100 mm) white tile, assorted beakers, graduated cylinders, volumetric flasks, and bottles as needed.

Reagents

Sulfuric acid, 0.02 *N*. To a graduated cylinder or volumetric flask containing 300 ml of distilled water (freshly boiled and cooled), add 3 ml of concentrated sulfuric acid and dilute to 1 l with boiled distilled water. Further dilute 200 ml of this acid solution to 1 l with freshly boiled and cooled distilled water. Standardize against 0.02 *N* sodium carbonate (see Step 2).

2. Sodium carbonate, 0.02 *N*. Dissolve 1.060 g anhydrous sodium carbonate (Na_2CO_3) in freshly boiled and cooled distilled water and make up to 1 l with distilled water.

3. Phenolphthalein indicator. (See "Acidity" test).

4. Methyl orange indicator. Dissolve 0.5 mg methyl orange in 1 l of distilled water.

Procedure

1. Place 100 ml of sample, or smaller quantity diluted to 100 ml with distilled water, in an Erlenmeyer flask. With digested sludges, use 50 ml of supernatant liquor from above a settled sample.

2. Add two drops of phenolphthalein.

3. Add 0.02 *N* sulfuric acid from a buret with constant swirling of the flask contents above a white surface until the original pink color just disappears. If there is no pink color after the phenolphthalein is added, record the phenolphthalein alkalinity as 0.0 ml and go directly to the next step.

4. Add two drops of methyl orange indicator to the flask contents and continue adding acid from the buret until the color of the flask contents just turns faintly pink.

Calculations

$$\text{mg/l phenolphthalein alkalinity as } CaCO_3 = \frac{\text{ml } 0.02\ N\ H_2SO_4 \times 1{,}000}{\text{ml original sample}}$$

$$\text{mg/l total alkalinity as } CaCO_3 = \frac{\text{total ml } 0.02\ N\ H_2SO_4 \times 1{,}000}{\text{ml original sample}}$$

If color or turbidity interfere in detecting the end points, it is better to measure a 50-ml sample into a 100-ml graduated cylinder and carry on the above titrations by using a plunger-type stirrer.

Reference in "Standard Methods"

See page 278 of the 14th edition.

Suspended Matter

Wastewater suspended matter, formerly called suspended solids, may be determined by filtering a sample through a glass fiber filter disk. The residue retained in the filter is dried to constant weight at 103°C.

The suspended matter determination is extremely valuable in the analysis of wastewater. It is one of the major parameters used to evaluate the strength of wastewaters. The suspended matter test gives a measure of the solids load carried in and out of the various treatment processes and may be used as one of the parameters for measuring the efficiency of the treatment.

Apparatus

Filter apparatus, vacuum pump or aspirator; vacuum flasks, approximately 500 ml; drying oven, 103°C; muffle furnace, controlled at 500°C; analytical balance; glass fiber disks; desiccator.

Procedure

1. Place a glass fiber disk, rough side up, in a filter container and place in filter apparatus.

2. Wet the disk thoroughly three successive times with 20 ml portions of distilled water while applying gentle vacuum.

3. Dry the filter container and contained disk at 103°C for 1 h or, if volatile solids are to be determined, ignite container and disk at 550°C for 20 min. Cool in a desiccator to room temperature and then weigh the container and disk (W_1) immediately before use.

4. Depending on the suspended matter content, measure out a 25-, 50-, or 100-ml portion of a well-mixed sample into a graduated cylinder. Filter the measured volume of sample through the disk by using a vacuum of at least 15 in. (380 mm) of mercury, dry the container and disk at 103°C for 1 h, cool in a desiccator to room temperature, and then weigh (W_2).

5. If VS are to be determined, place the weighed container and disk (from Step 4) in a muffle furnace at 550°C for 20 min, cool in a desiccator to room temperature, and weigh (W_3). Record the loss of weight caused by volatization ($W_2 - W_3$).

Calculations

$$\text{mg/l total suspended matter} = \frac{\text{mg suspended matter } (W_2 - W_1) \times 1{,}000}{\text{ml of stample}}$$

$$\text{mg/l VS} = \frac{\text{mg loss of weight } (W_2 - W_3) \times 1{,}000}{\text{ml of sample}}$$

$$\%\ \text{VS} = \frac{\text{mg/l VS} \times 100}{\text{mg l total suspended matter}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 94 of the 14th edition.

Volatile and Fixed Residue in Sludge

Volatile and fixed solids in sludge are determined by evaporating a weighted sample on a steam bath. Unlike total solid matter in

wastewater that is expressed in milligrams per liter, TS in sludge is expressed in terms of percentage by weight of the total amount of solids, for ease in handling the large concentrations.

Apparatus

Drying oven, evaporating dish, steam bath, muffle furnace, desiccator.

Procedure

1. After cleaning an adequately sized evaporating dish, place it in a muffle furnace at 550°C for 15 to 20 min. Then air cool slightly and put the dish in a desiccator for complete cooling before weighing. Weigh dish and record as W_1.

2. Pour a portion of the well-mixed sample (25 to 50 ml) into the dish.

3. Place dish on steam bath and evaporate to dryness. Then put dish in a drying oven for 1 h at 103°C, cool in a desiccator, and weigh. Record the weight as W_3.

4. Place dish from Step 3 in muffle furnace at 550°C until sample is burned completely. The length of time for complete burning depends on size and solids content of sample.

5. Cool slightly, then put dish in desiccator for complete cooling before weighing. Weigh the dish and record as W_4. The loss of weight $(W_3 - W_4)$ is the VS. The percentage of VS then may be computed.

Calculations

$$\text{mg/l volatile residue} = \frac{(W_1 - W_4) \times 1{,}000}{\text{ml sample}}$$

$$\%\ \text{VS} = \frac{\text{weight of VS } (W_3 - W_4) \times 100}{\text{weight of dry solids } (W_3 - W_1)}$$

$$\text{mg/l fixed residue} = \frac{(W_4 - W_1) \times 1{,}000}{\text{ml sample}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 95 of the 14th edition.

Tests on Activated Sludge

Successful operation of the activated sludge process of wastewater treatment is dependent on laboratory control. Some of the test procedures are given below. These methods are presented as a group because they are interrelated.

Interference

An excess of heavy metals such as chromium, nickel, zinc, and copper will change the settleability of activated sludge, as well cyanides. Shock loadings that cause a deficiency of oxygen and a changed pH in the primary effluent above and below the range of 6.5 to 8.5 may affect settleability. Changes in settleability also will change the SVI or SDI values.

Suspended Matter for Mixed Liquor and Return Sludge

Apparatus

Filter flask with side tube, 1,000 mm size; glass fiber filter disk; filter assembly; 103°C drying oven; desiccator.

Procedure

1. Place the glass fiber filter disk on the filter apparatus.

2. Apply vacuum and wash the disk with three successive 20-ml portions of distilled water. Continue suction to remove all traces of water from the disk, then discard the washings.

3. Remove the filter from the filter apparatus and transfer to an aluminum tray.

4. Dry in an oven at 103°C for 1 h. Weigh immediately before using and record the weight as W_1.

5. Proceed as in step 4 in the section, "Suspended Matter."

Calculations

$$\text{mg/l total suspended matter} = \frac{(W_2 - W_1) \times 1{,}000}{\text{ml of sample}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 126 of the 14th edition.

Settleability for Mixed Liquor and Return Sludge

The settleability of activated sludge solids test is made by taking 1 l of a well-mixed sample and allowing it to settle quiescently for 30 min in a 1-l graduated cylinder.

The condition of the activated sludge may be observed by this test. If the activated sludge is in good condition, the SS will settle rapidly and compact into a very small volume. The supernatant liquor also will be very clear. An activated sludge in poor condition may not settle readily.

Apparatus

Two 1,000-ml graduated cylinders with graduation lines 10 ml apart.

Procedure

1. The test should be run immediately after the sample is taken.

2. The sample must be well mixed. Pour 1,000 ml into the 1-l graduate.

3. At the end of 30 min, record the volume occupied by the sludge to the nearest 5 ml.

The reading at the end of 30 min generally is used for plant control. Occasionally, it is

helpful to measure the settling rate by recording the volume occupied by the sludge at various intervals of time, for example, every 5, 10, 20, and 30 min. Although the settleability test on return sludge is not used in any calculations for activated sludge, the result is helpful in determining whether too much or too little sludge is being returned from the final settling tank.

Calculations

$$\text{Percentage of settled sludge} = \frac{\text{ml of settled mixed liquor or return sludge} \times 100}{1{,}000}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 128 of the 14th edition.

Sludge Volume Index

The SVI of activated sludge is defined as the volume in milliliters occupied by 1 g of activated sludge after settling 30 min. From this definition it may be observed that the lower the SVI the better is the settling quality of the aerated mixed liquor. Sludge with an SVI of 100 or less is considered a good settling sludge.

Calculations

The results obtained from the "Suspended Matter" and "Settleability" test on the aerated mixed liquor are used to obtain SVI.

$$\text{SVI} = \frac{\text{ml of settled sludge} \times 1{,}000}{\text{mg/l of suspended matter in mixed liquor}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 130 of the 14th edition.

Sludge Density Index

The SDI is also a method of measuring the settling quality of activated sludge. It differs from SVI in that the higher the SDI value the better is the settling quality of the aerated mixed liquor. Similarly, the lower the SDI the poorer is the settling quality of the mixed liquor. SDI is the concentration in percentage solids that the activated sludge will assume after settling 30 min (the U.K. often uses 1 h settling time). Sludge with an SDI of 1 or more is considered to have good settling characteristics.

Calculations

The results obtained from the "Suspended Matter" test and "Settleability" test on aerated mixed liquor are used to obtain SDI.

$$\text{SDI} = \frac{\text{mg/l of suspended matter in mixed liquor}}{\text{ml of settled sludge} \times 10}$$

$$\text{SDI} = \frac{100}{\text{SVI}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 561 of the 13th edition.

Dissolved Oxygen—Winkler Method

DO represents the amount of oxygen dissolved in the liquor. It is necessary to make DO determinations of samples at the time of collection or to "fix" the samples for such determinations.

All aerobic treatment processes depend on the presence of a sufficient supply of DO, and tests for it are indispensable as a means of controlling the rate of aeration to assure that aerobic conditions are maintained.

Interference

Interfering substances include iron salts, organic matter, excessive suspended matter, sulfide, sulfur dioxide, residual chlorine, chromium, and cyanide.

Apparatus

Buret, 50 ml graduated at 0.1 ml; glass stoppered BOD bottles, 300 ml; widemouth Erlenmeyer flask, 250 ml; measuring pipet, 10 ml.

Reagents

1. Manganese sulfate solution. Dissolve 480 g manganese sulfate crystals ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$) in 400 to 600 ml distilled water. Filter through filter paper, then add distilled water to the filtered liquid to make a 1-l volume.

2. Alkali-iodide-azide solution. Dissolve 500 g sodium hydroxide (NaOH) in 500 to 600 ml distilled water; dissolve 150 g potassium iodide (KI) in 200 to 300 ml distilled water in a separate container. Mix both solutions when they are cool. Dissolve 10 g sodium azide (NaN_3) in 40 ml of distilled water. Add this sodium azide solution with constant stirring to the cooled solution of alkaline iodide, then add distilled water to the mixture to make a 1-l volume.

3. Sulfuric acid. Use concentrated, reagent grade acid (H_2SO_4).

4. Sodium thiosulfate solution, 0.025 *N*. Dissolve 6.205 g sodium thiosulfate crystals ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) in freshly boiled and cooled distilled water and make up to 1 l. For preservation, add 0.4 g or 1 pellet of sodium hydroxide (NaOH).

5. Starch solution. Make a thin paste of 3 g of soluble starch in a small quantity of distilled water. Pour this paste into 500 ml of boiling distilled water, allow to boil for a few minutes, then settle overnight. Remove the clear supernatant and save; discard the rest. For preservation add two drops toluene ($C_6H_5CH_3$).

Procedure

1. Completely fill a 300-ml BOD bottle with

the sample to be analyzed by siphoning the sample slowly into the bottle. Be sure no air is entrapped.

2. By holding the tip of the pipet below the surface of the liquid add 2 ml manganese sulfate solution and then add 2 ml alkaline iodide azide solution.

3. Replace stopper, avoiding trapping air bubbles, and shake well by gentle inversion. Repeat shaking after floc has settled halfway. Allow floc to settle again.

4. Remove stopper and add 2 ml of concentrated sulfuric acid. Hold pipet above the surface of the liquid. Re-stopper and mix by gentle inversion until no floc is visible. Allow to stand for at least 5 min but not in direct sunlight. The solution can stand safely for 2 h in this condition.

5. Withdraw 203 ml of the solution into the Erlenmeyer flask and titrate with sodium thiosulfate solution until the yellow color almost disappears.

6. Add 1 ml starch solution and continue titration until the blue color just disappears.

7. Record the number of milliliters of thiosulfate used. Disregard any return of the blue color.

Calculations

The DO present in the sample is expressed in milligrams per liter and is equal to the number of milliliters of sodium thiosulfate solution used in titration (Step 7).

mg/l DO = ml thiosulfate solution

Reference in "Standard Methods"

See page 443 of the 14th edition.

Dissolved Oxygen—Membrane Electrode Method

Membrane-covered electrode systems have a sensing element (probe) protected by an oxygen-premeable membrance that serves as a diffusion barrier against impurities. Under steady-state conditions, the current or potential measured may be correlated with DO concentrations.

Membrane electrode instruments are commercially available in some variety. In all of these instruments the diffusion "current" is linearly proportional to the concentration of molecular oxygen in the test sample.

This method for DO determination is recommended for those samples containing materials that interfere with the modified Winkler method such as sulfite, thiosulfate, polythionate, mercaptans, free chlorine or hypochlorite, organic substances readily hydrolyzed in alkaline solutions, free iodine, intense color or turbidity, and biological flocs. Calibration procedure and readout are included in the manufacturer's instructions.

Reference in "Standard Methods"

See page 450 of the 14th edition.

Biochemical Oxygen Demand

This test determines the amount of biodegradable organic material in wastewater by measuring the oxygen consumed by microorganisms in decomposing organic constituents of the waste. The test consists of the determination of DO before and following 5-day incubation of the sample at 20°C, thus establishing the amount of oxygen used. With wastewater and plant effluents, dilutions of the sample are made with standard dilution water and the DO determined before and after the 5-day incubation period.

If the sample to be tested has been chlorinated, the section on "Dechlorination" should be followed.

Interference

Caustic alkalinity, mineral acid, free chlorine, and heavy metals are factors that may influence the accuracy of this test. BOD bottles must be scrupulously clean.

Apparatus

Buret, 50 ml graduated at 0.1 ml; BOD bottles, 300-ml capacity; Erlenmeyer flask, 250 ml; measuring pipet, 10 ml; large-tipped volumetric pipet; incubator thermostatically controlled at 20°C.

Reagents (See "Dissolved Oxygen—Winkler Method")

1. Manganese sulfate solution.
2. Alkali-iodide-azide solution.
3. Sulfuric acid.
4. Sodium thiosulfate solution.
5. Starch solution.
6. Phosphate buffer solution. Dissolve 8.5 g monobasic potassium phosphate (KH_2PO_4), 21.75 g dibasic potassium phosphate (K_2HPO_4), 33.4 g dibasic sodium phosphate crystals ($Na_2HPO_4 . 7H_2O$), and 1.7 g ammonium chloride. The pH of this buffer should be 7.2 and should be checked on a pH meter.
7. Magnesium sulfate solution. Dissolve 22.5 g magnesium sulfate crystals ($MgSO_4 . 7H_2O$) in distilled water and make up to 1 l.
8. Calcium chloride solution. Dissolve 27.5 g anhydrous calcium chloride ($CaCl_2$) in distilled water and make up to 1 l.
9. Ferric chloride solution. Dissolve 0.25 g ferric chloride ($FeCl_3 . 6H_2O$) in distilled water and make up to 1 l.
10. Dilution water. Add 1 ml each of phos-

phate buffer (Step 6), magnesium sulfate (Step 7), calcium chloride (Step 8), and ferric chloride solution (Step 9) for each liter of distilled water. Store at a temperature as close to 20°C as possible. This water should not show a drop in DO of more than 0.2 mg/l on incubation for 5 days.

Distilled water used for solutions and for preparation of dilution water must be of the highest quality, distilled from a block tin or all-glass still. It must contain less than 0.01 mg/l copper and be free of chlorine, chloramines, caustic alkalinity, organic material, and acids.

Procedure

1. First, the percentage dilution to be used is determined. To make this calculation, it should be understood that dilution water at room temperature contains approximately 8 mg/l of DO. Consequently, dilution is required if the oxygen demand of the sample to be tested is greater than 8 mg/l of DO. It is desirable to have at least 2 mg/l DO left unused after 5-day incubation. Depletion of 50 percent (in other words, having approximately 4 mg/l of the initial 8 mg/l DO left after 5-day incubation) is most desirable. Raw wastewater usually contains approximately 100 to 300 mg/l BOD, so that 1 and 2 percent dilutions generally are used. Settled wastewater BOD's usually range from 50 to 200 mg/l, and 2 and 3 or 3 and 4 percent dilutions are common. Dilutions on trickling filters samples range from 5 to 10 percent. For activated sludge effluents, 10, 20, or 50 percent dilutions are used, depending on how clean the effluent is. Very strong wastewater or industrial wastes are diluted one part wastewater: nine parts dilution water before the dilutions of 1 to 2 percent. In this way, a range of from 1,000 to 3,000 mg/l BOD is covered.

2. Two 300-ml BOD bottles then are filled approximately half full with dilution water. By using a large-tipped pipet, the precalculated amount of sample is measured into the 2 300-ml BOD bottles. Each bottle is filled with dilution water and stoppers inserted. All air bubbles must be excluded. (It is general practice to set up two or three different dilutions for each sample of wastewater, preparing two bottles for each dilution).

3. Two bottles are filled with straight dilution water and stoppers inserted.

4. One of the bottles for each sample dilution and the one with dilution water are incubated for 5 days at 20° ± 1.0°C.

5. A DO determination is made on both of the remaining bottles. The initial DO content is recorded.

6. After 5 days, a DO determination is made on the incubated bottles and the DO content recorded. Note that the increase or decrease of DO in the bottles with just dilution water should not be used for correction of the diluted sample results. It is only a measure of dilution water quality, and there should not be an increase or decrease of more than 0.2 mg/l of DO.

The membrane electrode method or Winkler determination may be used to perform the BOD test.

Calculations

$$\text{mg/l BOD}_5 = \frac{(\text{Initial DO of diluted sample} - \text{DO of sample after 5-day}) \times 100}{\text{percentage of sample added}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 543 of the 14th edition.

Dechlorination and Reseeding Wastewater Samples for Determination of BOD

Whenever chlorinated wastewater samples are collected for the determination of BOD, sufficient reducing agent must be added to the sample to destroy the chlorine. After dechlorination, the sample must be reseeded with organisms.

Procedure

To reseed the sample, the following procedure should be used:

1. Secure an unchlorinated sample of raw wastewater or primary effluent approximately 24 h before dechlorinated and seeded samples are set up for determination of BOD. One l of unchlorinated sample is obtained and allowed to stand at room temperature overnight. The clear portion of the sample is poured off to be used for the seed.

To check for the presence of chlorine in the wastewater sample, the following procedure is used:

1. Carefully measure 100 ml of well-mixed sample into a 250-ml Erlenmeyer flask.

2. Add a few crystals of potassium iodide (KI) to the sample and dissolve the crystals.

3. Add 1 ml of concentrated sulfuric acid (H_2SO_4) and mix well.

4. Add five drops of starch solution. If no blue color is produced and chlorine is absent, the BOD of the composite sample may be determined. In this case, all of the chlorine has been "used up" by the wastewater, and it may be assumed that a sufficient number of organisms remains so that the full BOD will be exerted. If a blue color is produced, however, titrate the sample with 0.025 *N* sodium thiosulfate to the endpoint between the last trace of blue color and a colorless solution. Make

the titration very slowly, counting the drops used and recording the number.

5. To dechlorinate a sample for BOD testing, measure out another 100-ml portion of the well-mixed composite sample into a clean 250-ml Erlenmeyer flask. Add the number of drops of sodium thiosulfate determined necessary for dechlorination in Step 4 above. Mix well. Use this sample for determination of BOD. If more sample is needed, place a larger sample (measure carefully) into a clean container and add a proportionate number of drops of the "thio" for dechlorinating.

6. For seeding the sample, add 1 ml of the aged seed to each of the BOD bottles containing dechlorinated sample. Also set up samples of the seed for determination of the BOD using 2, 3, and 4 percent (3, 6, and 9 ml seed) and determine the 5-day depletion caused by 1 ml of seed.

Calculations

$$\text{mg/l DO depletion caused by each ml seed} = \frac{\text{5-day DO depletion of seed sample}}{\text{ml seed}}$$

$$\text{mg/l of } BOD_5 = \text{initial DO of diluted sample, mg/l} - (\text{mg/l DO depletion caused by each ml seed} + \text{mg/l DO after 5 days}) \times \frac{100}{\text{Percent of sample used}}$$

Chemical Oxygen Demand

The COD determination is a measure of the oxygen equivalent of that portion of organic matter in a sample that can be oxidized by a strong chemical oxidizing agent. The COD value is important in industrial waste studies and control of wastewater treatment plants. Generally, the BOD is 50 to 70 percent of the COD depending on the type of organic matter in the water.

Interferences

Certain types of organic compounds are oxidized in this test that normally are not oxidized biologically.

Apparatus

Reflux apparatus, consisting of a 300-ml round bottom flask with ground glass neck size 24/40 and a Friedrichs style condenser; a hot plate with 1300-W rating; 500-ml Erlenmeyer flask.

Reagents

1. Sulfuric acid—silver sulfate solution. Dissolve 22 g silver sulfate (Ag_2SO_4) in a 9-lb (4.1-kg) bottle of concentrated sulfuric acid (H_2SO_4). It will take 1 to 2 days for the silver sulfate to dissolve.

2. Potassium dichromate solution, 0.25 *N*. Dissolve 12.259 g potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) previously dried at 103°C for 2 h, in distilled water and make up to 1 l.

3. Ferroin indicator solution. Dissolve 1.485 g of 1, 10 phenanthroline ($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$) together with 0.695 g ferrous sulfate crystals ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$) in water and make up to 100 ml.

4. Ferrous ammonium sulfate solution, 0.25 *N*. Dissolve 98 g ferrous ammonium sulfate [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$] in distilled water. Add 20 ml concentrated sulfuric acid, cool, and make up to 1 l. This solution must be standardized against potassium dichromate daily.

5. Mercuric sulfate ($HgSO_4$) analytical grade crystals.

Procedure

1. Place a 20-ml sample in the round bottom flask, add 0.4 g mercuric sulfate, and add by pipet 10 ml potassium dichromate solution. Carefully add 30 ml sulfuric acid silver sulfate solution, a little at a time, mixing after each addition. Be sure the reflux mixture is mixed thoroughly before heat is applied. If this is not done, the mixture may be blown out of the condenser.

2. Add a few clean glass beads to prevent bumping and attach the flask to the condenser. Reflux the mixture for 2 h. Cool, and then wash down the condenser with approximately 25 ml distilled water.

3. Transfer the contents to a 500-ml Erlenmeyer flask, washing out the reflux flask 4 to 5 times with distilled water. Dilute the mixture to approximately 140 ml; cool and titrate the excess dichromate with ferrous ammonium sulfate solution, using ferroin indicator. Generally, two or three drops of the indicator are added to the sample just before titrating.

4. Take as the end point the sharp color change from blue-green to reddish brown, even though the blue-green may reappear within minutes.

5. A blank consisting of 20 ml of distilled water instead of the sample, together with the reagents, is refluxed and titrated in the same manner.

Calculations

$$\text{mg/l COD} = \frac{(a-b) \times c \times 8{,}000}{\text{ml sample}}$$

in which:

COD = oxygen consumed from potassium dichromate,

a = ferrous ammonium sulfate solution used for blank, ml,

b = ferrous ammonium sulfate solution used for sample, ml, and

c = normality of ferrous ammonium sulfate solution.

Reference in "Standard Methods"

See page 550 of the 14th edition.

Chlorine Residual

Chlorine in water solutions is not stable. As a result, its concentration in samples will decrease rapidly. Exposure to sunlight or other strong light or agitation will further reduce the quantity of chlorine present in solutions. Therefore, samples to be analyzed for chlorine cannot be stored, and tests must be started immediately after sampling.

Interference

Color, turbidity, iron, manganese, and nitrites are factors that may interfere with the accuracy of this test.

Apparatus

Two hundred fifty-ml flask; 5-ml volumetric pipet; 10-ml graduated cylinder; stirring rod; titration apparatus.

Reagents

1. Standard phenylarsine oxide solution (PAO) 0.00564 *N*. (This solution may be obtained commercially.) To produce in the laboratory, dissolve approximately 0.8 g phenylarsine oxide powder in 150 ml 0.3 *N* NaOH solution. After settling, decant 110 ml of this solution into 800 ml distilled water and mix throughly. Bring to pH 6 to 7 with 6 *N* HCl and dilute to 950 ml with distilled water.

To standardize the PAO, accurately measure 5 to 10 ml freshly standardized 0.0282 *N* iodine solution into a flask and add 1 ml KI solution. Titrate with phenylarsine oxide solution, using starch solution as an indicator. Adjust to exactly 0.00564 *N* and recheck against the standard iodine solution; 1.00 ml = 200 mg available chlorine.

2. Acetate buffer solution, pH 4.0. Dissolve 480 g concentrated (glacial) acetic acid and 243 g sodium acetate trihydrate, $NaC_2H_3O_2 \cdot 3H_2O$, in 400 ml distilled water and make up to 1 l.

3. Standard arsenite solution, 0.1 *N*. Accurately weigh a stoppered weighing bottle containing approximately 4.95 g arsenic trioxide, As_2O_3. Transfer without loss to a 1-l volumetric flask and again weigh the bottle. Do not attempt to brush out the adhering oxide. Moisten the As_2O_3 with water and add 15 g NaOH and 100 ml distilled water. Swirl the contents of the flask gently until the As_2O_3 is in solution. Dilute to 250 ml with distilled water and saturate the solution with CO_2, thus converting all the NaOH to sodium bicarbonate. Dilute to 1 l and mix thoroughly. The normality of this solution may be calculated as follows:

$$\text{Normality} = \frac{\text{g } As_2O_3}{49.455}$$

4. Potassium iodide, KI, crystals, reagent grade.

5. Standard iodine solution 0.1 *N*. (This solution may be obtained commercially.) In the laboratory, dissolve 40 g KI in 25 ml distilled water, add 13 g resublimed iodine, and stir until dissolved. Transfer to a 1-l volumetric flask and dilute to the mark.

To standardize the KI, accurately measure 40 to 50 ml 0.1 *N* arsenite solution into a flask and titrate with the 0.1 *N* iodine solution, using starch solution as indicator. To obtain accurate results, it is absolutely necessary that the solution be saturated with CO_2 at the end of the titration. CO_2 may be passed through the solution for a few minutes just before the end point is reached, or a few drops of HCl may be added to liberate sufficient CO to saturate the solution.

6. Standard iodine titrant, 0.0282 *N*. Dilute 282 ml (or appropriate aliquot if normality is not exact) of 0.1 *N* iodine solution volumetrically to 1 l with distilled water.

Standardize this titrant solution daily in accordance with directions in Step 5 above.

7. Starch indicator. Either the aqueous solution or soluble starch powder mixtures may be used for detection of the iodine end point. Dissolve 5 g of soluble starch in 1 l of boiling distilled water. Preserve with 1.25 g of salicylic acid or with 4 g of zinc chloride.

Procedure

1. Place 5.00 ml 0.00564 *N* phenylarsine oxide solution in a flask.

2. Add 1 g of KI crystals and 4 ml acetate buffer solution or sufficient amount to reduce the pH to between 3.5 and 4.2.

3. Measure 200 ml of sample and pour the volume into the flask and mix with stirring rod.

4. Add 1 ml of starch indicator solution and mix.

5. Immediately titrate the excess PAO with 0.0282 *N* iodine titrant. Titrate to the first appearance of blue color that persists after complete mixing.

Note that 1 ml 0.00564 *N* PAO consumed by a 200-ml sample represents 1 mg/l available chlorine; use 5 ml of PAO for residual chlorine concentrations up to 5 mg/l and 10 ml of PAO for residual chlorine concentrations of 5 to 10 mg/l.

Calculations

$$\text{mg/l Cl} = \frac{(A - 5B) \times 200}{C}$$

in which:

A = 0.00564 *N* PAO reagent, ml,
B = 0.0282 *N* iodine titrant, ml, and
C = sample, ml.

Reference in "Standard Methods"

See page 318 of the 14th edition.

Chlorine Requirement

The chlorine requirement is defined as the amount of chlorine that must be added per unit volume to produce the desired results understated conditions. The result (that is, the purpose of the chlorination) may be (*a*) a certain minimum bacteria count for coliform density, (*b*) a definite residual chlorine concentration after a specified contact time, (*c*) a definite quantity of some chemical such as cyanide or phenol that is to be destroyed, or (*d*) a reduction in odor.

The chlorine requirement is not an absolute value that can be used to compare the results from plant to plant and from time to time. It is, rather, a practical and realistic approach to the control of a chlorination plant to estimate the amount of chlorine needed to produce some definite results under the conditions of flow, detention time, and condition of waste at the particular plant.

Apparatus

One-l beakers, jars, burets, and pipets as needed.

Reagents

All the reagents necessary for the determination of residual chlorine, and, in addition:

1. Standard chlorine solution. Pass chlorine gas through water until the water contains 1.0 mg chlorine/ml. Because this solution is unstable, it must be prepared standardized each day. (Note: For small plant operations, dilute chlorine bleach, which contains 30,000 to 50,000 mg/l, may be used. Standardize weekly.)

2. Sodium sulfite solution. Dissolve 10 g anhydrous sodium sulfite (Na_2SO_3) in 100 ml distilled water and heat to boiling to sterilize. This solution is not stable and should be prepared daily.

Procedure

1. Measure 500-ml portions of the sample into 1-l glass containers.

2. With gentle and constant stirring, add increasing quantities of standard chlorine solution to the 500-ml samples. The addition of each 1 ml of standard solution to each 500 ml of sample represents a 2 mg/l chlorine dosage. Therefore, doses of 0, 1, 3, 5, 7, and 9 ml of standard solution to 6 samples represent treatment of 0, 2, 6, 10, 14, and 18 mg/l chlorine, respectively. After a few tests, the operator learns the proper amounts of standard solution to be used. Also, in cases of high chlorine demands, sample sizes may be reduced to 100 ml from the 500 ml.

3. After carefully stirring, the samples are allowed to stand the number of minutes required in the detention tank or for some stipulated time.

4. After the stipulated time, a portion of the chlorinated samples is removed for testing. The "Chlorine Residual" then may be determine. If bacteria are to be estimated or BOD's are to be run, the sample must be dechlorinated.

Calculations

The chlorine requirement is the amount of chlorine that must be added per unit volume to produce the required results.

Chlorine requirements, mg/l =

$$\frac{\text{ml standard chlorine} \times 1{,}000}{\text{ml sample used}}$$

Reference in "Standard Methods"

See page 359 of the 14th edition.

Microbiological Examinations of Wastewater

The following sections describe procedures used in making bacteriologic examinations of samples of wastewater. Traditionally, the coliform group of bacteria has been the principal indicator of the sanitary quality of water and the effectiveness of treatment processes.

The coliform group comprises all of the aerobic and facultative anaerobic gram-negative, nonspore-forming, rod-shaped bacteria that ferment lactose with gas formation within 48 h at 35°C. In the examination of waters of other than drinking water quality, a series of lactose broth or lauryl tryptose broth tubes should be inoculated with decimal quantities of the water sample, the selection of portion sizes depending on the probable coliform density as indicated by the experience of the analyst and how much is known of the character of the water. The object of the examination of nonpotable water is to estimate the density of bacterial contamination or determine a source of pollution. It is convenient to express the results of the examination in terms of the most probable number (MPN). To obtain statistically valid MPN values, preparation should be made for a minimum series of three tubes, but preferably five, each inoculated with decimal quantities of sample.

Fecal coliform is that segment of the coliform bacteria group found in the gut and feces of warm-blooded animals. The testing for fecal coliform is applicable to investigations of stream pollution, raw water sources, wastewater treatment systems, bathing water, and general water quality monitoring.

It must be understood that bacteriologic examinations require special attention to laboratory apparatus, washing and sterilization, prep-

aration of media, materials, distilled water, media specifications, and sampling. It is thus imperative that the appropriate sections of "Standard Methods" be reviewed in detail before performing bacteriologic examinations.

Laboratory Tests for Total Coliform (MPN)

Only grab samples may be used for bacteriologic tests. Because the coliform test is ordinarily applied to samples of chlorinated wastewater, sample bottles must contain sodium thiosulfate to destroy residual chlorine at the time of sampling. All samples should be examined as soon as possible after collection.

Apparatus

Balance, 0.1 g accuracy; steam pressure sterilizer; oven sterilizer; incubator with automatic temperature control; pipets, bacteriological, 1.1 ml capacity, graduated at 1.0 and 1.1 ml; culture tubes, 150 x 18 mm and 75 x 12 mm; pH meter or pH color test kit; glass or high temperature-resistant polyethylene plastic sample bottles; glass beakers of 1 or 2 l capacity; graduated cylinders, 10, 50, 100, 500 and 1,000 ml.

Reagents and Prepared Equipment

1. Lactose broth or lauryl tryptose broth, dehydrated brilliant green lactose bile broth, cotton or polyurethane foam culture tube plugs, potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4), sodium hydroxide (NaOH), sodium thiosulfate ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$).

2. Preparation of sample bottles and pipets. To each bottle before sterilization add 0.1 ml of 10 percent solution of sodium thiosulfate. If bottle has a ground glass stopper, insert a piece of string between the stopper and its seat to prevent seizure during sterilization. Cover the stopper or cap with heavy paper or metal foil and fasten securely with a string. Sterilize glass bottles and pipets by placing in an oven at 17°C for 1 h. Glassware in metal containers should be heated to a temperature of 170°C for not less than 2 h. If the bottle is plastic, sterilize in an autoclave and leave the cap slightly loose to prevent the bottle from collapsing during heating. Sterlize the liquid media in the autoclave for 15 min at 15 psi (1.1 kg/sq cm) and 121°S. Permit the autoclave to cool to room temperature before opening. Tighten the caps on the plastic bottles.

3. Preparation of 10 percent solution of sodium thiosulfate. Weigh out 10.0 g of sodium thiosulfate and dissolve in 100 ml of distilled water.

4. Preparation of fermentation tubes containing lactose broth or lauryl tryptose broth for the presumptive test or brilliant green lactose bile broth for the confirmed test.

Weigh out sufficient dehydrated medium to make 1 l of broth, following the directions on the manufacturer's label. Add the powder to 1 l of distilled water and stir until the medium is completely dissolved. Prepare each fermentation tube by placing an inverted 75- x 12-mm culture tube inside of a 150- x 18-mm tube and add 10 ml of the broth. Stopper or cap the tubes and stack the tubes upright in a basket. Sterilize the tubes by heating in a autoclave for exactly 15 min after the pressure has risen to 15 lb at 121°C. Permit the autoclave to cool to room temperature before opening. Failure to do this will render many of the fermentation tubes worthless because of incomplete filling of the inner tube with medium. The total elapsed time for heating, sterilization, and cooling must not exceed 40 min. Check the pH of the finished media. For brilliant green lactose bile broth it should be 7.2. For lactose and lauryl tryptose broths it should be 6.8 ± 0.1.

5. Preparation of diluting blanks. Prepare dilution water by adding 1.25 ml of stock phosphate buffer to 1 l distilled water.

To prepare the stock phosphate buffer, dissolve 17.0 g of potassium dihydrogen phosphate (KH_2PO_4) in 250 ml of distilled water. Adjust the pH to 7.2 by adding slowly and with constant stirring a solution of sodium hydroxide (NaOH) containing 40.0 g of NaOH/l. Adjustment of the pH may be done most easily with a pH meter, but it also may be done colorimetrically by checking the pH at intervals after addition of small increments of the hydroxide solution. Make up to a final volume of 500 ml.

Prepare the buffered dilution water blanks in 150- x 18-mm culture tubes by adding sufficient water to each tube to yield 9 ml after autoclave sterilization. (This must be determined by trial.) Stopper or cap the tubes and sterilize by autoclaving for 15 min at 15 psi and 121°C.

Procedure

1. Presumptive test for coliform group. Add 1 ml of the well-shaken sample to a 9-ml buffered water dilution blank by using a sterile 1-ml pipet. Mix thoroughly by shaking the tube, taking care not to wet the plug. Label this dilution 1/10, using a glass marking wax pencil for the purpose.

Add 1 ml of sample to each of three lactose or lauryl tryptose broth fermentation tubes. It is not necessary to shake the tube for mixing. Label the tubes, 1-1, 1-2, and 1-3, respectively.

By using the dilution labeled 1/10 and a fresh sterile pipet, make another dilution in the same manner as the first. Label the new dilution 1/100.

By using the 1/10 dilution as a sample, add

to each of three fermentation tubes 1-ml portions, labeling them 1/10-1, 1/10-2, and 1/10-3, respectively.

Continue the series, as indicated, preparing first the succeeding dilution and then the fermentation tubes for a given dilution. In principle, the series is continued to the extent that the final dilution yields completely negative results in all three tubes. For samples that are unfamiliar to the technician, it is well to carry the series out to the one millionth dilution. Place the inoculated fermentation tubes in an incubator at 35°C ± 0.5°C for 24 ± 2 h. Discard the dilutions of the sample.

At the end of the incubation period, note on the record card the observations of each individual fermentation tube. If no gas whatever is noted in the upper portion of the inner tube, record a zero (0) in the space provided. If any gas, even a small bubble, is noted, record the fact by marking a plus sign (+). Carry out the confirmed test on all tubes showing gas, making a check mark to indicate this fact near the plus sign (+✓). Place the tubes that do not show gas back in the incubator for an additional 24-h period. The total incubation period for these tubes is then 48 ± 3-h. Again observe and record the presence or absence of gas.

2. Interpretation of presumptive test results. The appearance of gas in any fermentation tube inoculated with a portion of the sample or dilution thereof at any time within 48 ± 3 h is presumptive evidence of the presence of coliform bacteria in that tube. Conversely, the absence of gas is definite evidence of the absence of coliform group bacteria from that tube.

3. Confirmed test for the coliform group. Carry out the test on all fermentation tubes that produce gas in the presumptive test. By using a wire loop sterilized by holding it for a moment in a hot flame, transfer a drop of culture from the presumptive test tube to a tube containing brilliant green lactose bile broth. Mark the newly inoculated tube with the same identifying number as the presumptive tube and fasten the two together with a rubber band. Once the transfer has been made, there is no further need for the presumptive test fermentation tube, but it is good practice to hold it until final readings are obtained from the confirmed test because errors in identification are often avoided in this manner. Place the tubes in the incubator at 35° ± 0.5°C. Observe the brilliant green bile broth fermentation tubes after 24 ± 2 h incubation. If gas is present in the inner tube in any amount, record a plus sign (+) in the appropriate space on the record card. If no gas is noted, mark a zero (0) in the appropriate space and incubate the tube in question for an additional 24 h, making a total of 48 ± 3 h. Observe again and record the presence or absence of gas.

4. Interpretation of confirmed test results. The appearance of gas within 48 ± 3 h in a brilliant green lactose bile tube inoculated from a presumptive test fermentation broth tube is confirmed evidence of the presence of coliform bacteria in the presumptive test tube. Conversely, the absence of gas in the confirmed test tube is definite evidence of the absence of coliform bacteria in the corresponding presumptive test tube. It is not definite evidence of the absence of coliform bacteria from the original sample, however, because it is possible that other confirmed test tubes may yield positive results.

5. Most probable number (MPN) index. By examining different volumes of sample, one-tenth multiples of 1 ml, it is possible to make an approximate estimation of the number of coliform bacteria present in the sample through consideration of the relative numbers of tubes in the various dilutions that yield positive and negative results. The estimation is in the form of an MPN index that essentially is a concentration of coliform bacteria in the sample (expressed as the number of bacteria per 100 ml of sample) that would most probably yield the same combination of positive and negative tubes as obtained in the examination of the sample. For convenience in calculating, the MPN index table has been prepared (Table I).

When more than three dilutions in a decimal series are examined, the results from only three of them are significant. The highest dilution giving positive results in all three portions tested and the next two succeeding higher dilutions are selected. The results of these three dilutions then are used in computing the MPN index. The calculated index will equal the tabular index multiplied by a factor equal to the denominator of the highest dilution giving positive results in all three tubes. For example, if all tubes in all dilutions are positive up to, but not including, the 1/1,000 dilution, then consider only the 1/100, 1/1000, and 1/10,000 dilutions as significant. Suppose the results of analysis indicate that the positive tubes for three dilutions are as follows (Table AIII-I):

Table AIII-I—Typical Results of Positive Fermentation Tubes

Dilution	No. of Positive Tubes	No. of Negative Tubes
1/100	3	0
1/1000	2	1
1/10,000	1	2

From Table AIII-II, the 3-2-1 positive tube series for 1/100, 1/1,000, and 1/10,000 dilutions, respectively, yield an MPN/100 ml of 1,500. Multiplying by a factor equal to the denominator of the highest dilution giving positive results in all three tubes then will yield the index:

$$\text{MPN Index} = 1{,}500 \times 100$$
$$= 150{,}000/100 \text{ ml}$$

Note that, although a minimum series of three tubes has been suggested, more dilutions may be required if the character of the water or regulatory requirements demand an MPN index lower than 30.[2]

Table AIII-II.—MPN/100 ml of Coliform Bacteria in a Sample Using Three Portions in Series

Number of Positive Tubes in Dilutions*			MPN/
1 ml	1/10 ml	1/100 ml	100 ml
0	0	0	30
0	0	1	30
0	1	0	30
1	0	0	36
1	1	0	73
1	1	1	110
2	0	0	91
2	0	1	140
2	1	0	150
2	1	1	200
2	2	0	210
2	2	1	280
3	0	0	230
3	0	1	390
3	0	2	640
3	1	0	430
3	1	1	750
3	1	2	1,200
3	2	0	930
3	2	1	1,500
3	2	2	2,100
3	3	0	2,400
3	3	1	4,600
3	3	2	11,000
3	3	3	24,000

* Other combinations of positive tubes also may occur but are unlikely.[2]

Reference in "Standard Methods"

See pages 875 through 927 of the 14th edition.

Laboratory Test for Fecal Coliform (MPN)

The following procedure helps to identify the source of the Coliform group (fecal or nonfecal) when used as a confirmatory test procedure. The multiple tube procedures cannot be used for direct isolation of coliforms from water but require prior enrichment in a presumptive test medium (see "Total Coliform" test) for optimum recovery of fecal coliforms.

Reagent

Use EC medium.[2]

Procedure

1. Transfers should be made from all positive presumptive tubes to EC medium. This examination may be performed simultaneously with the confirmatory procedures by using brilliant green lactose. Use a sterile metal loop with a minimum 3-mm diam or a sterile wooden applicator to transfer from the positive fermentation tube to EC medium. When making the transfers, first gently shake the presumptive tube or mix by rotating.

2. Inoculated tubes are incubated in a water bath at 44.5° ± 0.2°C for 24 ± 2 h. All EC tubes must be placed in the water bath within 30 min after planting. The water depth in the incubator should be sufficient to immerse tubes to the upper level of the medium.

3. Interpretation. Gas production in a fermentation tube within 24 h or less is considered a positive reaction indicating fecal origin. Failure to produce gas (growth sometimes occurs) constitutes a negative reaction indicating a source other than the intestinal tract of warm-blooded animals. Fecal coliform densities are calculated as described under the "Most Probable Number Index" in the previous section.

Reference in "Standard Methods"

See page 875 through 927 of the 14th edition.

References

1. "Simplified Laboratory Procedures for Wastewater Examination." Publ. No. 18, Water Poll. Control Fed. Washington, D.C. (1969).

2. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater." 13th ed., Amer. Pub. Health Assn., Washington, D.C. (1971).

3. "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater." 14th ed., Amer. Publ. Health Assn., Washington, D.C. (1975).

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DIGESTION Y MANEJO DE LODOS.

ING. FRANCISCO MONTEJANO U.
ING. FRANCISCO FLORES HERRERA

Septiembre de 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso México 1, D. F.

9. MANEJO Y DISPOSICION DE LODOS.

Los sólidos removidos mediante una gran variedad de métodos en las plantas de tratamiento de aguas de desecho incluyen arena, basura y lodos, constituyen el subproducto más importante del proceso de tratamiento. El lodo es con mucho el volumen mayor y su procesamiento y disposición es tal vez el problema más complejo con el cual se enfrenta el ingeniero en el campo del tratamiento de desechos.

Los problemas de trabajar con los lodos son complicados especialmente cuando se recuerda 1) que está compuesto principalmente de sustancias responsables del carácter ofensivo del desecho crudo, 2) que la porción de lodo producido por el tratamiento biológico que se desecha está compuesto de materia orgánica contenida en el desecho crudo, pero en otra forma. y que también se descompondrá y llegará a ser ofensiva y 3) que solamente una pequeña parte del lodo es materia sólida, Las operaciones y procesos que se usan para reducir el agua y el contenido orgánico del lodo incluyen: 1) concentración 2) digestión 3) acondicionamiento 4) desaguado y secado y 5) incineración y oxidación húmeda. De éstas, la digestión, incineración y oxidación húmeda son usadas principalmente para el tratamiento del material orgánico en el lodo; concentración, condicionamiento, desaguado y secado se usan principalmente para la remoción de humedad del lodo.

9.1 Diagrama de flujo de los procesos de tratamiento de lodos

En la fig 1 se muestra un diagrama general en el que se incorporan los diferentes procesos y operaciones unitarias que se pueden tener en la práctica, el diagrama de flujo más comunmente usado para el tratamiento de lodo se puede dividir en dos categorías generales, dependiendo de si se involucra o no el tratamiento biológico.

Diagramas de flujo incorporando el proceso biológico se

Fig 1 Diagramas de flujo de procesamiento de lodo

LODO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO

↓

CONCENTRACION — ESPESAMIENTO POR GRAVEDAD — ESPESAMIENTO POR FLOTACION DE AIRE

↓

DIGESTION — DIGESTION AEROBICA — DIGESTION ANAEROBICA — LAGUNAS DE LODOS — TANQUES IMHOFF

↓

CONDICIONAMIENTO — CONGELAMIENTO — CONDICIONAMIENTO QUIMICO — TRATAMIENTO POR CALOR

↓

DRENAJE Y SECADO — CAMAS DE SECADO — FILTRACION AL VACIO — CENTRIFUGACION — FILTROS DE PRESION

VIBRACION — SECADO POR CALOR

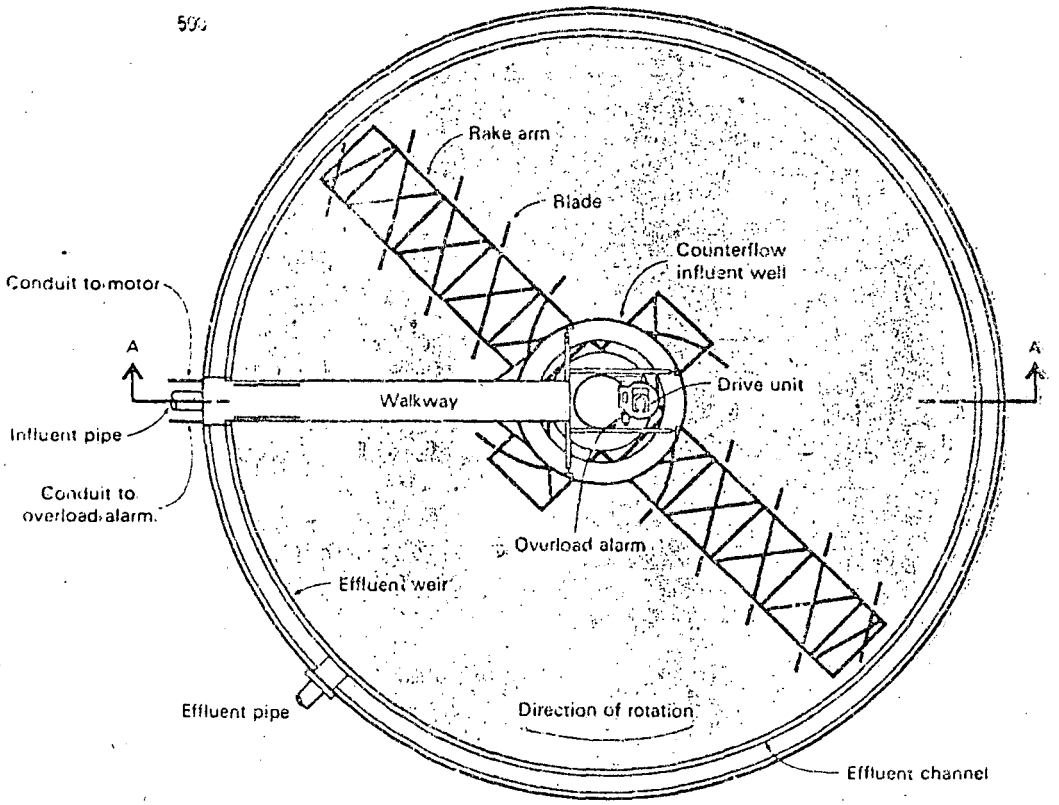
↓

INCINERACION Y OXIDACION HUMEDA — INCINERACION — OXIDACION HUMEDA

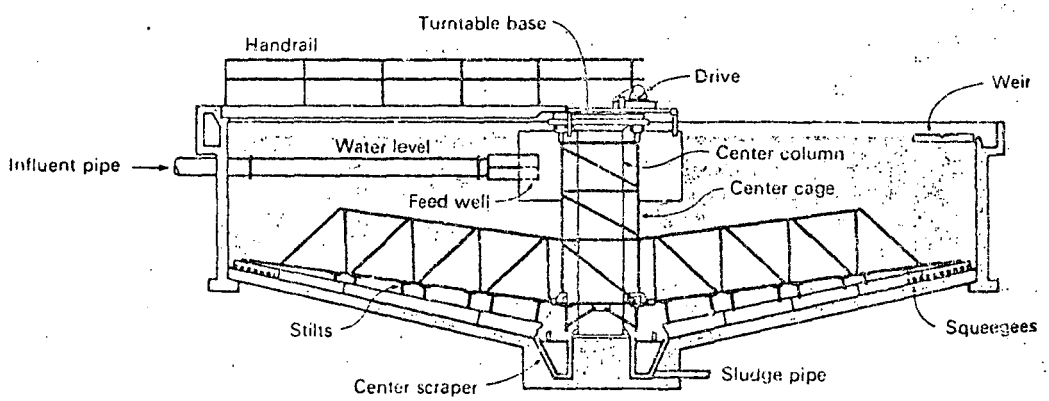
↓

DISPOSICION DE LODO Y CENIZA — FERTILIZANTES Y ACONDICIONADORES DE SUELO — AMONTONAMIENTO — LAGUNAS

RELLENO SANITARIO — ESPARCIDO EN EL SUELO — DISPOSICION



PLAN



SECTION A--A

Fig 2 Esquema de un espesador mecánico

dan en la fig 1a. Dependiendo de la fuente del lodo se puede usar espesamiento por gravedad o flotación en algunos casos, ambos pueden usarse en la misma planta. Siguiendo la digestión cualquiera de los tres métodos mostrados pueden usarse para desalojar el agua del lodo, la selección depende de las condiciones locales.

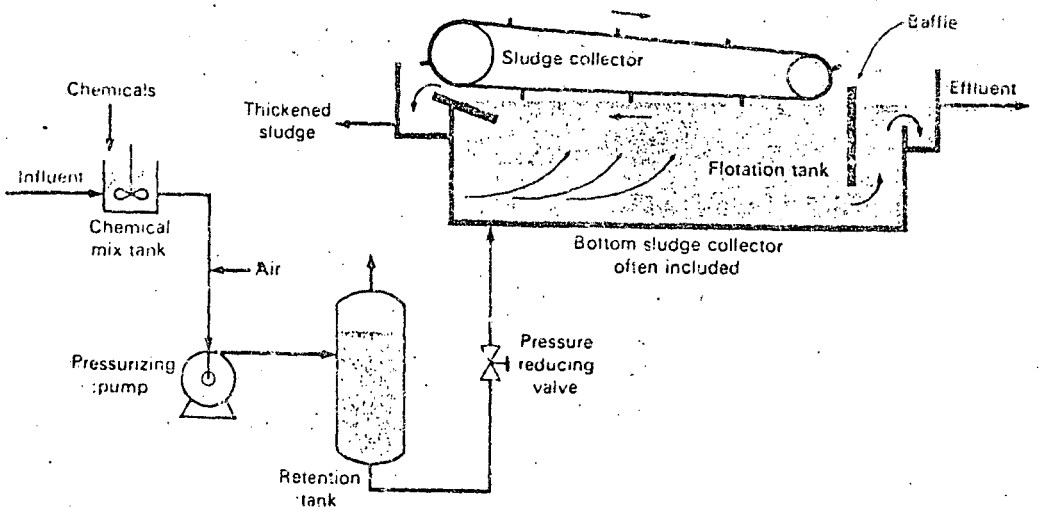
Debido a la presencia de desechos industriales y tóxicos se han presentado problemas en la operación de digestores biológicos, por lo que un gran número de plantas se han diseñado para tratar los lodos de otra manera. En la fig 3 se muestran tres diagrama de flujo sin tratamiento biológico.

9.2 Espesadores.

Los espesadores mecánicos y de flotación por aire disuelto son usados para espesar lodos de varias fuentes en las plantas de tratamiento. Concentración de sólidos de 5 al 6% o más se pueden obtener de mezclas de lodos primarios y activados. En plantas de lodos activados donde se usa la digestión, el espesamiento de los lodos activados o de los lodos combinados es lo más deseable por economía en la construcción y operación

Espesadores mecánicos. (fig 2)

En un espesador mecánico, el lodo primario diluído o el desecho de los lodos activados se alimenta al tanque espesador continuamente. Mecanismos convencionales de colección de lodos con armaduras profundas o estacas verticales son empleadas para agitar el lodo lentamente y canales abiertos para desalojar el agua y promover el aumento en la densidad del lodo. El flujo supernadante se regresa al tanque de sedimentación primario. El lodo espesado que se colecta en el fondo del tanque se bombea a los digestores o a los equipos indicados para desalojar agua de la mezcla, según se requiera. Para mantener condiciones aerobias se debe agregar licor mez-



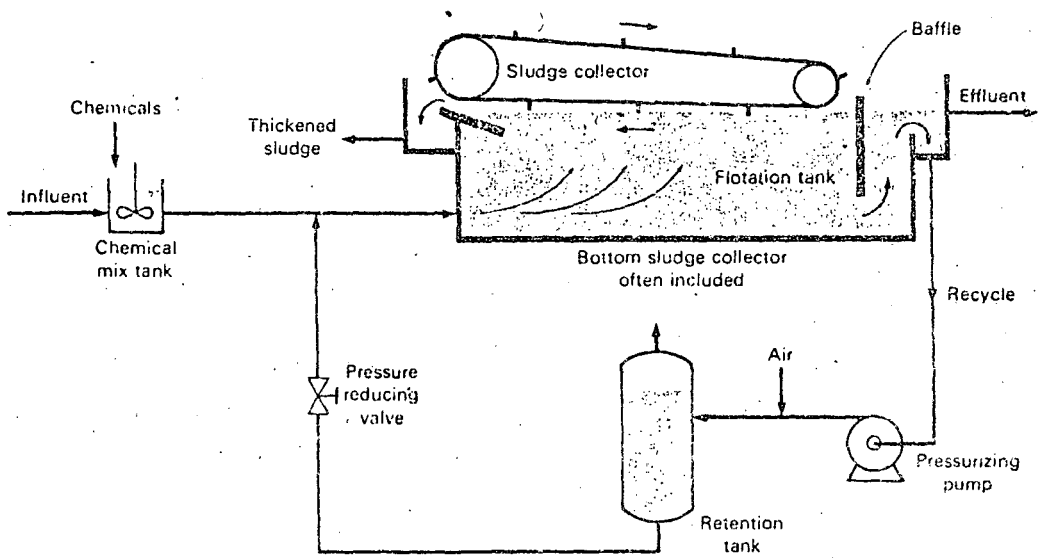


Fig 3 Esquema de un tanque de flotación

a) sin recirculación

b) con recirculación

clado aerado o efluente final al espesador.

En operación, se mantiene una capa de lodo en el fondo del espesador para ayudar en la concentración del lodo. Una variable de operación es la proporción de volumen de lodo (SVR), lacual es el volumen de la capa de lodo dejada en el tanque dividido por el volumen de lodo removido diariamente. Valores del SVR están comprendidos entre 0.5 y 2 días.

$$SVR = \frac{\text{vol capa lodo en el espesador, en vol}}{\text{vol removido del tanque por día, en vol/día}} = \text{día}$$

Espesadores por flotación. (fig 3)

En el espesamiento por flotación, pequeñas burbujas de aire se descargan de la solución y se adhieren asímismas y se llegan a enredar en los flóculos del lodo. La mezcla de aire-sólidos se eleva a la superficie del tanque donde se concentra y es removido. Las principales variables en la operación son la tasa de recirculación, la concentración de sólidos en la alimentación, la tasa de aire-sólidos y las tasas de carga de sólidos e hidráulica. Presiones entre 40 y 60 psi son empleadas comunmente. Las tasas de recirculación se relacionan con las de aire-sólidos y con la concentración de sólidos de la alimentación.

9.3 Digestión.

Digestión anaeróbica.

Lagunas de lodos.

Las lagunas de lodos son esencialmente digestores grandes, poco profundas y sin calentamiento. Para pequeñas plantas y donde se dispone de grandes áreas éste proceso ofrece una solución económica para la disposición de lodo. Las lagu-

nas no permiten la recuperación de gas metano o la continua remoción del lodo digerido. Cuando la laguna se llenacon lodo, se debe abandonar o drenar y excavar el lodo digerido.

Tanque Imhoff. (fig 4)

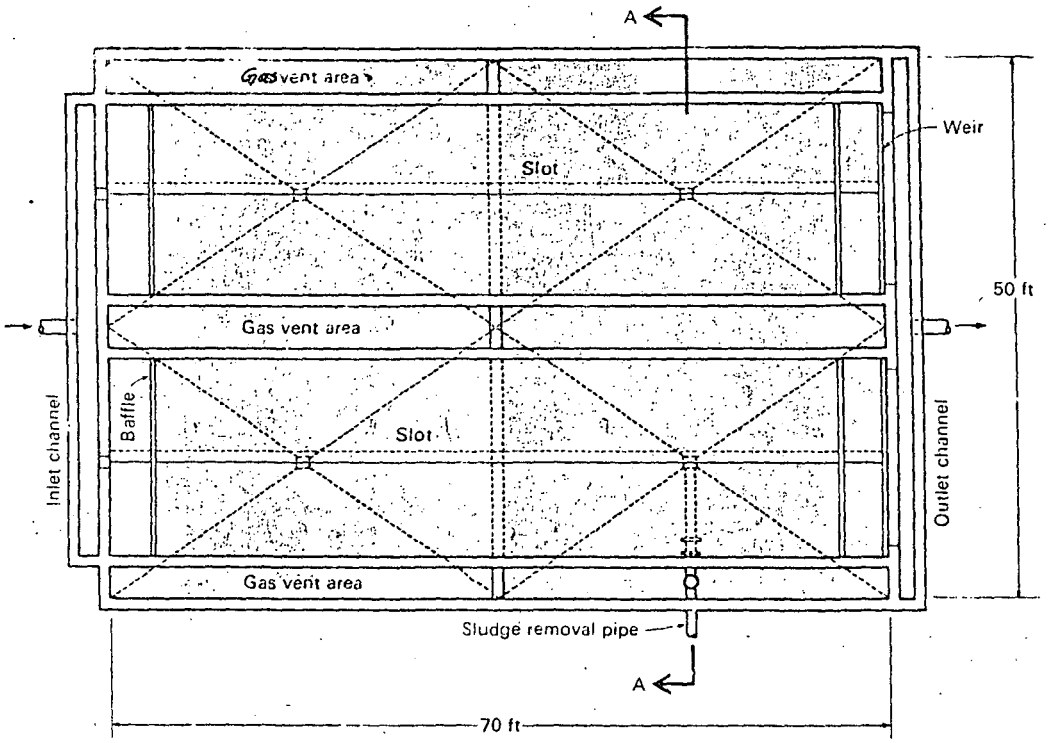
El tanque Imhoff recibe lodos primarios o primarios más los secundarios pero generalmente no se caliente, se realizan simultáneamente la remoción de sólidos sedimentables y la digestión anaeróbica de ésos sólidos. No hay equipo mecánico que mantener, y la operación consiste de remover la capa superficial diariamente y descargarla, en la lumbrera más cercana, cambiar el sentido del flujo del desecho crudo dos veces por mes para levantar los sólidos en los dos extremos del compartimiento de digestión y drenar los lodos periódicamente a las camas de lodos.

Digestión anaeróbica por contacto.

Algunos desechos industriales que tienen una alta DBO se pueden estabilizar eficientemente por el tratamiento anaeróbico. En éste proceso, el desecho crudo se mezcla con lodo recirculado y se digiere en una cámara de digestión. Después de la digestión, la mezcla se separa en un clarificador o en una unidad de flotación al vacío, y el supernadante se descarga como efluente. El lodo sedimentado se recircula al flujo de entrada.

Filtro anaeróbico.

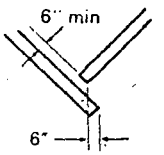
El filtro anaeróbico es una columna llena con empaque de roca de diferentes tamaños, de 1 1/2 a 2 pulg. El desecho fluye en dirección ascendente a través del medio de contacto de la columna sobre el cual las bacterias anaeróbicas crecen y son retenidas. Debido a que las bacterias son retenidas en el medio y no son arrastradas por la corriente, los tiempos



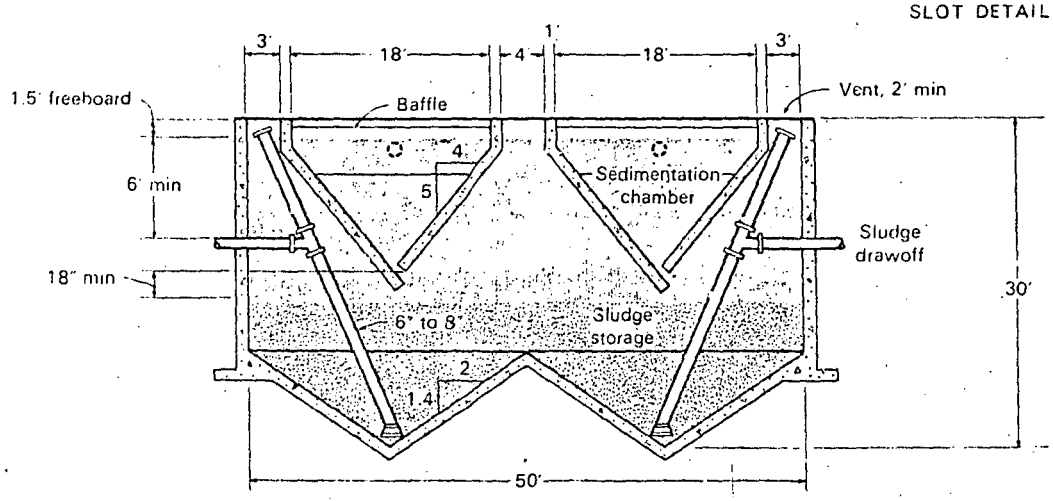
PLAN

Imhoff Tank

1. Flow Q av = 1.5 mgd
2. Detention time = 2 hr
3. Surface loading = 594 gpd/sq ft
4. Wier loading = 47,000 gal/linear ft
5. Sludge digestion volume = 30,000 cu ft
6. Scum area = 20 percent of total



SLOT DETAIL



SECTION A–A

Fig 4 Tanque Imhoff

de retención celular medios son del orden de 100 días. A causa de los grandos valores de Oc obtenidos con pequeños tiempo de retención hidraúlicos, el filtro anaeróbico parece ser aplicable a desechos de baja carga a temperaturas ambientales.

Digestión aeróbica.

La digestión aeróbica es una alternativa de tratar los lodos orgánicos producidos de varias operaciones de tratamiento. Los digestores aeróbicos se pueden usar para tratar solamente los lodos activados de desecho, mezclas de lodos activados de desecho o lodos de filtros rociadores y lodos primarios o lodos de desecho de plantas de tratamiento de lodos activados diseñadas sin sedimentación primaria. Para concluir, la digestión aeróbica se ha usado principalmente en plantas pequeñas, particularmente aeración extendida y estabilización por contacto.

Las ventajas pretendidas para la digestión aeróbica cuando se compara con la digestión anaeróbica incluyen:

1) reducción de sólidos volátiles aproximadamente igual a la obtenida anaeróbicamente.
2) menor DBO en el licor sobrenadante
3) producción de un lodo biológicamente estable y sin olor que puede disponerse fácilmente.
4) producción de un lodo con excelentes características de drenaje.
5) recuperación de la mayoría de los fertilizantes básicos en el lodo .
6) menos problemas de operación
7) menores costos de capital.

La principal desventaja del proceso parece ser el mayor costo de energía asociado con el abastecimiento del oxígeno requerido.

Descripción del proceso.

La digestión aeróbica es similar al proceso de lodos activados. Como el suministro de sustrato se restringe, los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma para obtener energía para el mantenimiento de las reacciones de la célula. Cuando ésto ocurre se dice que los microorganismos están en la fase endógena. El tejido celular se oxida aeróbicamente en CO_2, agua y amoniaco. Se debe enfatizar, sin embargo, que solamente cerca del 75 al 80% del tejido celular se puede realmente oxidar. El restante 20 a 25% se compone de compuestos inertes y orgánicos que no son biodegradables. El amoniaco de ésta oxidación se oxida a nitratos cuando la digestión se realiza.

Proceso de diseño.

Los factores que se deben considerar en el diseño del digestor aeróbico incluyen: tiempo de retención hidráulico, criterio de carga al proceso, requerimientos de oxígeno, requerimientos de energía para el mezclado, condiciones ambientales y proceso de operación.

Proceso de Operación.

La digestión aeróbica se realiza normalmente en tanques sin calentamiento similares a los usados en el proceso de lodos activados. Estos tanques se deberán equipar con dispositivos de decantación para que puedan usarse también para espesar los sólidos digeridos antes de descargarlos al subsecuente proceso de espesamiento o a las camas de secado de lodos. Si el digestor se opera de tal manera que el lodo influente sea usado para desplazar el sobrenadante y los sólidos son cedidos para incrementarlo, el tiempo de retención celular medio no será igual al tiempo de retención hidráulico.

9.4 Acondicionamiento de lodos.

El acondicionamiento de lodo se realiza con el propósito de mejorar sus características de drenaje. Los dos métodos más empleados involucran la adición de reactivos químicos y el tratamiento con calor. El congelamiento y la irradiación se han investigado. La eleutración se emplea para reducir los requerimientos de acondicionamiento químico.

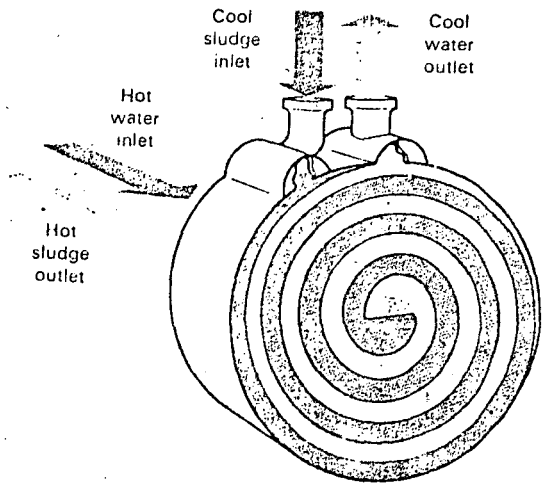
Eleutración.

La eleutración involucra el mezclado de lodo digerido con agua y resedimentación, no mejora las característica de drenaje, pero reduce los requerimientos de reactivos coagulantes. Los costos iniciales de operación para producir la eleutración deben justificarse por el resultante ahorro en los reactivos químicos.

La operación consiste de mezclar íntimamente un sólido o una mezcla líquida-sólida con un líquido con el propósito de transferir ciertos componentes al líquido. La operación usual de lavado consiste de dos pasos 1) un mezclado de los sólidos o de la mezcla sólido-líquido con el líquido de lavado y 2) separación del líquido de lavado. Cada combinación de mezclado y lavado es llamada un estado. Se dice que un estado es ideal si la concentración del componente de lavado es el mismo en el líquido separado como en el líquido que permanece con los sólidos. El mezclado y laseparación se realiza usualmente en tanques de separación.

Acondicionamiento químico.

El uso de reactivos químicos para el acondicionamiento de lodo que mejore el drenaje de su contenido líquido es económico debido a que mejoran sus características de manejo. El acondicionamiento químico resulta en la coagulación de sólidos y desalojo del agua absorbida. Este acondicionamiento es



Intercambiador de calor espiral a contracorriente

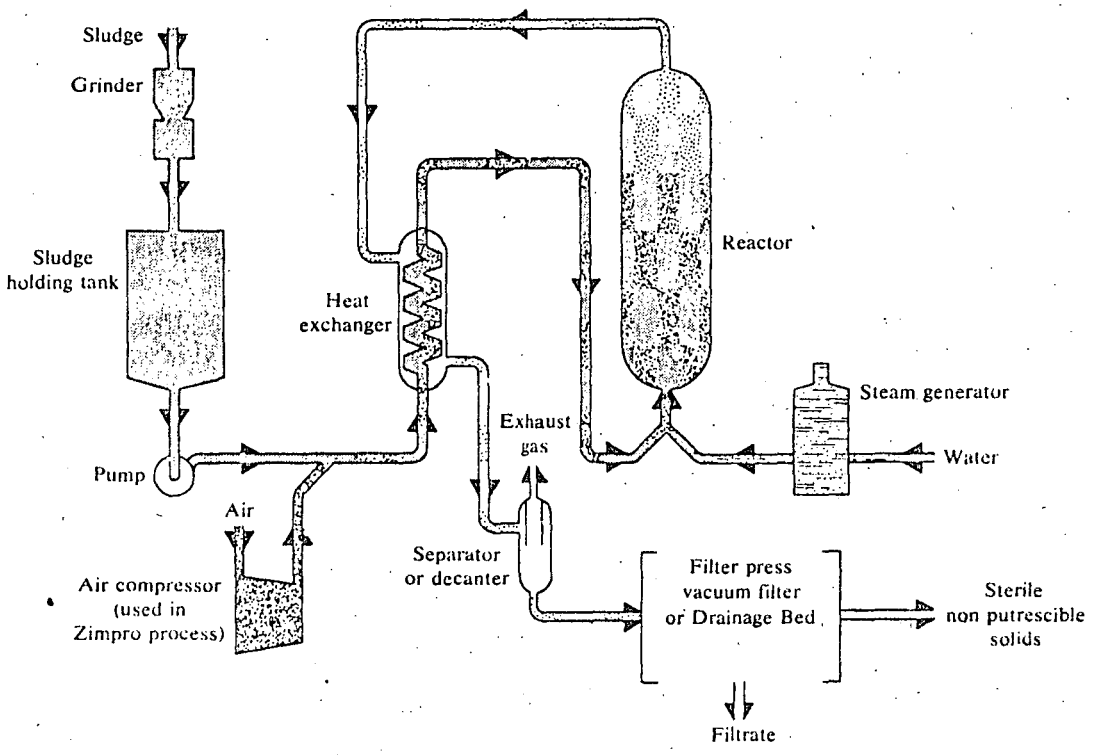


Fig 5 Proceso de digestión de lodos por calentamiento

aprovechable para una posterior filtración al vacío o centrifugación. Los reactivos químicos usados incluyen cloruro férrico, cal, aluminio y polímeros orgánicos.

Tratamiento por calor. (fig 5)

El tratamiento por calor es un proceso de acondicionamiento que involucra el calentamiento del lodo por períodos de tiempo cortos bajo presión. El tratamiento da por resultado la coagulación de los sólidos, rotura de la estructura gelatinosa y reducción de la afinidad del agua con los sólidos del lodo. Algunas características adicionales son la esterilización la practicamente deodorización y su drenado a través de filtración al vacío sin la adición de reactivos químicos.

En el proceso Porteus el lodo es precalentado pasándolo a través de un intercambiador de calor antes de que entre al reactor. La corriente se inyecta al tanque para elevar la temperatura a un rango de 290 a 390 F a presiones de 150 a 200 psi. Después de un tiempo de retención de 30 min en el reactor el lodo se descarga a través del intercambiador de calor a un tanque de decantación. El lodo espesado se puede filtrar para alcanzar un contenido de sólidos del 40 al 50%.

En el sistema Zimpro de baja presión el lodo se trata como en el reactor junto con el lodo. El tanque del reactor se calienta por la corriente a temperaturas en el rango de 300 a 400 F a presiones que varían de 150 a 300 psi. El calor desprendido durante la oxidación incrementa la temperatura de operación a un rango de 350 a 600 F. El lodo parcialmente oxidado se puede drenar por filtración, centrifugación o camas de secado. El contenido de sólidos del lodo desaguado varía entre un 30 y un 50% dependiendo del grado de oxidación deseado. Esencialmete la oxidación completa de los sólidos volátiles (aproximadamente el 90% de reducción) se logra con altas presiones y temperaturas (oxidación húmeda).

El líquido sobrenadante o filtrado de ésos procesos con-

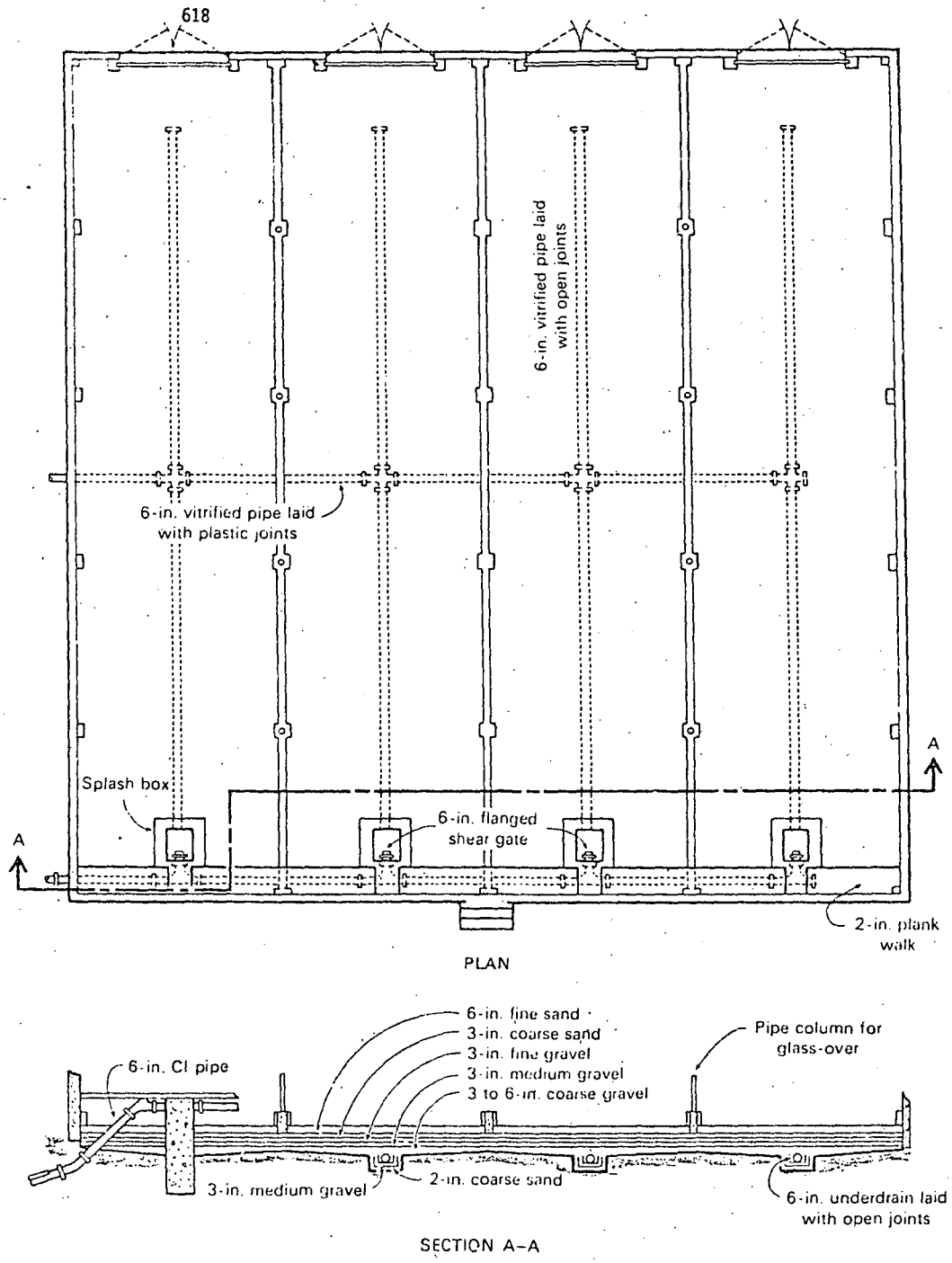


Fig 6 Cama de secado de lodos.

tiene altas concentraciones de compuestos orgánicos que son fáciles de tra tar en el proceso biológico.

9.5 Drenaje y secado de lodos.

El drenaje y secado de lodos son operaciones unitarias usadas para reducir el contenido de humedad del lodo de tal modo que pueda ser manejado y pr cesado como un semisólido y no como líquido.

Camas de secado. (fig 6)

El lodo se coloca en las camas en capas de 8 a 12 pulg. y se dejan secar. Después del secado, el lodo se remueve y se dispone en un relleno sanitario o como ayuda en la formación de suelos. El uso económico de éste proceso se limita a comunidades pequeñas o medianas.

El área de secado se subdivide en camas individuales de aproximadamente 6 m de ancho por 6 a 30 m de largo.

El lodo se seca mediante el sistema de drenaje que se encuentra en la parte inferior de la arena y por evapo ación de la superficie expuesta al aire.

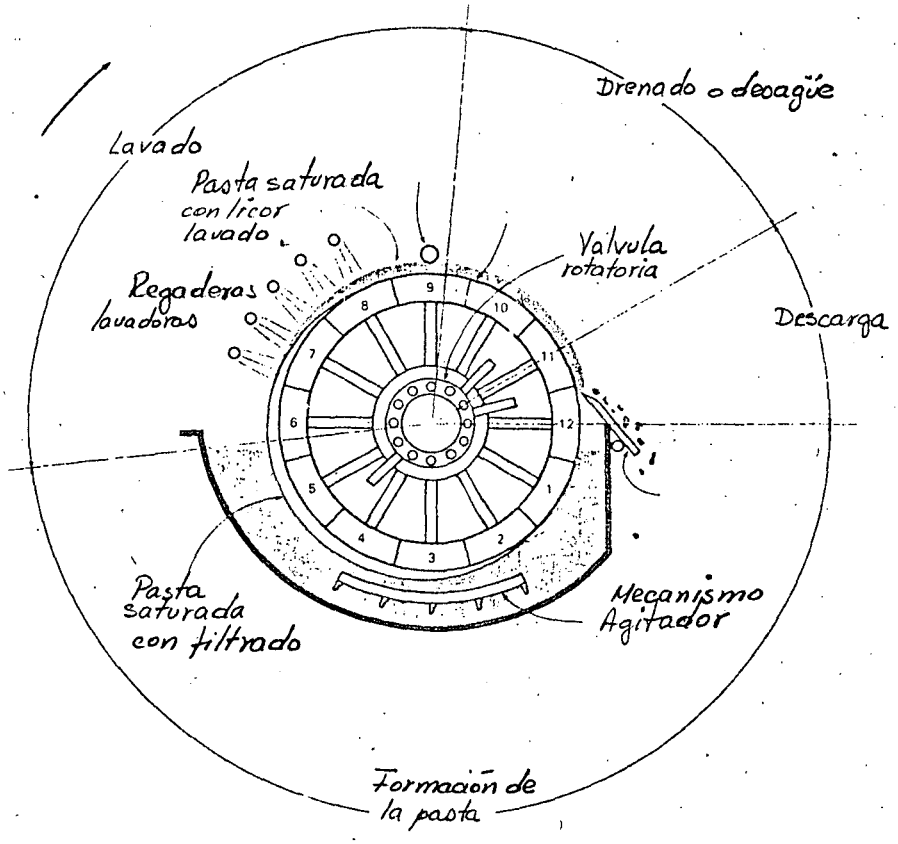
Las camas de secado están equipadas con tuberías de drenaje laterales (tubería vitrificada con uniones abiertas) espaciadas 2.5 m a 6 m.

El lodo se puede remover de las camasde secado después de que se ha drenado y secado lo suficiente para ser retirado manualmente. El contenido de humedad es de aproximadamente el 60% después de 10 a 15 días bajo condiciones favorables.

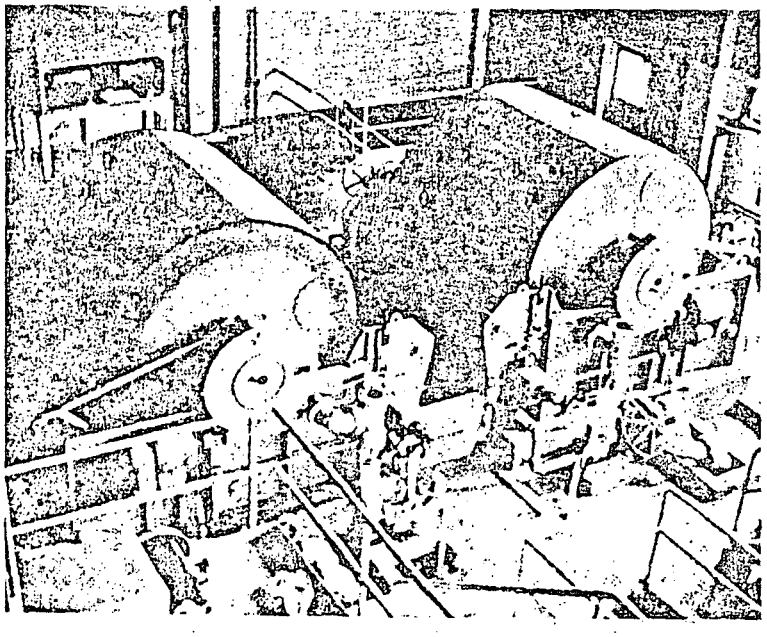
Filtración al vacío. (fig 7)

Filtración al vacío es probablemente el método más ampliamente usado de secado de lodos por procedimientos mecánicos. Un lodo drenado uniformemente puede obtenerse de un desecho crudo o digerido en cualquier momento.

Para visualizar la cantidad de agua removida, considere-



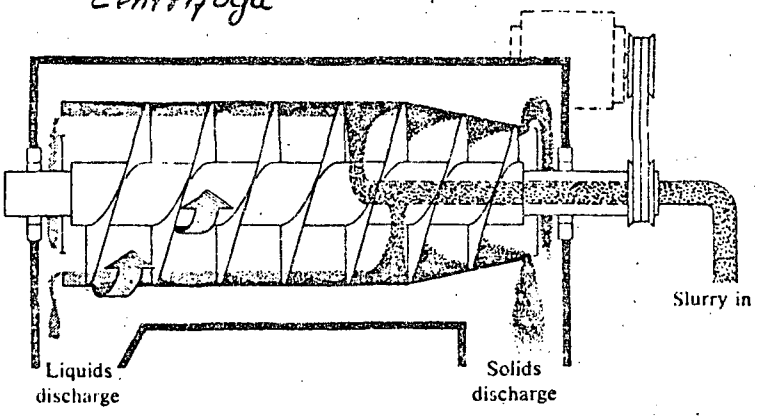
Sección transversal de un filtro al vacío



Instalación de un filtro al vacío

Fig 7

Centrifuga



remos una tonelada de lodo con 5% de sólidos, o 100 lb de sólidos secos y 1900 lb de agua. Después de filtrar hasta obtener un 30% de sólidos se habrían extraído 1667 lb de agua. Esto representa un 83% de reducción en el peso del lodo después del tratamiento.

La filtración al vacío es una operación contínua que generalmente se realiza sobre filtros con tambores cilíndricos. Estos tambores tienen un medio filtrante el cual puede ser algodón natural o fibras sintéticas. El tambor se sumerge parcialmente en un recipiente con lodo. Cuando el tambor gira lentamente, parte de su circunferencia se sujeta a un vacío interno que arrastra el lodo al medio filtrante. El agua se extrae a través del filtro. El arreglo de las tuberías en el filtro permite quela succión sea mantenida hasta el punto de descarga.

Centrifugación.

La centrifugación es un proceso ampliamente usado en la industria para la separación de líquidos de diferente densidad y para el espesamiento de mezclas o la remoción de sólidos. El proceso es aplicable a lodos para la remoción de agua. Las máquinas usadas en las plantas de tratamiento son del tipo de bolas con motores eléctricos. El lodo se alimenmenta en las bolas rotatorias a un gasto constante donde se separa en una pasta densa conteniendo los sólidos y en una corriente diluída que contiene sólidos finos de baja densidad y es retornada al espesador o al clarificador primario. La pasta de lodo contiene aproximadamente 75 a 80% de humedad. Dependiendo del tipo de lodo, la concentración de sólidos en la pasta varía del 15 al 40%, aunque reducciones arriba del 25% no son económicas.

La operación de la centrífuga es simple, limpia y relativamente poco costosa; normalmente no se requiere acondicionamiento químico. Se deben tomar especiales consideracio-

nes para dar fuertes cimientos debido a las vibraciones y ruido que resulta de la operación de la centrífuga.

La principal dificultad encontrada en la operación de las centrífugas ha sido la disposición del sobrenadante que contiene un alto contenido de sólidos no sedimentables. Dos métodos se han usado para controlar ésta descarga e incrementar la captura de los sólidos.

Mayor tiempo de retención de la corriente se logra reduciendo el flujo de alimentación o usando una centrífuga con mayor capacidad. El tamaño de las partículas se puede incrementar por coagulación del lodo antes de centrifugación con cloruro férrico, cal o polímeros orgánicos. La captura de sólidos se puede incrementar de un rango de 50 a 80% a otro de 80 a 95% de sólidos influentes.

Filtros de presión. (fig 8)

Un filtro de presión típico se presenta en la fig . Todos los prensadores son una serie de placas y marcas filtrantes en los cuales el lodo es sometido a presiones de cerca de 17.5 kg/cm^2 por un período de 30 min a 2 horas. El filtro de algodón retiene los sólidos y permite que el líquido pase. La operación automática abre las prensas, descarga la pasta y lava los medios entre ciclos. La principal ventaja de este proceso sobre el de filtración al vacío es la posibilidad de obtener una pasta seca, cuya importancia aumenta cuando se considera una incineración posterior.

Secado por calor.

El propósito del secado por calor es remover la humedad del lodo de tal manera que pueda ser incinerado eficientemente o procesado para fertilizante. El secado es necesario en la manufactura de fertilizantes para permitir la molienda del lodo, reducir su peso y prevenir que continue la acción

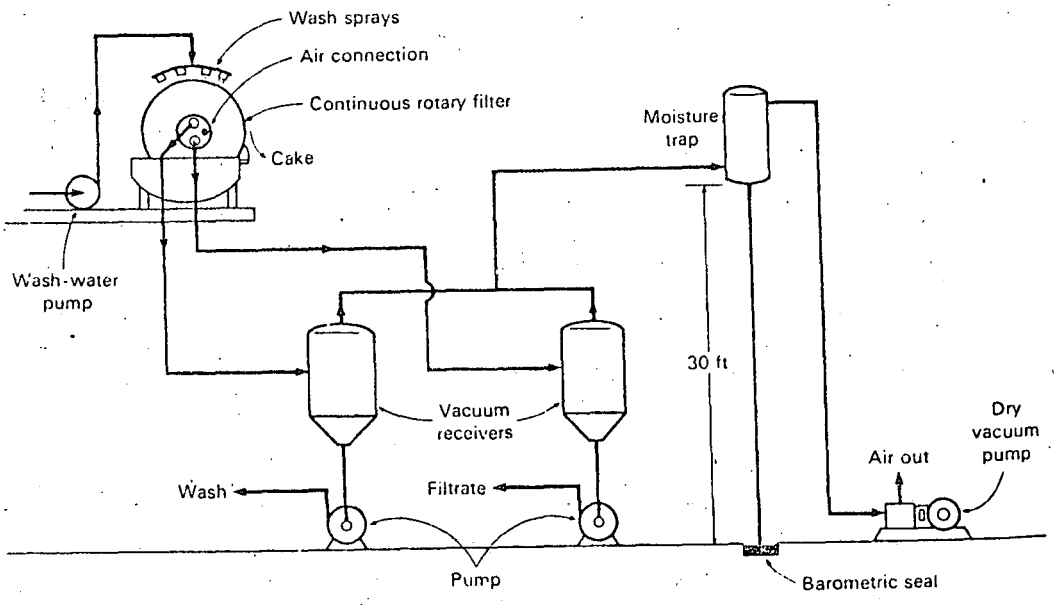


Fig 7 cont. Diagrama de flujo de una unidad de filtración al vacío.

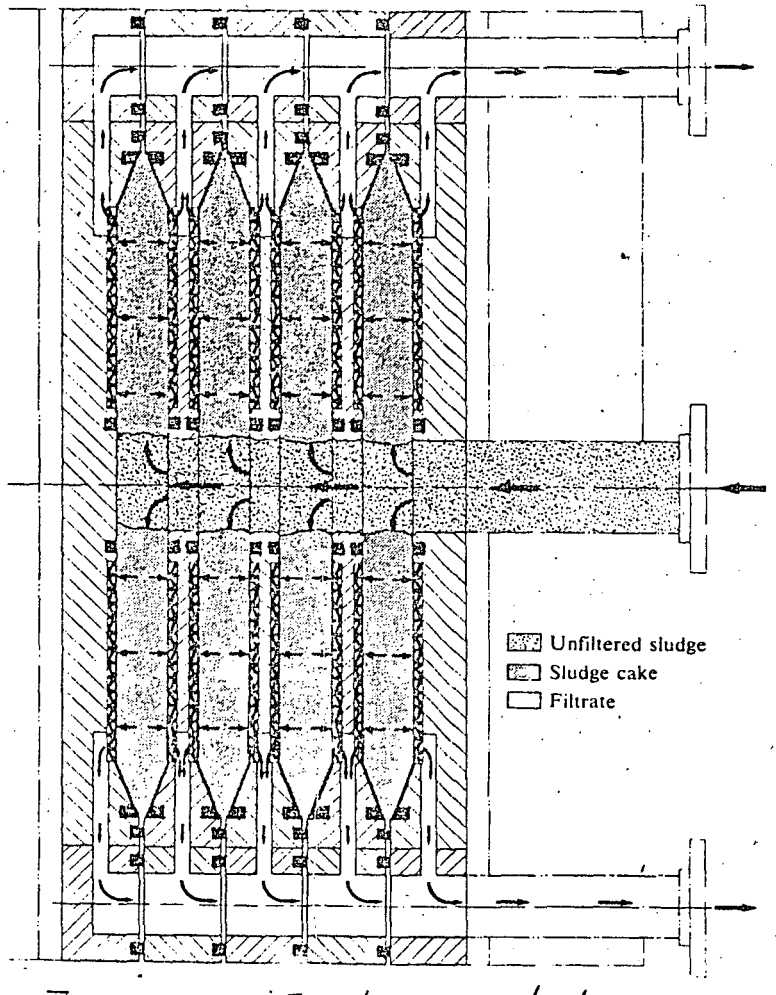


Fig 8 Sección transversal de un filtro de presión (diagrama de flujo)

biológica. El contenido de humedad del lodo secado es menor que el 10%. Para el secado por calor del lodo, el sistema más eficientemente usado es el de C.E Raymond Flash.

Las dos medidas de control más importante asociadas con el secado por calor son la colección de ceniza y el control de olor. Los separadores de ciclón con eficiencias de 75 a 80% están disponibles para el escape de gas a temperaturas superiores de 650 a 700 F.

El secado de lodos ocurre a temperaturas de aproximadamente 700 F, mientras que se requieren de 1200 a 1400 para la completa incineración. Para lograr la destrucción de olores los gases de salida deben alcanzar aproximadamente 1350 F. Así, si los gases involucrados en el proceso de secado son recalentados en un incinerador a un mínimo de 1350 F los olores serán eliminados. A bajas temperaturas puede suceder que los compuestos producidos por la parcial oxidación generen olor.

9.6 Incineración y oxidación húmeda.

Incineración. (fig 9)

El proceso de incineración es una extensión natural del proceso de secado, convirtiendo el lodo en una ceniza inerte la cual puede disponerse fácilmente. Con adecuado drenado de lodo (aproximadamente el 30% de sólidos), el proceso es usualmente autosustentante sin la nececidad de combustible suplementario, excepto para el calentamiento inicial y control del calor. Donde la incineración se usa para reducir el volumen de los sólidos de desecho que tengan un bajo contenido de humedad, se pueden incorporar convenientemente las instalaciones para la reducción del volumen del lodo de desecho. Si la incineración es usada solamente para la reducción del volumen de lodo, podría preferirse incinerar el desecho más que digerir el lodo debido a su mayor valor calorífico (Btu).

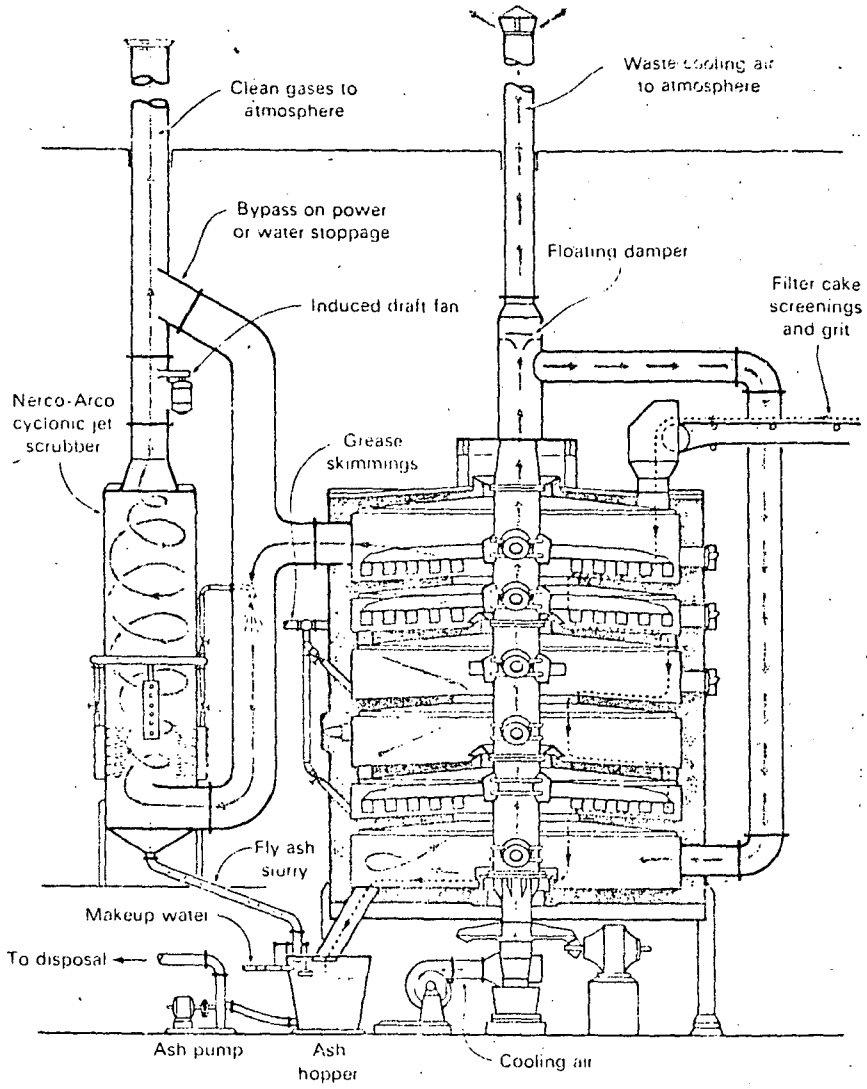


Fig 9 Incinerador

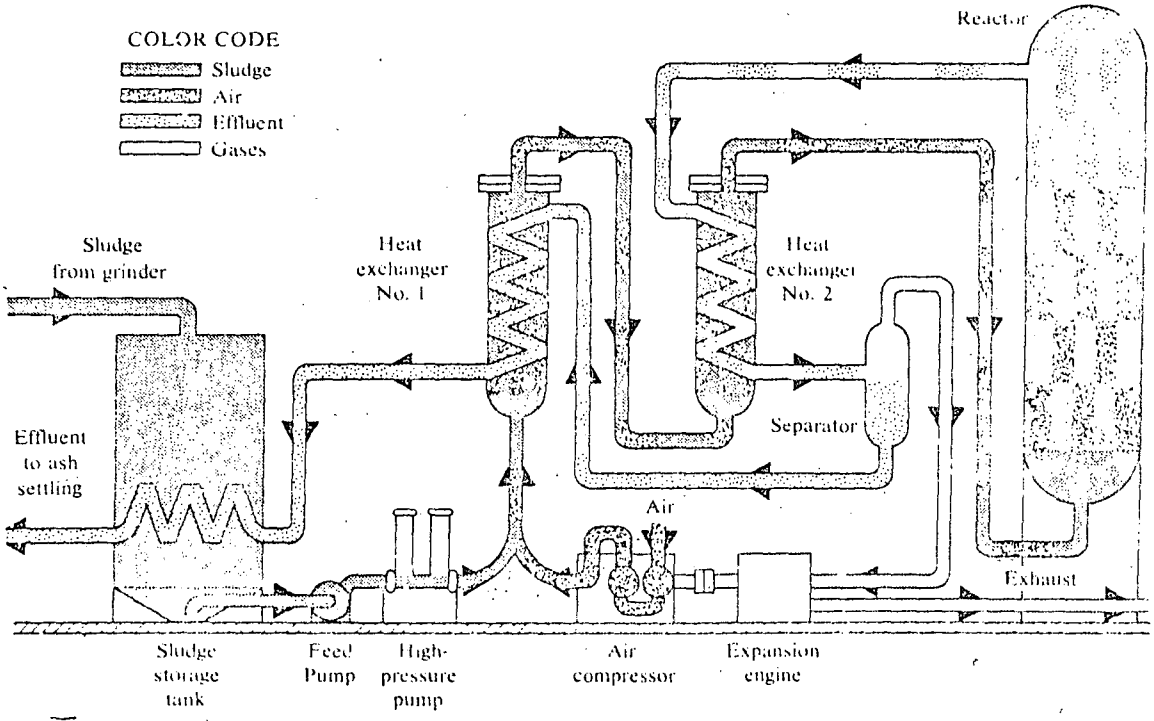


Fig 10 Oxidación Humeda (Proceso Zimpro)

Oxidación húmeda. (fig 10)

El proceso Zimmerman involucra la oxidación húmeda del lodo de desecho a una elevada temperatura y presión. El proceso es el mismo que se discutió en el tratamiento por calor excepto que mayores presiones y temperaturas son requeridas para oxidar los sólidos volátiles completamente.

9.7 Disposición final de lodos y cenizas.

Disposición en el suelo.

Los métodos más comunes de disposición en el suelo incluyen dispersión en el suelo, lagunas amontonamiento y relleno sanitario.

Dispersión en el suelo.

El lodo digerido por vía húmeda puede disponerse por dispersión sobre tierras agrícolas y ararla hasta su secado. El humus en el lodo condiciona el suelo impartiéndole su retención de humedad. El lodo digerido puede ser secado por calentamiento, enterrado en el suelo, y fortificado con nitrógeno para darle algún valor de fertilizante.

Lagunamiento.

El lagunamiento del lodo es otro método popular de disposición debido a su simplicidad y economía si la planta de tratamiento está en un lugar remoto. Una laguna es un depósito en el cual el lodo digerido o crudo es depositado. Las lagunas estabilizan éste desecho por descomposición aeróbica y anaeróbica, lo cual puede provocar olores objetables. Los sólidos estabilizados se sedimentan en el fondo de la laguna y se acumulan. El líquido en esceso de la laguna, si hay alguno, se retorna a la planta para tratamiento. El lodo puede almacenarse indefinidamente en la laguna, o puede ser removido periodicamente después de drenado y secado.

Amontonamiento.

El amontonamiento es un método de disposición adecuado solamente para lodos que han sido estabilizados de tal manera

que no habrá descomposición o se presentarán condiciones dañinas .

Relleno sanitario.

Un relleno sanitario se puede usar para la disposición de lodo, grasas y arenas estén estabilizados o no, si existe un sitio disponible y conveniente. En un verdadero relleno sanitario los desechos se depositan en un área designada, compactada en el lugar con un tractor y cubierta con una capa de 12 pulg de suelo limpio.

Disposición al mar.

La disposición de lodos digeridos al mar es usado por algunas grandes ciudades costeras. El lodo se puede acarrear lejos de la costa en barcazas o depósitos de lodos y allí tirarlos o pueden ser bombeados a aguas poco profundas através de difusores acuáticos. También se pueden mezclar y descargar con el efluente de la planta. Si se utiliza un emisor éste debe terminar donde las velocidades de las corrientes sean adecuadas para dar suficiente mezclado para la dilución y prevenir la formación de bancos de lodos. Debido a que las mezclas de desecho y lodos tienen una gravedad específica menor que la del agua de mar, pueden elevarse a la superficie bajo ciertas condiciones.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

9. DIGESTION Y MANEJO DE LODOS

9.1 DIGESTION AEROBIA

9.2. DIGESTION ANAEROBIA

ING. FRANCISCO MONTEJANO U.
ING. FRANCISCO FLORES HERRERA.

SEPTIEMBRE, 1978.

Palacio de Minería Calle de Tacuba 5, primer piso. México 1. D. F.

9.2 DIGESTION ANAEROBIA

9.2.1 Diversos tipos de Digestores

Fosas Sépticas

Tanques Imhoff

Tanques de Digestión Separada

Cubierta fija

Cubierta flotante

9.2.2 Descripción del proceso

El proceso consiste en la estabilización de la materia orgánica putrecible, a través de las actividades biológicas de microrganismos que toman oxígeno para su subsistencia, de compuesto que lo contienen, como nitratos y carbonatos, *pero no usan el oxígeno libre del aire.*

Por tanto, el proceso debe realizarse en especios cerrados.

En un tanque digestor que se pone en operación por primera vez, el proceso tiene lugar en tres etapas.

Primera etapa: "Fermentación ácida"

a) Descenso del pH hasta 6 mínimo

b) Si la temperatura es de 15 a 20°C, la etapa dura 2 semanas aproximadamente.

c) Producción de olores ofensivos

d) Muy poca producción de gas (CO_2)

Operación:

Cargar el digestor. Sembrar. (1 vol. de lodo digerido para 2 de lodos crudos). Poner en marcha los dispositivos de control: Temperatura de lodos (36°C); Temperatura del agua de calefacción (56°C) Gasto de agua de calefacción, (diferente para cada caso particular) poniendo en marcha las bombas de recirculación.

Poner en marcha la agitación (mecánica o hidráulica)

Muestreo de lodos crudos entrantes

Muestreo de gases

En el laboratorio: Determinación de Sólidos Totales y de Sólidos Volátiles de los lodos entrantes y de los lodos en proceso de digestión.

Medición de pH en lodos entrantes y en proceso

Análisis de gases: CO_2 ;

Si el pH baja menos de 6, agragar cal hidratada diariamente 5 kg, por cada 50 kg. de lodos

En la actualidad se habla de controlar el pH con bicarbonatos.

Esta etapa no existe en la operación establecida ó continua.

Segunda etapa: "Regresión ácida"

El pH sube a 6.8. Hay poca producción de gas H_2 y CO_2. Hay olores extremadamente ofensivos .

Los lodos son color gris y espumosos; pegajosos; comienzan a formar escoria. Dura 3 meses a 15°C.

Operación:

Además de las actividades indicadas para la la. etapa, es necesario poner en marcha el sistema de recolección y almacenamiento de gases:

Medidor de gases, quemadores, trampas, gasómetro.

En el laboratorio: Se determinan CO_2 y H_2 .

Si es necesario, seguir agragando Cal.

Tampoco existe esta etapa en la operación continua o establecida.

Tercera etapa: "Fermentación alcalina"

El pH se estabiliza en 7 ó un poco más.

Se producen grandes cantidades de CH_4 y CO_2. Los lodos son de olor alquitranado. En operación no continua dura 1 mes a 15°C. Volviéndose estable el lodo, y deja de producir gas.

En operación continua la producción de CH_4 y CO_2 es permanente.

Operación:

Además de las actividades anteriores, encender quemadores; vigilar trampas de condensación y trampas de flama.

Tan pronto como el laboratorio registre producción de CH_4, se debe comenzar a registrar las lecturas del medidor de gas.

Se inicia la extracción de lodos y de sobremadante o licor.

Otros aspectos importantes del proceso

Operación continua.

Como se ha mencionado antes, en la operación continua, las dos primeras etapas no existen, de tal modo que el tiempo necesario para que se estabilice el lodo, es corto relativamente.

Cada porción que entra segundo a segundo, debe permanecer en el tanque un cierto tiempo para que tenga lugar la estabilización completa (para que cada una de esas porciones produzca la mayor parte de gas de que es capaz de producir).

A ese tiempo se le llama tiempo de residencia.

Ese lapso de tiempo depende de la temperatura a que se mantenga el lodo.

A 42°C, el lodo tarda aproximadamente 30 días en estabilizarse

A 35°C, el lodo tarda aproximadamente 24 días

A 20°C, el lodo tarda aproximadamente 40 días

A 15°C, el lodo tarda aproximadamente 55 días

Como puede verse en la table, existe una temperatura (35 ó 36°C) para la cual el tiempo es mínimo: 24 ó 25 días.

A esa temperatura se le llama:

"Temperatura óptima"

El volúmen necesario de tanque depende a su vez, del gasto de lodos que entran, y del tiempo.

Para que esos tanques sean del tamaño mínimo, es necesario calentarlos a la temperatura óptima.

Por tanto, un aspecto importante de la operación, es la calefacción, que puede hacerse mediante agua caliente, (a 55 ó 58°C) a través de tuberías de cobre en forma de serpentin.

El agua deja el calor a los lodos manteniéndoles a 35°C, y sale a 50°C.

Los lodos en proceso de digestión producen CH_4 y CO_2 (operación continua); este implica otros aspectos importantes de la operación:

Recolección de gases

Conducción

Almacenamiento

Utilización

Recolección

La recolección tiene lugar en el especio que queda debajo de la cubierta (flotante o fija) a presiones ligeramente mayores que la atmosférica.

Peligros

Cuando tiene lugar una mezcla de aire y de gas, en las proporciones de 1 volumen de gas, con 5 a 15 volúmenes de

aire, la mezcla se vuelve violentamente explosiva.

Por tanto:

Las cubiertas y las tuberias no deben tener fugas.

Las tuberias deben tener inclinaciones hacia las trampas de condensación y sus diámetros deben ser de 2 1/2" ó mayores.

Conducción

Las tuberias que conducen el gas a los quemadores, o a los motores, deben estar protegidas por "trampas de flama" y tranpas aliviadoras de presión.

Almacenamiento

Como la utilización del gas lleva un ritmo diferente de la producción, es necesario almacenar la mayor parte del gas, y quemar el sobrante.

El almacenamiento se hace en depósitos esféricos, "gasómetros" que deben ser vigilados en forma semejante a los digestores.

La presencia de mezclas explosivas, implica que además de los cuidados mencionados, en la zona de digestores de una planta, no deben realizarse actividades que puedan producir impactos, o razomientos que pudieran producir chispas, que a su vez, sean el motivo de explosiones de las mezclas de aire y gas.

Es necesario fijar rótulos que prohiban fumar.

En ocaciones, el H_2S puede estar presente en los lodos digeridos.

El H_2S es toxico. Su presencia puede ser notada a bajas concentraciones (0.001%)

Pero a altas consentraciones el olor puede ser menos penetrante; exposiciones braves a concentraciones de 0.1%, pueden ser fatales.

Utilización o aprovechamiento del gas

En motores de gas, para producir energía con la que se impulsan las fuelles mecánicas que mandan aire a presión a los tanques de lodos activados.

El agua que se introduce en el serpentín de los digestores, puede calentarse mediante recuperadores de temperatura, en los tubos de gases que mandan de los motores de gas. Así, el gas de la digestión calienta a los lodos que lo producen.

En quemadores para calefacción invernal de los edificios de la planta.

Los lodos ya digeridos contienen mucha agua (practicamente es agua).

Es necesario someterlos a otros procesos de deshidratación:

Lechos de secado ó

Filtraciones al vacio ó

Centrifugación

para los cuales, son necesarios, pruebas de laboratorio tales como la

Drenabilidad

La centrifugación y la filtración al vacio requieren procesos previos de "acondicionamiento", consistente en la cuagulación de los lodos mediante Cal ó $Fe_2 Cl_3$.

Una vez desecados los lodos, aún pueden utilizarse para base de fertilizantes, para fabricación de bloques de construcción, etc.

Disposición.

Enterramiento

Rellenos

Incineración

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS

TABLA No. 10

VALORES DE COMBUSTION APROXIMADOS DE LOS LODOS DE LAS AGUAS NEGRAS, PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE MATERIA VOLATIL, EXPRESADA EN PORCIENTO DE LOS SOLIDOS SECOS.

Contenido de materia volátil, en % de los sólidos secos	Valor de combustion B. t.u./lb. de sólidos secos		Valor de combustión en calorías/Kg de sólidos secos	
	Lodos de Sed. simple	Lodos Activados	Lodos de Sed. simple	Lodos activados
100	12,000	10,200	6,670	5,600
90	10,500	9,100	5,830	5,050
80	9,200	8,000	5,100	4,440
70	7,800	6,900	4,320	3,830
60	6,500	5,900	3,600	3,280
50	5,200	4,800	2,880	2,670
40	3,900	3,800	2,170	2,110
30	2,700	2,700	1,500	1,500

FMU/cgg.

TABLA 1

CALCULOS DE LA CANTIDAD Y NATURALEZA DE LOS LODOS DOMESTICOS
VALORES EN GRAMOS/HAB/DIA

Proceso de tratamiento	Sólidos Totales	Sólidos orgánicos	Sólidos minerales	Peso Esp.
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
Sólidos en suspensión en las aguas negras				
Sólidos totales en suspensión...	90	65	25	1.20
Sólidos sedimentables.....	54	39	15	1.20
Sólidos no sedimentables	36	26	10	1.20
I. Sedimentación simple(primaria)				
1. Sólidos eliminados=Lodos nuevos	54	39	15	1.20
Sólidos digeridos[1]	..	- 26	+ 6	..
2. Sólidos que quedan = Lodo digerido	34	13	21	1.59
II. Filtración por rociamiento#				
Sólidos no sedimentables afectados	36	26	10	1.20
Sólidos digeridos durante la filtración[2]	- 12	- 9	3	..
Sólidos por eliminarse	24	17	7	1.21
3. Sólidos eliminados[3]	13	9	4	1.23
4. I y II combinados = Mezcla de lodos nuevos	67	48	19	1.21
Sólidos digeridos[1]	..	- 32	+ 8	..
5. Sólidos que quedan = Mezcla de lodos digeridos	43	16	27	1.60
III. Activación				
Sólidos no sedimentables afectados	36	26	10	1.20
Sólidos digeridos durante la activación[4]	- 2	- 2	- 0	..
Sólidos por eliminarse	34	24	10	1.23
6. Sólidos eliminados = Lodos activados nuevos[5]	31	21	10	1.23
Sólidos digeridos[1]	..	- 14	+ 4	..
7. Sólidos restantes = Lodos activados digeridos	21	7	14	1.67
8. I y III combinados = Mezcla de lodos nuevos	85	60	25	1.21
Sólidos digeridos[1]	..	- 40	+ 10	..
9. Sólidos que quedan = Mezcla de lodos digeridos	55	20	35	1.60
10. Lodos primarios digeridos y lodos activados nuevos	65	34	31	1.40

TABLA 11
2.

Proceso de tratamiento	Sólidos Totales	Sólidos orgánicos	Sólidos minerales	Peso Esp.
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
IV. Precipitación Química				
Sólidos eliminados[6]	72	52	20	..
Sustancias químicas agregadas[7]	..	..	+ 6	..
11. Sólidos precipitados	78	52	26	1.25
Sólidos digeridos[8]		- 31	+ 8	..
12. Sólidos que quedan después de la digestión	55	21	34	1.59

#. Si los filtros se operan a gastos altos, en etapas, o con recirculación del efluente, tienen que hacerse los ajustes adecuados.

##. Si se reduce o elimina la sedimentación primaria, se tienen que hacer las correcciones del caso.

1. 2/3 de los sólidos orgánicis se gasifican, licúan o mineralizan, una cuarta parte se transforma en sólidos minerales.

2. Una tercera parte de los sólidos.

3. 55% de los sólidos por eliminarse.

4. 5% de los sólidos.

5. 90% de los sólidos por eliminarse.

6. 80% de los sólidos suspendidos.

7. 30 p.p.m. de $Fe\ Cl_3$ convertidos en $Fe\ (OH)_3$ (303 lts de aguas negras).

8. 60% de sólidos orgánicos, 1/4 volviéndose mineralizados.

9. Suponiendo un peso específico para la materia orgánica de 1.0 y un peso específico para la materia mineral de 2.5.

$$\text{Peso específico} = \frac{B}{\frac{C}{1} + \frac{D}{2.5}} = \frac{2.5\ B}{2.5\ C + D}$$

TABLA 12

Cantidad y naturaleza de los lodos de las aguas negras domésticas para un gasto específico de 303 lts/ hab /día (80 Galones/hab./día)

PROCESO DE TRATAMIENTO	Sólidos secos				Sólidos mojados		
	Gms /hab /día	Kgs/m³ de aguas negras	% de sólidos	Peso específico	m³/ 1000 hab/ día	m³/m³ de aguas negras	Valor de combustión, en Cals./Kg. de sólidos secos
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Sedimentación simple (primaria)							
1a. Lodos nuevos, bombeados desde los tanques con fondos en forma de tolva.....	54	0.178	2.5	1.004	2.151	0.0071	4,520
1b. Lodos nuevos, exceso de agua separada durante la eliminación.....	54	0.178	5.0	1.008	1.071	0.00353	4,520
2. Lodos digeridos mojados	34	0.112	13.0	1.051	0.249	0.00082	2,070
Sedimentación simple y filtración por rociamiento#							
3. Lodos secundarios (humus)....	13	0.043	8.0	1.014	0.160	0.00053	3,730
4. Mezcla de lodos nuevos primarios y sec.....	67	0.221	5.4	1.009	1.229	0.00406	4,360
5. Mezcla de lodos digeridos mojados.....	43	0.142	10.0	1.039	0.414	0.00136	2,000
Sedimentación simple y activación##							
6a. Lodos activados excedentes, nuevos, boms.....	31	0.102	0.7	1.001	4.424	0.01460	3,730
6b. Lodos excedentes, con 1 h. de reposo.....	31	0.102	1.5	1.003	2.060	0.00680	3,730
7. Lodos activados digeridos, mojados#.....	21	0.069	2.5	1.009	0.835	0.00275	1,725
8. Lodos nuevos, sedimentados, prims. y secundarios'.....	85	0.280	4.5	1.008	1.874	0.00618	4,230
9. Mezcla de lodos digeridos mojados.....	55	0.181	7.0	1.027	0.765	0.00252	1,940
10. Lodos primarios digeridos y mojados, y lodos activados nuevos (recientes).....	65	0.214	2.8	1.007	2.305	0.00762	2,870
Precipitación química							
11. Lodos nuevos.....	78	0.257	5.0	1.013	1.540	0.00510	4,180
12. Lodos digeridos mojados.....	55	0.181	10.0	1.038	0.530	0.00175	2,430

Si los filtros son operados a gasto alto, en etapas o con re-circulación del efluente, estas cifras tienen que sufrir las modificaciones necesarias.

Si se ha reducido o eliminado la sedimentación primaria, tienen que hacerse los ajustes adecuados.

' Lodos activados excesivos, devueltos a los tanques primarios.

(b) Véase tabla 11. (c) = b/303; (d) Valores comunes. (e) E de la tabla 11

$$(f) = \frac{b}{d \times e \times 10}; \quad (g) = \frac{f}{303}; \quad e = \frac{100}{\frac{d}{E} + \frac{100 - d}{1.0}}$$

TABLA 13

PRODUCCION NORMAL DE GAS DE LOS LODOS DE AGUAS NEGRAS, BIEN SEMBRADOS, PARA DIFERENTES INTERVALOS DE TIEMPO Y A DIFERENTES TEMPERATURAS

Volumen total de gas en m^3/Kg de materia volátil

Tiempo en días#	Temperatura en Grados Centígrados				
	10	15	20	25	30
5	0.087	0.144	0.218	0.332	0.450
10	0.156	0.243	0.357	0.506	0.630
15	0.218	0.318	0.450	0.600	0.705
20	0.262	0.382	0.506	0.650	0.737
25	0.300	0.418	0.542	0.675	0.750
30	0.332	0.450	0.557	0.687	0.757
40	0.375	0.487	0.593	0.700	0.762
50	0.400	0.506	0.600	0.705	------
60	0.418	0.518	0.607	0.705	------
90	0.443	0.532	0.612	------	------
Producción límite	0.450	0.532	0.612	0.705	0.762
Período de retardación en días	21	19	17	12	13

Excluyendo el período de retardación

FMU'cgg

TABLA 14

Capacidades básicas de tanques digestores
Temperatura normal de digestión: 15.5 grados C. (60 grados F.)

Tipo de lodo digerido	Capacidad básica de tanque		Carga en Kg de sólidos secos por mes, por metro cúbico de capacidad básica de tanque digestor
	m^3 de tanque por habitante	m^3 de tanque por Kg de sólidos secos agregados diariamente	
(A)	(B)	(C)	(D)
I. Sólidos de sedimentación simple	0.0288	0.532	57.0
II. Sólidos de sedimentación simple y humus de filtros rociadores #.....	0.0368 a 0.424	0.55 a 0.63	55.2 a 48.1
III. Sólidos de sedimentación simple y lodos activados	0.071 a 0.085	0.83 a 1.00	36.4 a 30.4
IV. Lodos activados##	0.071 a 0.085	2.28 a 2.74	13.3 a 11.1
V. Lodos químicamente precipitados	0.057	0.73	41.6

Para operación a alto gasto, tratamiento por etapas, y recirculación del efluente, deben hacerse los ajustes adecuados.

Capacidad adicional a la de los lodos primarios. Si se tiene una sedimentación primaria reducida, o si se ha eliminado del todo, deben hacer se las correcciones adecuadas.

$$C = \frac{1000\ (B)}{\text{Columna(b) de la tabla 12}} \qquad D = \frac{(\text{Columna(b) de la tabla 12}) \times (30.4)}{1{,}000\ (B)}$$

EMI'cgg

TABLA

PESOS, VOLUMENES Y VALORES TERMICOS DE LOS GASES PRODUCIDOS POR LOS LODOS

	Sólidos de la sedimentación primaria	#Humus de filtros rociadores a bajo gasto	#Lodos activados	Lodos químicamente precipitados
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
(1) Peso total del gas en Kg por Kg de materia volátil destruida	1.25	0.70	0.70	1.25
(2) Peso del gas CH_4 en Kg/Kg de materia volátil destruída	0.60	0.33	0.33	0.60
(3) Peso del gas CO_2 en Kg/Kg de materia volátil destruida ...	0.65	0.37	0.37	0.65
(4) Volumen de CH_4 en m^3 por Kg de materia volátil destruida	0.843	0.462	0.462	0.843
(5) Volumen de CO_2 en m^3/Kg de materia volátil destruida	0.331	0.187	0.187	0.331
(6) Volumen total de gas en m^3/Kg de materia volátil destruida.	1.174	0.649	0.649	1.174
(7) Porciento de CH_4 en volumen..	72	71	71	72
(8) Valor neto de combustión del gas en calorías/m^3	5749.2	5659.2	5659.2	5748.2
(9) Valor neto de combustión del gas en calorías/Kg de materia volátil destruida	6723.5	3667.4	3667.4	6723.5
(10) Sólidos digeridos, en Kg por 1000 hab. por día	20	4	10	23
(11) Total de gas producido en m^3/hab/día	0.02350	0.00260	0.0065	0.0270
(12) Valor de combustión neto producido en Cals/hab/día	135.1	14.7	36.8	155.24

\# Adicional al gas primario. Si se ha reducido o eliminado la sedimentación primaria deben hacerse los ajustes necesarios. La operación de filtros rociadores a gastos altos, produce un humus que cae entre (c) y (d) dependiendo de que se haga uso de los procedimientos de tratamiento por etapas y recirculación.

(1) El peso del gas de los lodos, normalmente producido por la digestión de los sólidos de la sedimentación simple, está bien determinado. Para el humus y lodos activados estos valores no están muy bien determinados.

FMU:cgg.

TABLA [illegible]

POTENCIA Y CALOR PROPORCIONADO POR EL GAS DE LOS LODOS GENERADOSPOR 1000 PERSONAS EN UN DIA

Tipo de Planta	Potencia del Motor de gas en H.P.	Calor para Calderas en Cal/día	Lodos mojados en kg/día	Elevación útil de Temperatura en C	Temperatura que se puede mantener en el tanque C
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Tanques sedimentadores	1.9	66,700	1080	30.6	40.6
Tanques sedimentadores y filtros rociadores (1)	2.1	74,300	1245	30.0	40.0
Tanques sedimentadores y tanques de lodos activados (2)	2.5	85,000	1890	22.8	32.8
Tanques de lodos activados (3)	2.5	85,000	3130	13.3	23.3
Lodos químicamente precipitados	2.1	78.000	1560	25.0	35.0

(1) Operación a bajo gasto; la operación a alto gasto puede alcanzar valores mas cercanos a los de los lodos activados.

(2) Lodos activados excesivos retornados a los tanques de sedimentación primarios.

(3) Lodos activados excesivos mezclados con los lodos primarios.

FMU'cgg.

TABLA 17

AREAS Y CARGAS UNITARIAS PARA LECHOS DE SECADO ABIERTOS

Tipo de lodo digerido	Area en m^2 por habitante	Carga de lodos, sólidos secos en $Kg/m^2/año$	Pasta seca de lodos por eliminarse, en cantidades por 1000 habitantes por día	
			m^3	Kg
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
I. Sólidos de sedimentación simple	0.089	139	0.125	85
II. Sólidos de sedimentación simple y humus de filtros rociadores	0.151	104	0.205	107
III. Sólidos de sedimentación simple y lodos activados	0.279	72	0.382	137
IV. Lodos químicamente precipitados	0.194	104	0.295	137

Suponiendo que en un año se puedan hacer 5 tendidos de 0.20 m de espesor

$$(B) = \frac{(\text{Columna (f) de la Tabla 12}) \times 365}{5 \times 0.20 \times 1000}$$

$$(C) = \frac{(\text{Columna (b) de la Tabla 12}) \times 365}{1000 \times \text{Columna (B)}}$$

(D) = 0.5 x (Columna (f) de la Tabla 12), muy variable

(E) = Columna (b) de la Tabla 12 ÷ 0.4

La filtración por rocío a alto gasto puede requerir áreas de secado muy parecidas a las de las plantas de lodos activados.

Para lechos cubiertos las columnas (D) y (E) no cambian. La columna (B) se modifica en 1/4 a 1/2 y la columna (C) aumenta en un 33% a 100%.

Si el número de tendidos durante el año es mayor que 5, el espesor de cada tendido es diferente de 0.20 m, las columnas (B) y (C) tienen que modificarse proporcionalmente.

FMU'cgg.

TABLA 18

CANTIDADES DE SUSTANCIAS QUIMICAS EMPLEADAS EN EL ACONDICIONAMIENTO DE LODOS Y PRODUCCION DE LOS FILTROS AL VACIO PARA LODOS

Tipo de lodo	Acondicionador, % de sólidos de lodos secos		Sólidos secos Kg/1000h/día	Capac. de filtro en Kg/m² 1 hora (Sólidos secos)	Costra de sólidos %	Area requerida de filtro en m²/1000 h.	Pasta lodos Kg/1000 h/día	Acondicionador en Kg/1000h/día	
	C_aO	$FeCl_3$						C_aO	$FeCl_3$
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)
Sedimentación simple (Primaria)									
1. Lodos nuevos	10	3	64.7	24.4	32	0.110	202	5.4	1.62
2. Lodos digeridos	10	2	40.50	29.4	32	0.057	127	3.4	0.68
	0	6	35.35	29.4	28	0.050	126	0	2.03
Sedimentación simple y Filtración por rocío a baja Dosif.#									
3 Lodo secundario	..	.	..	..	.	..	..	..	..
4. Mezcla de lodos nuevos	12	3	82.7	19.5	28	0.177	295	8.05	2.00
5. Mezcla digerida	12	2	52.8	29.3	30	0.075	176	5.15	0.86
	0	7	45.0	29.3	26	0.064	173	0	3.02
Sedimentación Primaria y activación									
6. Lodos activados nuevos	0	6	32.2	12.2	20	0.110'	161'	0'	1.86'
7. Lodos activados digeridos	0	10	22.4	12.2	20	0.076'	112'	0'	2.10'
8. Mezcla sedimentada nueva	0	6	88.4	19.5	22	0.189	402	0	5.10
9. Mezcla digerida ...	0	8	57.9	12.2	22	0.197	263	0	4.40
10. Lodos primarios digeridos y activados nuevos	0	6	67.6	22.0	25	0.128	270	0	3.90
Precipitación Química									
11. Lodos químicos nuevos ($FeCl_3$)	10	5	94.4	9.8	20	0.401	472	7.8	3.90
12. Lodos químicos digeridos ($FeCl_3$).....	12	2	67.5	19.5	30	0.144	225	6.60	1.10
	0	7	57.5	19.5	26	0.123	221	0	3.85

// La filtración por rocío a alta dosificación puede producir lodos que se aproximan a los lodos activados en carácter.

, Adicional al lodo primario. Si se reduce o elimina la sedimentación primaria, tienen que hacerse los ajustes apropiados.

(b),(c),(e) y (f), experimentales, de Fischer (Sewage Works Journal, 8 (1936), 252.

(d) Se supone que cada porciento de $FeCl_3$ y C_aO aumentan los sólidos secos en 0.66% y 1.78% respectivamente.

$$(d) = \frac{\text{Col. (b) de Tabla 12}\{100 + 1.78\ (b) + 0.66\ (c)\}}{100}$$

$$(g) = \frac{(d)}{24\ (e)}$$

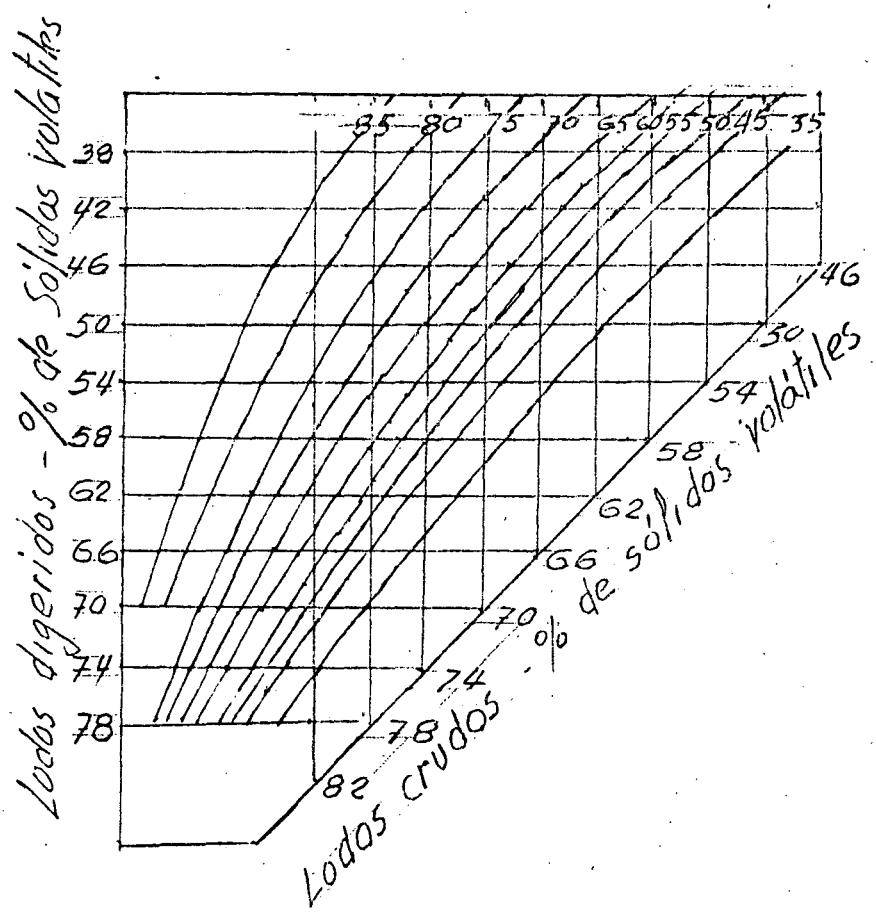
$$(h) = \frac{100\ (d)}{(f)}$$

$$(i) = \frac{\text{Col. (b) Tabla 12} \times (b)}{100}$$

$$(j) = \frac{\text{Col. (b) Tabla 12} \times (c)}{100}$$

FMU'cgg

Por ciento de reducción de sólidos volátiles.



centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DESINFECCION Y CLORACION

ING. RODRIGO SOLIS ALBA

SEPTIEMBRE, 1978.

CAPITULO D.- DESINFECCION Y CLORACION

D.0 PRINCIPIOS DE LA DESINFECCION DEL AGUA DE DESECHO MEDIANTE LA APLICACION DE CLORO.

D.00 Introducción.-

Las aguas de desecho contienen organismos que provienen de personas sanas y enfermas, las cuales descargan sus desechos en el sistema de alcantarillado. Los organismos que causan las enfermedades están potencialmente presentes en todas las aguas de desecho y éstos deben removerse o eliminarse antes que las aguas de desecho tratadas se descarguen a las corrientes receptoras. El propósito de la desinfección es destruir los organismos patógenos[1] para prevenir las epidemias de enfermedades hídricas.

Los procesos convencionales de tratamiento de desecho, descritos en los capítulos previos, remueven los organismos patógenos del agua de desecho con diferentes eficiencias. La destrucción y la remoción de organismos patógenos se efectúa de varias formas:

1. Remoción física mediante sedimentación y filtración.
2. Decaimiento natural de los organismos durante el almacenamiento del agua en ambiente desfavorable.
3. Destrucción ocasionada por productos químicos introducidos para el tratamiento.

Aunque el número de microorganismos en aguas contaminadas se reduce con los procesos de tratamiento y la purificación natural, el término desinfección se usa en la práctica para describir los procesos de tratamiento que tienen como prin

cipal objetivo eliminar los organismos patógenos (fig. D.1). Debido a la capacidad desinfectante del cloro y de algunos de sus compuestos, y a su costo razonable, los otros agentes desinfectantes no son muy empleados. Este capítulo de desinfección tratará principalmente con los principios y la práctica de la desinfección con cloro.

D.01 Desinfección.-

El principal uso del cloro en el tratamiento de aguas de desecho domésticas es la desinfección. Estrictamente hablando, la desinfección es la destrucción de todos los organismos patógenos, mientras que la esterilización es la destrucción total de todos los microorganismos. Cuando las aguas de desecho se descargan a las corrientes receptoras, las cuales pueden usarse como fuente de suministro de agua a las municipalidades, a las áreas de cultivo, de mariscos, o con propósitos recreativos, se requiere del tratamiento. Esto es, la destrucción de los organismos patógenos, con el objeto de minimizar los posibles riesgos para la salud pública causada por la contaminación de estas aguas receptoras. Tal tratamiento se conoce como desinfección.

La cloración con propósitos desinfectantes requiere esencialmente la eliminación de todos los organismos patógenos de los desechos domésticos. Muchos otros organismos en contacto con el cloro también se eliminan. Ningún intento se hace para esterilizar las aguas de desecho, lo cual es innecesario e impráctico. En algunos casos, la esterilización será perjudicial cuando otros tratamientos siguen a la clroación, dependiendo de la actividad de las Saprofitas[2]. El cloro no es selectivo, ya que afecta a los organismos sobre la base de sus sensibilidades

tasas de crecimiento, concentración y tiempo de exposición.

Para obtener la desinfección, debe agregarse suficiente cloro para satisfacer la demanda de cloro[3] y para dejar el cloro residual[4] que destruirá la bacteria. El cloro residual debe mantenerse durante un tiempo de contacto suficiente, con el objeto de asegurar la destrucción de los organismos patógenos. Para muchas aguas de desecho, pueden ser mas efectivos mayores tiempos de contacto del cloro que el incremento de la dosis.

Para medir la efectividad de la cloración con respecto a la reducción del número de bacterias, es necesario emplear equipo especial de laboratorio. Las pruebas requieren de varios días para completarse. Por lo tanto, para el control de la aplicación del cloro, no es práctico medir diariamente el contenido bacterial. Por muchos años, los requerimientos para la desinfección especificaban frecuentemente un cloro residual, basado en mediciones colorimétricas de la orto-tolidina[5], de 0.5 mg/l, después de un tiempo de contacto del cloro de 30 min.

De acuerdo con este requerimiento los NMP's[6] resultantes son generalmente del orden de 3,000 coliformes[7] por 100 ml. Sin embargo, este NMP resultante puede variar considerablemente (varios órdenes de magnitud) de planta a planta.

Considerando la dilución con agua de bajo contenido de coliformes, esta recomendación parece adecuada cuando su contacto con el ser humano es limitado. Actualmente, el ser humano está en mayor contacto con el agua de desecho que antes. Los efluentes de aguas de desecho se usan para regar jardines, parques,

PROCESO DE TRATAMIENTO

PRETRATAMIENTO.

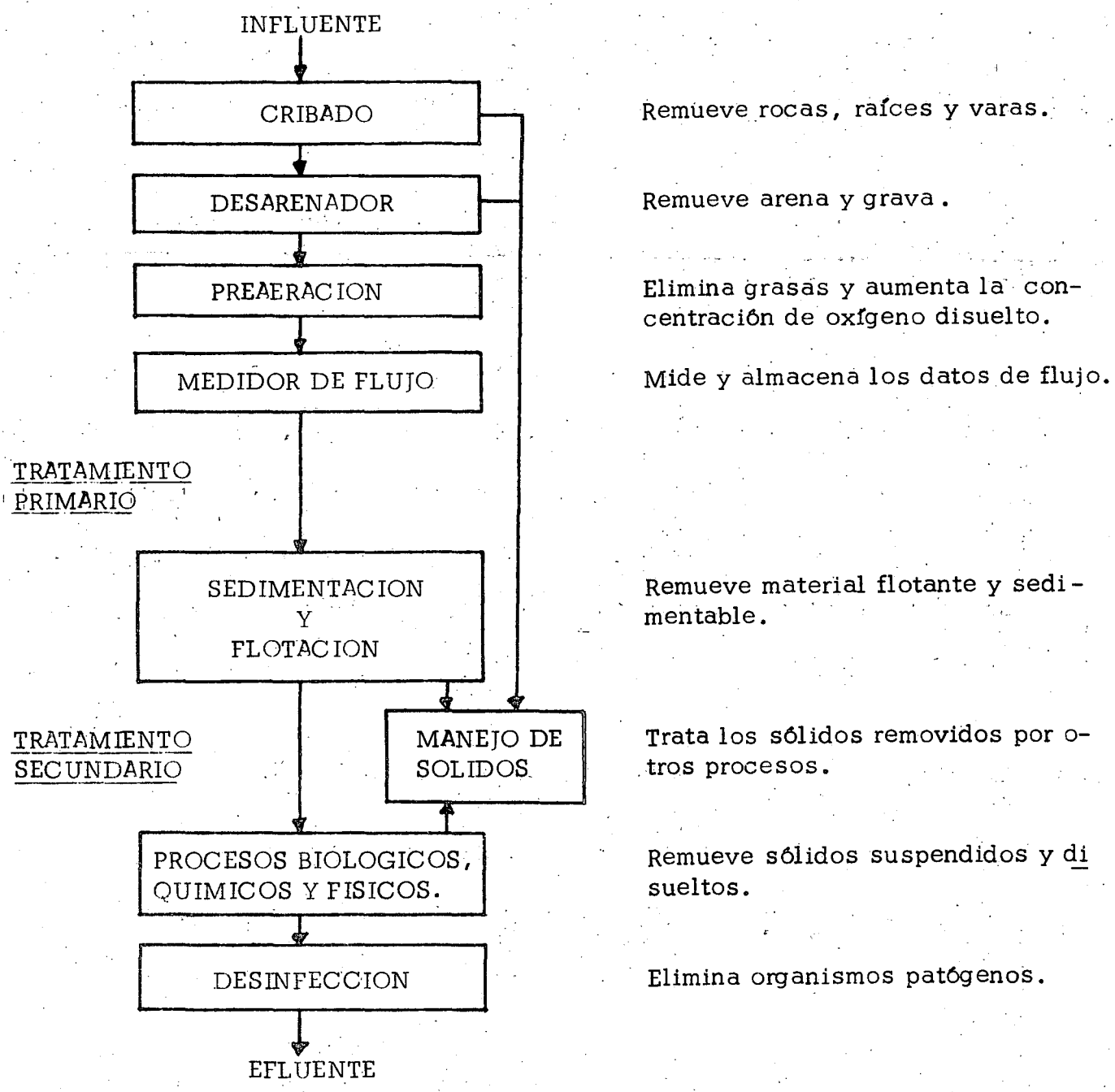


Fig. D.1 Diagrama de flujo típico de una planta de tratamiento de agua de desecho.

campos de golf, calles, y otras áreas públicas. Lagos artificiales utilizados para velear, esquiar, nadar, pescar, frecuentemente se llenan parcial o totalmente de agua de desecho tratada. Por lo tanto, a medida que el ser humano incrementa su contacto con estas aguas y las aguas de dilución disminuyen su calidad, debe dársele a la desinfección una mayor atención.

---

1. Organismos patógenos.-Las bacterias o los virus pueden causar enfermedades (tifoidea, cólera, disentería). Existen muchos tipos de bacterias que no causan enfermedades, por lo tanto, no se llaman patogénicas. Muchas bacterias benéficas se encuentran en los procesos de tratamiento de las aguas de desecho, las cuales eliminan la materia orgánica.

2. Saprofitas.-Organismos que viven de la materia orgánica muerta o en descomposición, por lo tanto, auxilian la descomposición natural de los sólidos orgánicos del agua de desecho.

3. Demanda de cloro.- La demanda de cloro es la diferencia entre la cantidad de cloro agregado al agua de desecho y la cantidad de cloro residual remanente después de un tiempo de contacto dado. La demanda de cloro puede cambiar con la dosis, el tiempo, la temperatura, la naturaleza y la cantidad de impurezas en el agua. La demanda de cloro-Cloro Aplicado-Cloro Residual.

4. Cloro residual.-El cloro residual es la cantidad de cloro remanente después de un tiempo de contacto dado y bajo condiciones específicas.

5. Orto -Tolidina.- La Orto-Tolidina es un indicador colorimétrico del cloro residual, el cual produce un compuesto de color amarillo.

6. NMP.- El NMP es el número mas probable de organismos del grupo coliforme por unidad de volumen, expresado como densidad de organismos por 100 ml.

7. Coliformes.- El grupo coliforme es un indicador bacterial de contaminación. Este grupo tiene su principal habitat en el intestino humano. También, puede encontrarse en el intestino de los animales de sangre caliente, en plantas, en la tierra, y en el medio ambiente acuático.

D. 02 Reacción del cloro en el agua residual.-

Para determinar en que punto y que cantidad de cloro es necesario aplicar para obtener el propósito deseado, es necesario conocer la acción del cloro al ser agregado al agua residual.

El cloro es una sustancia química extremadamente activa que reaccionará con muchos compuestos para producir diferentes productos. Si una pequeña cantidad de cloro es agregada al agua residual reacciona rápidamente con sustancias tales como el ácido sulfhídrico, tiosulfatos (residuos industriales), e hierro ferroso. Bajo esas condiciones el cloro es convertido a cloruro y habrá poca o nada acción desinfectante. Si se agrega suficiente cloro para que reaccione con todas estas sustancias llamadas compuestos reductores, al agregar un poco más de cloro, éste reaccionará con amoniaco u otros compuestos nitrogenados presentes y formará cloraminas, las cuales tienen acción desinfectante. Nuevamente, si se agrega suficiente cloro para reaccionar con todos los compuestos reductores y toda la materia nitrogenada, este cloro reaccionará con la materia orgánica para producir compuestos organoclorados[8] u otras formas combinadas de cloro, las cuales tienen una ligera acción desinfectante. Finalmente si se agrega suficiente cloro para reaccionar con todos los compuestos antes mencionados, cualquier cantidad adicional de cloro que se agregue formará cloro libre disponible (HOCL) el cual tiene la mayor acción desinfectante. (fig D.2).

El mecanismo exacto de esta acción desinfectante no se conoce completamen

te. Para algunas teorías se considera que el cloro ejerce una acción directa contra las bacterias, destruyéndolas. Una teoría mas reciente supone que el carácter tóxico del cloro desactiva las enzimas[9] de las cuales dependen los microorganismos vivientes, para proveerse de comida. Como resultado de ésto, los microorganismos mueren de inanición. Desde el punto de vista del tratamiento del agua residual, el mecanismo de la acción del cloro es mucho menos importante que su efecto como agente desinfectante.

La cantidad de sustancias reductoras, orgánicas e inorgánicas en el agua residual, varían, de modo que la cantidad de cloro que se debe agregar al agua residual variará según el objetivo deseado. El cloro usado por las sustancias orgánicas o inorgánicas reductoras, se define como la demanda de cloro. Es igual a la cantidad agregada menos la que permanece como cloro combinado después de un período determinado, por lo general 30 minutos.

Demanda de cloro = dosis de cloro-clor residual

Aún cuando se presenta una mortandad significativa de organismos mientras se está satisfaciendo la demanda de cloro, la desinfección es causada principalmente por la cantidad remanente después de que la demanda de cloro ha sido satisfecha. Esta cantidad de cloro en exceso con respecto a la demanda de cloro, se define como cloro residual y es expresado en mg/l.

Debe notarse que la cloración al agua residual no se realiza normalmente hasta el punto de ruptura (fig. D.2) de modo que existirá un cloro residual libre. El punto de ruptura para un buen efluente secundario de buena calidad, debe ser

una dosis de cloro de aproximadamente 150 mg/l de modo que nosotros estamos hablando principalmente acerca del cloro residual combinado. Sin embargo, con algunos de los procesos mas avanzados de tratamiento, en los cuales ocurre un alto nivel de nitrificación, es posible un tratamiento hasta cloro libre residual después del punto de ruptura con una dosis de cloro menor de 25 mg/l.

La adición de cloro y el tiempo de contacto son esenciales para matar a los microorganismos. Es necesaria la determinación experimental de la mejor combinación de residual combinado y tiempo de contacto para asegurar una cloración apropiada y una cantidad mínima de cloro. Los cambios de pH afectan la habilidad de desinfección del cloro y el operado lo debe re-examinar la mejor combinación de la adición de cloro y el tiempo de contacto cuando el pH fluctúa.

Debe enfatizarse que las aguas residuales no son y no necesitan ser llevadas hasta el cloro libre residual para obtener una acción bactericida efectiva. Con el aumento en las restricciones de los parámetros estándares de las aguas receptoras se requerirán efluentes de mayor calidad en el futuro, la necesidad de desinfección hasta cloro libre residual en este caso, será una posibilidad ventajosa.

La desinfección completa (muerte de virus y bacterias patógenas) se asegura principalmente por cloración hasta cloro libre disponible residual.

El cálculo de la dosis de cloro y la demanda de cloro se ilustra en el siguiente problema.

EJEMPLO :

Un clorador es alimentado con 22.7 kg de cloro en un tiempo de 24 hrs, el flujo del agua residual es de 3,217 millones de litros/día y el cloro residual - que es medido por el OT (Orto-Tolidina) después de 30 min de estar en contacto, es de 0.5 mg/l. Determinar la dosis de cloro y la demanda de cloro en mg/l.

Dosis alimentada de cloro, mg/lt $= \dfrac{22.7 \text{ kg de cloro /d}}{3.217 \text{ millones de l/d}}$

$= 6.98 \dfrac{\text{kg de cloro}}{\text{millón de l}}$

$= 6.98$ p.p.m. (partes por millón)

$= 6.98$ mg/l

Demanda de cloro mg/l = dosis de cloro(mg/l) - cloro residual (mg/l)

= (6.98 - 0.5) mg/l

= 6.48 mg/l

---

8. Compuestos organo clorados.- Compuestos orgánicos combinados con cloro, generalmente originados de o asociados con materia orgánica viva o muerta.

9. Enzimas.- Sustancias producidas por organismos, sirven para acelerar los cambios químicos.

D. 03 Regla de Desinfección.-

El estado de California presentó (1969) unas especificaciones del NMP - de coliformes en un efluente primario para llevar a cabo una desinfección efectiva. Se sabe de antemano que las bacterias causan enfermedades entéricas[10] (intestinales) siendo éstas menos resistentes a la cloración que las bacterias - intestinales no patógenas, las cuales están dentro de la clasificación del grupo de bacterias coliformes generalmente proporcionadas en el criterio de la desinfección efectiva de las aguas residuales. Por esta razón, la destrucción del grupo coliforme generalmente proporciona un criterio efectivo en desinfección de aguas residuales. No obstante, ciertos virus, esporas y bacterias patógenas internas en sólidos, son mas resistentes que el grupo de bacterias coliformes a la cloración. Cuando el criterio es determinado con respecto al cloro residual, también se considera a éste como un estandar secundario, mientras que la mortandad de bacterias se controla con el estandar NMP. Un ejemplo no es significativo, por lo que se recomienda una serie de ejemplos con indicación de sus tendencias.

Los estudios realizados muestran una gran variación en el NMP en las - muestras de aguas residuales ya cloradas, aun llevando a cabo las pruebas en - condiciones aparentemente similares. Estas variaciones ocurren por diferentes razones, algunas de las cuales se mencionan a continuación:

1.- El NMP no mide directamente el número verdadero de las bacterias coliformes presentes, mas bien el número esperado está basado en una serie de análisis de muestras tomadas en diferentes partes del efluente de una gran po-

blación toda el agua residual debe estar fluyendo por los puntos de muestreo.

2.- Una pequeña muestra de un gran cuerpo de agua no es representativa a menos que la fuente sea uniformemente homogénea, pero esto no es posible ya que el agua residual en escasas ocasiones presenta uniformidad.

3.- Muchas variables afectan el número de bacterias coliformes presentes en una agua que ha sido clorada: siendo algunas: el número y características de las bacterias antes de llevarse a cabo la cloración, la concentración y naturaleza de los agentes que efectúan la desinfección, la accesibilidad de los desinfectantes a los microorganismos y varios factores enviromentales.

4.- Las pruebas no son siempre realizadas en las condiciones ideales. Por ejemplo, la dilución del medio de cultivo u otros factores que son desfavorables para el cálculo adecuado de los coliformes.

Diferentes métodos incluyendo el NMP, filtros de membrana y coliformes fecales pueden especificarse para definir una desinfección adecuada. El formato usado se pone en juego para que concuerden las descargas especificas y los usos aguas abajo de las aguas receptoras. Deben verificarse las normas o estándares que puedan ser aplicables para los requerimientos de la planta.

Debido a que las facilidades aprovechables para el laboratorio son limitadas para la mayoría de las plantas de tratamiento, la siguiente declaración se ha in-

cluido como un requerimiento para la desinfección en California.

"Deben aceptarse otros métodos de prueba o análisis para que se demuestre la efectividad de la desinfección después que los responsables de descargas han proporcionado suficiente información de laboratorio, mostrando que la correlación estadística existe en todas las ocasiones entre los resultados bacteriales y las mediciones producidas por métodos propuestos alternados".

Muchos de los pequeños responsables de descarga en California han solicitado del Estado la asistencia para correlacionar el cloro residual y el NMP. El estado ha realizado estudios en diferentes plantas. Estos estudios no son de investigación pero tienen el propósito de determinar si la desinfección como se ha practicado en las plantas de tratamiento es la adecuada para proteger la salud pública.

A continuación se presentan algunos aspectos encontrados en esos estudios.

1. Es difícil mantener consistentemente un alto grado de desinfección en la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La cloración es mas efectiva en un efluente bien clarificado que en uno en el cual se tienen sólidos suspendidos. Una masa de sólidos puede consumir una cantidad apreciable de cloro, porque el cloro penetra en las partículas. Los organismos que se encuentran dentro de las partículas son en parte protegidas de la acción del cloro, por lo que se dificulta llevar a cabo una buena desinfección.

2.- El mezclado adecuado de la solución de cloro con el agua residual, es esencial para alcanzar la máxima eficiencia en la mortandad de los coliformes - con una dosis determinada de cloro.

3.- Una cantidad elevada de cloro residual (después de un determinado tiempo - de contacto) es mas necesaria para el tratamiento secundario de aguas residuales dando un efecto comparable en la calidad.

4.- Con dos pruebas de cloración (antes y después de la cloración) se obtiene una baja densidad de coliformes, que si se realizará la cloración al final.

5.- Generalmente existe una correlación entre el cloro residual y la densidad de los coliformes (la densidad de los coliformes decrece a medida que aumenta la solución de cloro residual). La individualidad de las plantas de tratamiento de aguas residuales, las condiciones de sus efluentes, la manera de muestrear y la técnica realizada en los análisis, marcan la dificultad de recurrir a una correlación determinada entre una planta y otra.

6.- El cloro residual y su correspondencia con la tasa de alimentación, requiere llevar a cabo una desinfección estandar, que varía de día a día, y de la mañana a la tarde en la mayoría de las plantas de tratamiento.

7.- Aumentando el cloro residual después de cierto punto, no aparece una reducción significativa en la densidad de los coliformes.

8.- El aumento en el tiempo de retención después de cierto punto, no hace que reduzca la densidad de los coliformes de manera significativa.

9.- El tiempo de contacto real que se realiza en la cámara de contacto del cloro con el agua, es considerablemente menor que el tiempo de contacto teórico.

10.- Una muestra de agua residual clorada en el laboratorio no presenta resultados comparables a los obtenidos en una cámara de contacto en la cloración.

11.- Es mejor el tratamiento y mas efectiva la desinfección cuando se le da una dosis de cloro.

D. 04 Requerimiento de Cloro.-

El objeto de la desinfección es la destrucción de las bacterias patógenas, y la última medida efectiva son los resultados bacteriológicos. Una medida del cloro residual suministrado nos facilita la desinfección. El cloro residual tiene una valía comunmente efectiva, pero la mayoría de las plantas de tratamiento, no tienen un rendimiento satisfactorio en la eliminación bacterial, entonces la concentración de cloro residual, debe ser determinado y usado como un controlador en las plantas. En otras palabras, la concentración de 0.5 mg/l de cloro residual no es un estandar sino que es un guía que puede ser cambiado de acuerdo con los requerimientos de la planta.

Un caso especial supuesto es el uso de cloro en el efluente de una planta que trate las aguas residuales de un hospital para tuberculosos. Estudios realizados demostraron que el efluente por lo menos se debe mantener con una concentración de 2.0 mg/l para este tipo de instituciones y que el tiempo de retención sea por lo mínimo dos hrs en lugar de los 30 min que se usan normalmente. Las dos pruebas (antes y después de la cloración) pueden ser particularmente efectivas en este caso.

Generalmente se establece que en el flujo de las aguas domésticas la dosificación de cloro es una razonable guía para producir cloro residual para una adecuada desinfección. Las plantas individuales podrán requerir altas o bajas dosis, dependiendo del tipo y monto de los compuestos orgánicos suspendidos y disueltos en la muestra clorada.

TIPOS DE TRATAMIENTOS	DOSIS (Basado en un fluido promedio)
Efluente de un Tratamiento Primario	20-25 mg/l
Efluente de una Planta de Filtros Rociadores	15 mg/l
Efluente de una planta de lodos activados	8 mg/l
Efluente de un filtro de arena	6 mg/l

bles principales de la demanda de cloro?

5.- Calcule las libras por día de cloro para tratar un residuo con una demanda de cloro de 12 mg/l, si se desea un cloro residual de 2 mg/l. y si el gasto es de 10^6 gal/día.

6.- Como afectan, los compuestos orgánicos suspendidos y disueltos presentes en el efluente, a la desinfección con cloro?.

CAPITULO D, DESINFECCION Y CLORACION

D.1 PUNTOS DE APLICACION DEL CLORO.

D.10 CLORACION DIRECTA EN EL SISTEMA DE ALCANTARILLADO.

Uno de los beneficios primarios de la cloración en los sistemas de alcantarillado es prevenir el deterioro de las estructuras. Otros beneficios incluyen el control de olor y condiciones sépticas y posiblemente la reducción en DBO, lo que reduce la carga en los procesos de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, el máximo beneficio puede resultar de una aplicación de cloro en un punto antes de la intercepción de las atarjeas o ramales con el colector principal. En otros casos será necesario aplicar cloro en diferentes puntos del colector principal para obtener mayor efectividad. La cloración de las aguas residuales debe ser considerada como una medida provisional o de emergencia en la mayoría de los casos, poniendo mayor énfasis en un diseño de tratamiento apropiado. Un proceso de aeración también es efectivo para controlar las condiciones sépticas de las aguas residuales en los colectores.

D.11 PRECLORACION.

La precloración de define como la adición de cloro al agua residual a la entrada de la planta de tratamiento, antes de las unidades de sedimentación y antes de la adición de otras sustancias químicas.

Ademas de su aplicación como desinfectante y controlador de olores en ese punto, la precloración se aplica para reducir la carga de DBO, para ayudar a la sedimentación, controlar la espuma en tanques Imhoff y ayudar a la remosión de aceite. La práctica común no considera la precloración en la tubería de aeración cuando existe este proceso para controlar olores.

D.12 CLORACION EN LA PLANTA

El cloro se agrega al agua residual en algunos puntos del sistema de tratamiento, y el punto específico de aplicación está relacionado con los resultados deseados. El propósito de la cloración en la planta puede ser para controlar y prevenir olores, corrosión, abultamiento de lodo, espuma de digestores, moscas en los filtros y como un agente ayudante en el espezamiento de lodo. Aquí, nuevamente la cloración es como una medida de emergencia.

10.13 POSTCLORACION.

La postcloración se define como la adición de cloro a las aguas residuales municipales o industriales que siguen otros procesos de tratamiento, que van a ser reusados ó que pueden causar daños al cuerpo receptor.

La aplicación de la postcloración es antes de la unidad de contacto de cloro[12] y después de la unidad de sedimentación final en el sistema de tratamiento. Este es el lugar más efectivo para la aplicación de cloro después del tratamiento y en un efluente bien clarificado. La postcloración es empleada principalmente para desinfección. Cuando se aplica cloración para desinfección, se obtiene alguna reducción en DBO, sin embargo, la cloración rara vez es practicada con el único objeto de reducir la DBO.

D.2 CONTROL DEL PROCESO DE CLORACION.

D.20 Control del clorador.

El control del gaso del cloro a los puntos de aplicación se realiza por seis métodos básicos y un séptimo método que resulta de la combinación de dos de los seis básicos.

D.200 Control manual.

El ajuste del gasto y el arranque y paro del equipo se hace manualmente.

D.201 Control arranque-Paro.

El gasto se ajusta manualmente, y el arranque y paro realizado a través de la interrupción del inyector de agua de suministro, se controla en el arranque de la bomba de agua residual, el interruptor del gasto, el intrruptor de nivel u otros.

---

12 Unidad de contacto de cloro. Es un tanque con placas deflectoras que provee suficiente tiempo de retención para que ocurra la desinfección.

D.202 Control en la tasa de gasto.

La tasa de alimentación del clorador varía de acuerdo al número de bombas de agua residual en servicio. A medida que cada bomba arranca, una cantidad inicial de cloro es agregada al gasto de cloro existente en el tiempo inicial. Este sistema puede ser aplicado convenientemente en instalaciones que emplean hasta ocho bombas.

D. 203 Control programado por tiempo.

La tasa de alimentación del clorador es variada con base en una relación tiempo-tasa regulada de modo que corresponda a los tiempos en los cuales el flujo cambia ó usando un modelo de transmisor de tiempo el cual emplea un trazador cíclico excéntrico que se adapta ó regula al comportamiento del flujo.

D. 204 Control proporcional de flujo.

La tasa de alimentación del clorador es controlada por un sistema que transmite la información del flujo de agua residual a una válvula que controla al clorador. Esto puede realizarse por medio de una variedad de equipos medidores de flujo, incluyendo todos los procesos de instrumentación de control disponibles hoy en día y cási todo el equipo de medición utilizado en sistemas de agua residual.

D. 205 Control de cloro residual.

La tasa de alimentación de cloro se controlará para obtener el nivel deseado de cloro residual (normalmente cloro combinado). Después del mezclado y tiempo de reacción (cerca de cinco minutos máximo), se titula una muestra del

agua residual por medio de un analizador de registro amperométrico[13] (o indicador). Como el nivel de cloro residual varía arriba o abajo del nivel deseado - (punto fijo), la cloración implicará correcciones de la tasa de alimentación para lograr el nivel deseado.

D. 206 Sistema de control.

Cualquier sistema de control automático (dosificación por etapas, tiempo programado, gasto proporcional, o residual) se puede aplicar en dos formas:

(1) Por posiciones de la válvula de alimentación o

(2) por variaciones diferenciales del espacio a través de la válvula de alimentación.

El circuito del sistema de control emplea ambos controles simultáneamente . Por ejemplo, para un flujo proporcional (alimentación por etapas o tiempo programado), el sistema para controlar la alimentación puede hacerlo por válvulas de posición y para control de residual el sistema puede hacerlo por válvulas de variación diferencial. Así, para el cambio de flujo, se requieren cambios en la posición de la válvula de alimentación, pero pueden ocurrir cambios en la demanda de cloro sin ningún cambio de flujo. Cuando esto sucede, el analizador detecta el cambio de cloro residual y por variaciones diferenciales de la válvula de alimentación, se efectúa el cambio de la tasa de alimentación para encontrar el nivel deseado de cloro residual.

Se pueden emplear varias combinaciones en el sistema de control. Generalmente hablando, a las partes del sistema que requieran rápida respuesta se les

aplicarán válvulas de posición (ya sea que son de respuesta rápida). Si los cambios de flujo son rápidos, su control debe ser por medio de válvulas de posición. Si los cambios en las tasas de flujo y demanda son casi los mismos, la magnitud de cambio puede dictar la selección del control.

---

13 Analizador amperométrico (am-PURR- o- MET-rick). Un método de medida que registra el flujo de corriente eléctrica o generada en lugar de registrar el voltaje. La titulación amperométrica es un medio electrométrico para determinar la concentración de sustancias en el agua.

La selección del método de control se debe basar en los costos y resultados del tratamiento(requeridos o deseados). Un residuo que se va a descargar, normalmente debe cumplir con normas establecidas de desinfección. Una planta pequeña puede cumplir esto con un sistema de control cuyo costo es de algunos miles de dólares, ahorrándose sólamente menos de cien dólares por consumo de cloro al año; en este caso no se justifican los gastos. Se puede emplear un sistema manual para encontrar los requerimientos máximos y sobre-cloración para los períodos mínimos necesarios. No es imposible que una planta tenga máximos de cloro residual a pesar de los requerimientos tolerables para irrigación y/o vida marina. En estos casos en que existe falta de control o restricciones, la aplicación de cloro no se puede considerar, no importa que tan grandes sean los costos.

Se requiere un nivel de cloro residual para algunos puntos aguas abajo, las muestras en estos puntos dan el mejor control de cloro residual. En este caso se debe emplear un analizador de residual para monitorear y registrar el cloro residual en estos puntos. También se puede emplear para cambiar el lugar de la zona de control de cloro residual.

El control final de dosificación para desinfección se basa en los resultados que se desean con respecto, al nivel bacteriano o concentración permisible o aceptable en el punto de descarga. La determinación del cloro requerido de acuerdo con la última edición de los Métodos Estandar Para el Análisis de Agua y Aguas Residuales es el mejor método de control para cloro residual. Se debe tener presente que los requerimientos o dosificación de cloro varían por el flujo del residuo, tiempo de contacto, temperatura, PH y principales constituyentes

del residuo tales como ácido sulfhídrico, amoniaco y la cantidad de materia orgánica viva y muerta.

D.21 Control de Cloración mediante el uso de un Nomograma[14].-

La determinación de cloro residual después del tiempo de contacto, genera información confirmativa para seleccionar la dosificación y puede servir para indicar los reajustes necesarios de dosificación. El tiempo de contacto se especifica como el tiempo en que se obtiene la cloración total.

Puesto que la tasa de dosificación se expresa en kg/día, la tasa establecida para dosificación se debe calcular de la determinación del cloro requerido y del flujo. La forma mas simple de hacer el cálculo es mediante un nomograma de control de cloración tomado de la WPCF Manual de prácticas No. 11, 1968 (fig.D3).

Manejo del Nomograma.-

1. Trazar una recta apoyada en un punto sobre el eje A, que representa el flujo, y sobre un punto del eje B, que representa el cloro requerido[15], y leer sobre el eje C el punto que establece la dosificación de cloro.

2. Para cualquier valor que exceda el máximo indicado en las escalas A, B, ó C, se introduce un factor apropiado de diez o un múltiplo de ellas. La aplicación de un factor de diez se ilustra posteriormente en el ejemplo 2.

3. La mejor exactitud se obtendrá cuando el ángulo de la recta trazada se aproxime a un ángulo recto con el eje B. El factor de diez se puede aplicar para ayudar a la realización de este objetivo.

4. Si la recta trazada no cruza los tres ejes, es necesario introducir el factor de diez y mover la recta a los puntos donde los tres ejes sean cruzados.

Ensaye con algunos ejemplos empleando la fig. D.3 se asume que la dosificación de cloro que se da en el nomograma fue seleccionada en base a pruebas preliminares que fueron capaces de producir los resultados deseados.

---

14. Nomograma.- Es una carta o diagrama compuesta de tres o más escalas empleadas para resolver problemas con tres o más variables en lugar de usar fórmulas matemáticas.

15. Cloro Requerido.- Es la cantidad de cloro que se debe adicionar para producir los resultados deseados bajo condiciones establecidas.

El resultado (para el propósito de cloración) se puede basar en diversos criterios, tales como, una densidad establecida de coliformes, una concentración especificada de cloro residual, la destrucción de un constituyente químico, etc. cada caso requiere una dosificación de cloro definida. Esta dosificación es el requerimiento de cloro.

EJEMPLO 1

DATOS : Gasto Máximo = 1,892.5 m^3/día

Dosificación de cloro = 1.0 mg/l

PROCEDIMIENTO: Apoyar el extremo de una línea recta (trazado) sobre el valor de 1,892.5 m^3/día (eje A) y trazar una línea a través del punto sobre el eje B para una dosificación de cloro de 1.0 mg/l. Prolongar la línea hasta el eje C y leer el punto que indica la tasa de alimentación de cloro.

RESPUESTA: Tasa de alimentación de cloro = 1.9 kg/día.

COMPROBACION:

Tasa de cloro alimentado = (gasto máximo, m^3/día) (dosificación, mg/l) $\left(\frac{1 \times 10^3 l}{m^3}\right)$ $\left(\frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}\right)$

$$= \frac{1,892.5 \text{ m}^3}{\text{día}} \times 1.0 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \times \frac{1 \times 10^3 \text{ l}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}}$$

$$= 1.89 = 1.9 \text{ kg/día}$$

EJEMPLO 2

DATOS : Gasto máximo = 18,925.0 m^3/día

Dosificación de cloro = 1.0 mg/l

PROCEDIMIENTO: 18,925.0 m^3/día esta fuera de la escala del eje A. El gasto se reduce por un factor de diez a 1,892.5 m^3/día o, 18,925.0/10 = 1,892.5 m^3/día. El problema es igual al del ejemplo 1, y el nomograma da una tasa de alimentación de cloro de 1.9 kg/día. El gasto actual es diez

veces mayor que 1,892.5 m^3/día (1,892.5 x 10 = 18,925.0 m^3/día). Por lo tanto la tasa de alimentación de cloro que se requiere es de 10 x 1.9 kg por día (10 x 1.9 = 19) ó 19 kg/día.

NOTA : En época de invierno: un tanque con capacidad de 68.1 kg puede no ser adecuado para proporcionar esta alimentación.

EJEMPLO 3

DATOS: Gasto máximo = 1,514.0 m3/día

dosificación de cloro = 5.0 mg/l

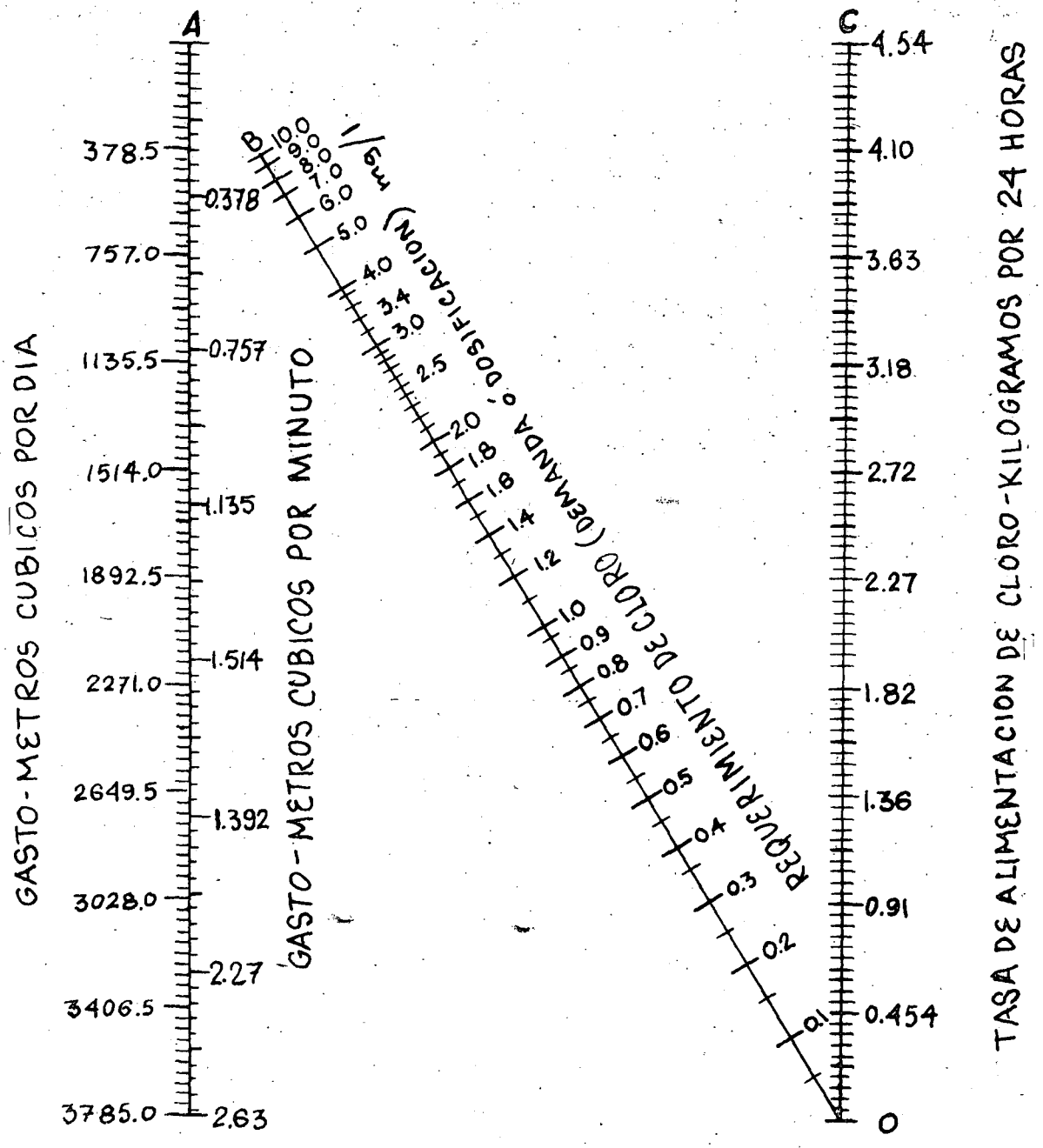
PROCEDIMIENTO: La línea trazada a partir del punto 1,514.0 m^3/día (eje A) a través del punto 5.0 mg/l (eje B) no corta al eje C. La dosificación de cloro se debe reducir por un factor de diez para poder emplear el nomograma.

$$\text{dosificación de cloro} = \frac{5.0 \text{ mg/l}}{10} = 0.5 \text{ mg/l}$$

$$\text{tasa de alimentación} = 0.87 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \text{; (del nomograma)}$$

$$\text{tasa de alimentación actual} = (10 \times 0.87 \text{ kg/día}) = 8.7 \text{ kg/día}$$

La tasa de alimentación de cloro será diez veces mayor que la tasa obtenida en el nomograma, ya que los requerimientos de cloro se redujeron por un factor de diez para poder emplear el nomograma.



NOMOGRAMA PARA EL CONTROL DE CLORACION

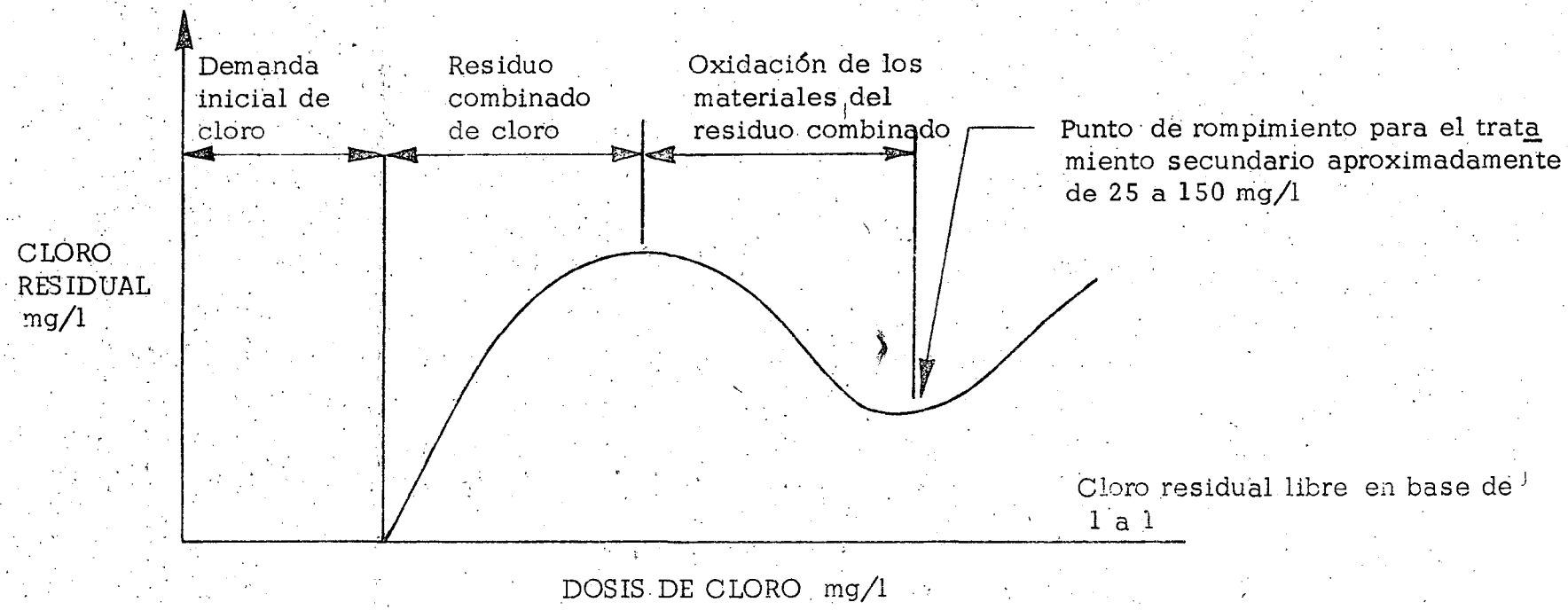


Fig. D. 2 Curva del punto de rompimiento de la cloración.

Los resultados que se obtienen por el nomograma se deben comprobar empleando los cálculos matemáticos como se hizo en el ejemlo 1 para evitar errores. Para los requerimientos de cloro se debe tener presente que la demanda de cloro se debe considerar después del tiempo de contacto establecido para lograr el nivel deseado de cloro residual. Como se discute en la sección D.02 los requerimientos de cloro variarán con las características del agua residual, concentración, flujo y temperatura.

El ajuste de la tasa de dosificación de cloro para eliminar las variaciones anteriores es la meta final para una buena operación práctica.

Normalmente se requieren con mayor frecuencia los ajustes para efluentes primarios que para efluentes secundarios.

Recomendaciones para el tiempo de ajuste manual de la tasa de dosificación.

1. En plantas grandes ------- al menos cada hora
2. En plantas de tamaño medio ------ cada 2 ó 4 horas
3. En plantas pequeñas ------- cada 8 horas

Otros métodos para el control de cloración se han descrito en la sección D. 20.

D. 22 Velocidad de alimentación del hipoclorador[17].-

En algunas plantas de tratamiento, el cloro para desinfección y otros propósitos se adiciona mediante hipocloritos[18]. La cantidad de cloro adicionada depen

de del tipo de hipoclorito. Por ejemplo, el HAP (hipoclorito de alta prueba) contiene 67 %, en peso, de cloro y la cal clorada contiene 34 %.

Los fabricantes de hipocloritos definen el cloro disponible como la cantidad de cloro gaseoso requerido para hacer el cloro de hipoclorito equivalente. Si usted prepara una solución de hipoclorito para desinfección e inmediatamente mide el cloro residual, encontrará que éste es alrededor de la mitad del cloro esperado basado en la cantidad de cloro disponible del fabricante. Cuando los hipocloritos se mezclan con el agua, aproximadamente la mitad del cloro forma el ácido clorhídrico (H Cl) y la otra mitad forma el hipoclorito (O Cl^-), el cloro residual que usted midió.

EJEMPLO

Un agua de desecho requiere una velocidad de alimentación de 7.72 kg por día. ¿Cuántos kgs de cal clorada se requerirán para aportar el cloro necesario?

$$\text{Cal clorada, Velocidad de alimentación, kg/día} = \frac{\text{Cloro requeirdo, kg/día}}{\text{porción de Cl en kg de hipoclorito}}$$

$$= \frac{7.72 \text{ kg/día}}{0.15}$$

$$= 51.4 \text{ kg/día}$$

10.23 Tuberías de Descarga de Soluciones de Cloro, Difusores y Mezclado.-

10.230 Tuberías de Descarga de Soluciones.

Están construídas de una variedad de materiales dependiendo de los requerimientos de servicio. Dos requisitos importantes son: que deben resistir a

los efectos corrosivos de las soluciones de cloro y tener un tamaño adecuado para transportar los flujos requeridos. Otras consideraciones son condiciones de presión, flexibilidad (si se requiere), resistencia a la corrosión externa y tensiones cuando son subterráneas o que pasan a través de estructuras, holgura y hermeticidad de sus conexiones y adaptabilidad para rearmarse o alterarse.

El desarrollo de los plásticos en años anteriores ha contribuido grandemente a la transmisión de las soluciones químicas. El cloruro de polivinilo (CPV o PVC) y el poliétileno negro flexible, han eliminado el uso de mangueras de caucho. Ambos son mas baratos y duran mas en servicio normal. El uso del caucho, está limitado exclusivamente a aplicaciones donde se requiere flexibilidad o donde existen presiones negativas muy altas.

El PVC y el poliétileno pueden rearmarse y alterarse. El PVC debe ser Cédula (catálogo) 80 para limitar su tendencia a enfriar el flujo y colapsarse parcialmente bajo condiciones de vacío o para altas presiones si se requiere. El PVC Cédula 80 puede enroscarse y ensamblarse con herramientas ordinarias o puede instalarse usando herramientas soldadas con solventes.

Las tuberías de acero revestidas de caucho se han usado por muchos años donde se requiere resistencia a tensiones externas. No puede rearmarse ni alterarse y por lo tanto su aplicación está restringida. Revestir estas tuberías con PVC aún no es económicamente adecuado, pero se han desarrollado otros plásticos que compiten con los revestimientos de caucho y que son -

adaptables a los usos necesarios.

Nunca se debe usar tubería de neopreno porque se endurece y rompe en poco tiempo.

D.231 Difusores de Soluciones de Cloro.

Se construyen normalmente de los mismos materiales usados para las tuberías. Su diseño es parte extremadamente importante de los programas de cloración. Esta importancia se relaciona casi completamente con el mezclado de la solución de cloro con el agua de desecho que se va a tratar; sin embargo, también se deben considerar la fuerza, flexibilidad, etc. En la mayoría de los conductos circulares en los cuales las soluciones fluyen a 0.25 pies/s (o más) una solución inyectada en el centro de la tubería se mezclará con todo el flujo en diez diámetros del tubo. El mezclado en canales abiertos puede obtenerse usando un salto hidráulico o espaciando los orificios del difusor de manera que se obtenga una alta velocidad (16 pies/s) en la descarga del difusor. Esto requiere dos cosas: (1) introducir una caída de presión para obtener una descarga igual de cada orificio y (2) impartir suficiente energía al desecho curcundante para completar el mezclado. En general, se debe tener un difusor por cada dos o tres pies de profundidad del canal.

D.232 Mezclado.

El mezclado es extremadamente importante y va mas allá de un tanque de contacto de cloro o de un punto de muestreo residual. Puesto que un tanque

de contacto se diseña usualmente para bajas velocidades, ocurre poco - mezclado después que ha entrado el agua de desecho. Lo mismo sucede para un punto de muestreo de cloro residual; de otro modo se obtendrán resultados erráticos por el sistema analizador residual.

D. 24 Medición del Cloro Residual.-

Referirse al capítulo 14, Química y Procedimiento de Laboratorio, para las determinaciones de cloro residual. La titulación amperométrica proporciona los resultados mas convenientes, rápidos y repetibles; sin embargo, los costos del equipo son altos (aproximadamente $500.00). La prueba de la ortotolidina debe hacerse lo antes posible una vez aplicado el cloro. El método iodométrico producirá resultados satisfactorios en muestras de aguas de desecho tales como - efluentes de plantas y aguas receptoras.

D.3 SEGURIDAD Y PRIMEROS AUXILIOS.-

Todas las personas que manejan cloro deben estar conscientes de sus propiedades dañinas. El personal debe saber la localización y uso de las diferentes piezas del equipo de protección y debe ser instruido en los procedimientos de seguridad. Para información adicional en este tópico, consúltese el Manual de Prácticas No. 1 de la Federación de Control de Contaminación de Aguas, "Seguridad en los Trabajos de Aguas de Desecho", y el "Manual del Cloro" del Instituto del Cloro, 4a. edición[19].

D.30 Peligros del Cloro.

El cloro es un gas mas pesado que el aire, extremadamente tóxico y corrosi

vo en atmósferas húmedas. El gas cloro seco puede ser manejado con seguridad en recipientes de acero, pero con humedad debe manejarse en materiales que resistan la corrosión tales como plata, vidrio, teflón o cualquier otro material de plástico. El gas es muy irritante para las membranas mucosas de la naríz, para la garganta y los pulmones; un porcentaje muy pequeño en el aire causa tos fuerte. Una exposición prolongada puede ser fatal (ver tabla D-1).

ADVERTENCIA

CUANDO SE ENTRA A UN CUARTO QUE PUEDA CONTENER CLORO GAS, ABRA LA PUERTA UN POCO Y COMPRUEBE SI HUELE A CLORO. NUNCA ENTRE EN UNA HABITACION QUE CONTENGA CLORO GAS EN CONCENTRACIONES DAÑINAS SIN UN EQUIPO DE OXIGENO, ROPA PROTECTORA Y PERSONAS LISTAS PARA AYUDAR. PUEDE OBTENER AYUDA DE SU VENDEDOR DE CLORO Y SU CUERPO LOCAL DE BOMBEROS.

D.31 ¿Porqué el Cloro debe ser Manejado con Cuidado?

Debe recordarse siempre que el cloro es una sustancia química peligrosa y debe manejarse con respeto. Concentraciones de gas cloro en exceso de 1000 ppm pueden ser fatales después de unas cuantas inhalaciones.

A causa del fuerte olor característico del cloro es percibido aún cuando la cantidad en el aire es pequeña, por lo que usualmente es posible retirarse del área antes de sufrir serios daños. Este hecho hace al cloro menos dañino que otros gases como el monóxido de carbono que es inodoro y el sulfuro de hidrógeno que atrofia el sentido del olfato en un corto tiempo.

Tabla 10-1

RESPUESTAS FISIOLOGICAS A CONCENTRACION

DE GAS CLORO[20]

E F E C T O	Partes de Gas Cloro por millón de Partes de Aire en Volumen (ppm)
Sintomas ligeros después de varias horas de exposición.	1
Olor detectable	3
Inhalación durante 60 min. sin efectos serios	4
Malestares	5
Irritación de mucosas y piel	15
Tos	30
Efectos peligrosos si se inhala de 30 a 60 minutos	40
La muerte ocurre después de algunos inhalaciones profundas	1000

La inhalación de cloro produce malestar general, pánico, irritación severa de la garganta, estornudos y extrema salivación. Estos síntomas son seguidos por tos, nauseas, vómitos y dificultad para respirar. El cloro es particularmente irritante para personas que padecen asma y ciertos tipos de bronquitis crónicas. El cloro líquido causa severa irritación y ampollas en la piel.

D. 32 Protéjase del Cloro.

Toda persona que trabaja con cloro debe conocer las maneras apropiadas de manejarlo, debe ser entrenada en el uso de mascarillas de oxígeno y debe saber qué hacer en caso de emergencia.

ADVERTENCIA

LAS "MASCARAS DE GAS" DEL TIPO DE ENLATADO USUALMENTE SON INADECUADAS E INEFECTIVAS EN SITUACIONES EN LAS QUE OCURREN FUGAS DE CLORO Y POR LO TANTO NO SE RECOMIENDA SU USO BAJO NINGUNA CIRCUNSTANCIA. SE RECOMIENDAN LOS DISPOSITIVOS RESPIRATORIOS DEL TIPO AUTO-CONTENIDO DE AIRE U OXIGENO.

Aquí se enlistan algunos puntos que se deben recordar siempre para protegerse de posibles daños:

a. En una emergencia, solamente las personas autorizadas y con equipo de seguridad adecuado deben penetrar al área de peligro.

Haga que su cuerpo de bomberos examine su equipo para manejar cloro y equipo de seguridad con objeto de que conozcan que es lo que se tiene y cuales son los posibles peligros. Ellos están muy bien entrenados

en el uso de aparatos para respiración y pueden ayudarlo en una emergencia.

b. En cualquier atmósfera de cloro, es mas seguro respirar con inhalaciones ligeras y superficiales y evitar inhalaciones profundas. La recuperación de la exposición depende de la cantidad de cloro inhalado, así que es importante mantener esa cantidad tan pequeña como sea posible.

c. La ropa contaminada con cloro gaseoso o líquido continúa liberando cloro gaseoso e irritando el cuerpo, aún después de abandonar el área contaminada. Por lo tanto, la ropa contaminada debe quitarse inmediatamente y las partes expuestas del cuerpo deben lavarse con grandes cantidades de agua fría.

Se recomienda el uso de un aparato respiratorio durante estas operaciones. Se deben tomar todas las precauciones para prevenir que cualquier líquido se ponga en contacto con la ropa que no ha sido diseñada para protección, porque el líquido puede penetrar la ropa y causar daños en la piel.

d. Aprenda el modo correcto de usar los aparatos de respiración, practicar su uso regularmente y tomar seriamente las disposiciones de seguridad. Lo que aprenda puede salvarle la vida.

e. Si ha localizado una fuga de cloro y abandona el área sin repararla, debe usar un aparato de respiración con una fuente separada de aire cuando regrese para reparar la fuga. Nunca confíe en una máscara de gas de enlatado para su protección durante las reparaciones de fugas de cloro. Estas

máscaras no se recomiendan porque no aportan oxígeno, solamente remueven el cloro, si son efectivas. Algunas agencias permiten el uso de estas máscaras; sin embargo, la mayoría de los operadores que tienen experiencia en la reparación de fugas de cloro no usan estas máscaras porque tienen una vida muy corta (aproximadamente tres o cuatro meses) y no pueden proporcionar protección adecuada contra altas concentraciones de cloro. Se recomienda una gran ventilación.

f. Cooperar en el cuidado de todo el equipo de seguridad, manejándolo con cuidado y devolviéndolo a su lugar de almacén apropiado después de usarlo. El equipo defectuoso o aquél que no se encuentra cuando se necesita, no puede protegerle.

g. Siempre estar seguro de que conoce la localización de los botiquines de primeros auxilios, aparatos de respiración, regaderas y otros equipos de seguridad. Revisar regularmente las instrucciones para emergencia y estar seguro de que las conoce.

h. Notificar al departamento de policía local si se necesita ayuda para cerrar el tráfico en carreteras o evacuar personas en la vecindad de una fuga de cloro.

D.33 Primeros Auxilios.-

a. Asegúrese de conocer lo localización de los aparatos de respiración, equipos de primeros auxilios y otros equipos de seguridad.

b. Quítese la ropa contaminada con cloro líquido al instante. Traslade al paciente fuera del área de gas, si es posible a un cuarto con temperatura de 70°F. Manténgase al paciente abrigado con mantas si es necesario. Manténgalo quieto.

c. Coloque al paciente sobre su espalda con su cabeza más alta que el resto del cuerpo.

d. Llame a un médico y al cuerpo de bomberos inmediatamente. Empiece el tratamiento también inmediatamente.

e. Ojos. Si aún pequeñas cantidades de cloro se han introducido en los ojos, levante los párpados y enjuague abundantemente con agua corriente tibia. Continúe enjuagando durante 15 minutos. No aplique ningún medicamento excepto por instrucciones específicas del médico.

f. Piel. Colocar al paciente bajo la ducha inmediatamente, con todo y ropas. Quitar la ropa mientras corre el agua. Lave la piel con grandes cantidades de jabón y agua. No intente neutralizar la acción del cloro con productos químicos. No aplique pomadas o unguentos a menos que lo indique el médico.

g. Inhalación. Si el paciente respira, colóquelo en una posición confortable; manténgalo abrigado y en reposo hasta que llegue el médico. Si se ha detenido la respiración, empiece respiración artificial inmediatamente. Puede usarse el método de resucitación de boca a boca o cualquier otro apro-

bado. Debe administrársele oxígeno si se cuenta con el equipo y el - personal entrenado.

Se considera preferible la respiración artificial automática a la manual pero sólo si se administra por un operador experimentado.

Se recomienda reposo después de exposición severa al cloro.

h. Irritación de la garganta. El tomar leche aliviará las molestias de la irritación de la garganta por la exposición al cloro. El mascar chicle o tomar espíritu de menta también reducirá la irritación de la garganta. Siga las reglas de emergencia indicadas por el médico. En ausencia de tales reglas se sugieren los pasos de primeros auxilios arriba mencionados.

Tomado en parte del Panfleto de Manejo Seguro del Cloro, publicado por la División Química de Industrias PPG, Inc.

D. 4 MANEJO DEL CLORO.-

D.40 Recipientes para cloro.-

D.400 Cilíndros.

Para el consumidor pequeño promedio, son convenientes los cilíndros que contienen 100 a 150 kg de cloro. Estos cilíndros están construidos usualmente de acero sin costuras (fig. d.5).

Un tapón fusible se coloca en la válvula, justo bajo el asiento (fig. D.6). este tapón es un mecanismo de seguridad. El metal del fusible se ablanda

o se funde a 158° - 165°F, para prevenir la acumulación de presiones excesivas y la posibilidad de ruptura debido al fuego o a altas temperaturas circundantes.

Los cilíndros no pueden explotar y pueden manejarse con seguridad.

Los siguientes son procedimientos para manejar cilíndros de cloro.

1. Mover los cilíndros con una grúa apropiadamente balanceada que tenga soportes de pinza que sostengan al menos dos tercios del cuerpo del cilíndro.
2. Los cilíndros de 100 - 150 libras pueden rodarse en una posición vertical. El levantamiento de estos cilíndros debe evitarse excepto con equipo aprobado. Nunca lo levante con cadenas, cuerdas o magnetos.
3. Cuando se mueva un cilíndro siempre se debe colocar el capuchón protector.
4. Los cilíndros deben mantenerse alejados del calor directo (Tubos de vapor, radiadores, etc.)
5. Los cilíndros deben almacénarse en una posición vertical.

PREGUNTAS:

D.3A ¿Cuáles son los peligros del gas cloro ?

D.3B ¿Qué tipo de aparato de respiración se recomienda cuando se reparan fugas de cloro ?

D.3C ¿Qué medidas de primeros auxilios deben tomarse si una persona se pone en contacto con el cloro ?

PREGUNTAS

D.0A ¿ Cuál es el propósito de la desinfección?

¿ Cuál es su importancia?

D.0B ¿ Cómo se destruye la bacteria patogénica?

D.0C ¿ Por qué se usa cloro para la desinfección?

D.0D ¿ Por qué no se esterilizan los desechos?

CUESTIONARIO:

10.0E ¿ Qué cantidad de cloro reacciona con el agua residual ?

10.0F ¿ Qué cantidad de cloro debe ser agregada al agua residual para que se lleve a cabo la acción de desinfección?

10.0G ¿ Cuánto es la demanda de cloro determinada?

10.0H ¿ Qué cantidad es la dosis de cloro determinada?

10.0I Calcular la demanda de cloro necesaria para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Flujo estimado = 4.54 millones de litros / día.

Clorador = 32 kg. de cloro por 24 hrs.

Residuo = 0.4 mg/l después de 30 minutos.

CUESTIONARIO:

D.0J ¿ Qué es más resiente a la cloración, las bacterias que causan enfermedades intestinales o las bacterias intestinales no patógenas, designadas como grupo coliforme.

D.0K ¿ Por qué se encuentran grandes variaciones en los NMP'S de las muestras de aguas de desecho cloradas, aún bajo condiciones aparentemente similares?

D.0L ¿ Cuáles son algunos de los descubrimientos hechos para correlacionar cloro residual y NMP ?

D.0M ¿ Cómo se determina la efectividad del cloro residual en una planta de tratamiento dada ?

PREGUNTAS

10.1A ¿ Cuál es el propósito de la cloración en las alcantarillas?

10.1B ¿ Dónde debe ser aplicada la cloración en las alcantarillas?

10.1C ¿ Cuáles son las razones de la precloración ?

10.1D ¿ Por qué se debe agregar cloro al agua residual durante el tratamiento por otros procesos?

10.1E Cuál es el objetivo de la postcloración?

PREGUNTAS

D.2A ¿ Cómo se puede controlar la dosificación de cloro gas?

D.2B ¿ El control de la dosificación de cloro depende del nivel bacteriano deseado?

D.2C ¿ Definición amperométrica?

PREGUNTAS

D.2D ¿ Cómo se determina la dosificación para un clorador?

D.2E Determinar la tasa de alimentación de cloro, libras por 24 horas, si está tratando:

1. Un flujo de 0.5 mgd y el cloro requerido es 1.0 mg/l.
2. Flujo = 0.8 mgd y cloro requerido = 4.0 mg/l.
3. Flujo = 6 mgd y cloro requerido = 25 mg/l.

D.2F ¿ Con qué frecuencia se deben ajustar las tasas de alimentación con los controles manuales? ¿ Por qué ?

D.2G ¿ Cuántas libras de HAP (hipoclorito de alta prueba) se deben usar, por día, por un hipoclorador que dosifica un flujo de 0.55 mgd a 12 mg/l de cloro?

PREGUNTAS

D.2H ¿ Por qué ocurre muy poco mezclado de las soluciones de cloro con las aguas de desecho en los tanques de contacto?

D.21 Las tuberías de descarga de soluciones de cloro pueden estar hechas de _____ o de _____

DISCUSION Y PREGUNTAS DE REVISION

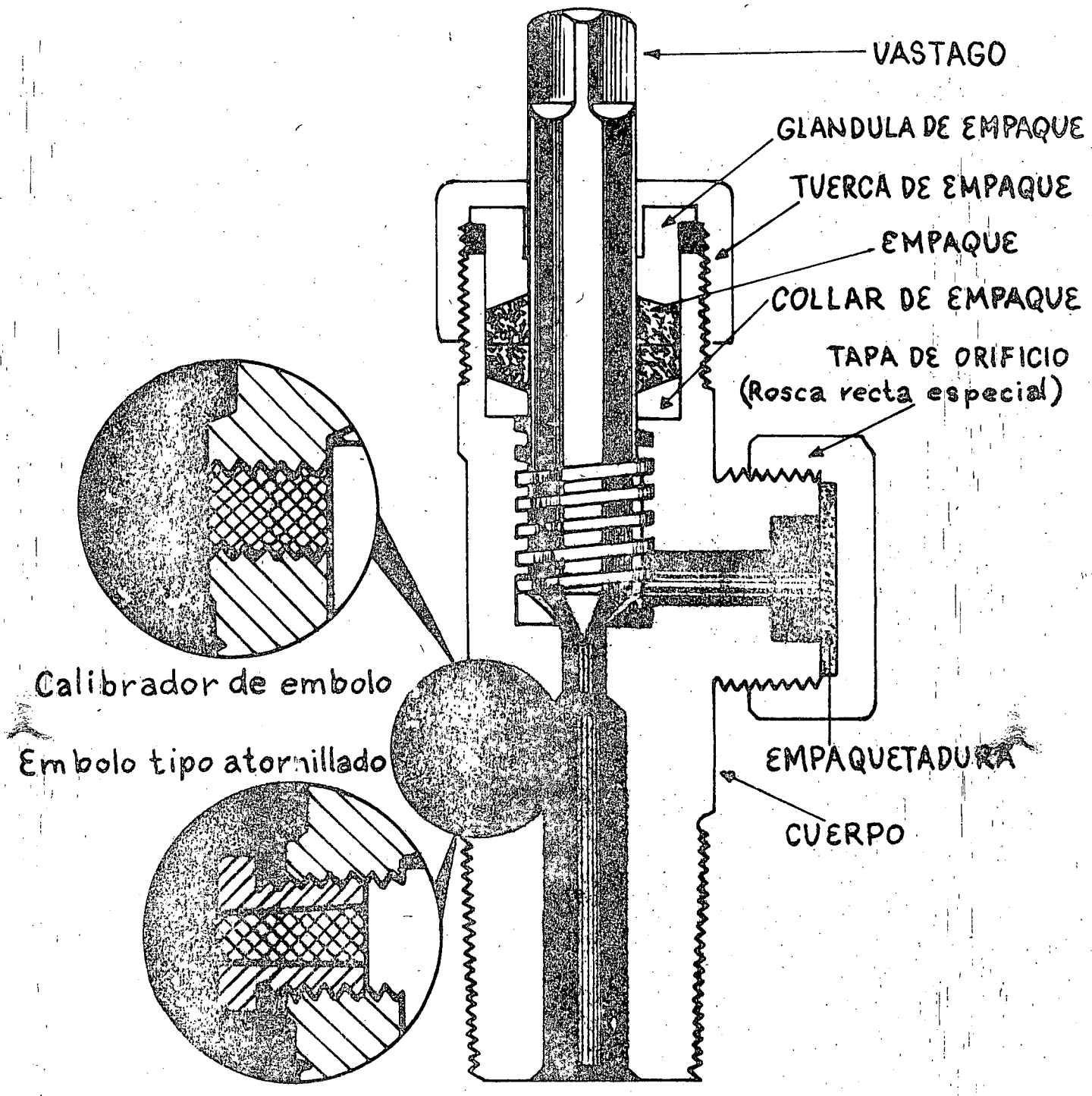
7. ¿ Dónde puede aplicarse el cloro para el tratamiento de aguas de desecho?

8. ¿ Dónde se aplica usualmente el cloro para propósitos de desinfección?

9. ¿ Cuál es el último control de la dosis de cloro para la desinfección?

10. Determinar la tasa de alimentación de cloro para un flujo de 0.75 MGD y una dosis de cloro de 18 mg/l.

11. ¿ Por qué la solución de cloro debe mezclarse perfectamente con el agua de desecho?



VALVULA DE CILINDRO ESTANDAR

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

DESINFECCION Y CLORACION

ING. FRANCISCO J. LEYVA GARCIA

SEPTIEMBRE, 1978.

D.401 TANQUES DE TONELADA

Los tanques de tonelada están construidos sólidamente, soldados a -- conciencia y tienen una capacidad de carga de 1678 kg. Tienen 200 cm. de longitud y 75 cm. de diámetro. Los extremos de los tanques son hendidos en la parte interior proporcionando un buen agarre para levantar y sujetar (Fig. 10.7).

A continuación se presentan algunas características y procedimientos para el manejo de los tanques de tonelada.

La mayoría de los tanques de tonelada tienen ocho aberturas o entradas para las válvulas y los fusibles de émbolo (Figs. 10.7 y 8). Generalmente se localizan dos válvulas en operación una en el extremo y otra cerca del centro y seis u ocho fusibles de émbolo localizados de tres a cuatro en cada extremo. Estos están diseñados para fundirse dentro del mismo rango de temperatura, que el émbolo de seguridad en la válvula del cilindro.

Cuando son varios tanques de tonelada se transportan en carros de ferrocarril. Si es un tanque, puede transportarse en camión.

Los tanques de tonelada deben manejarse con un agarre conveniente para que se puedan levantar con una grúa de cuando menos dos toneladas de capacidad (Fig. 10.7).

Los tanques de tonelada se almacenan y se colocan horizontalmente en el piso y en soportes de acero o concreto; sin embargo, no deben ser apilados de tal manera que alcancen la altura de un tanque. Los tanques de tonelada deben colocarse en dos cuñas que están equipadas con rodillos de tal manera que las válvulas puedan ponerse una sobre la otra. La válvula superior descargará gas cloro y la inferior descargará cloro líquido (fig. 10.7). Los rodillos no deben exceder de 8.90 cm. de diámetro, para que los recipientes no rueden facilmente y se coloquen fuera de posición.

Los ejes de los rodillos deben estar equipados con un tipo de lubricación zerk apropiado y ranurados para una lubricación permanente. No es aconsejable el soporte de los rodillos por la facilidad con la cual éstos pueden girar.

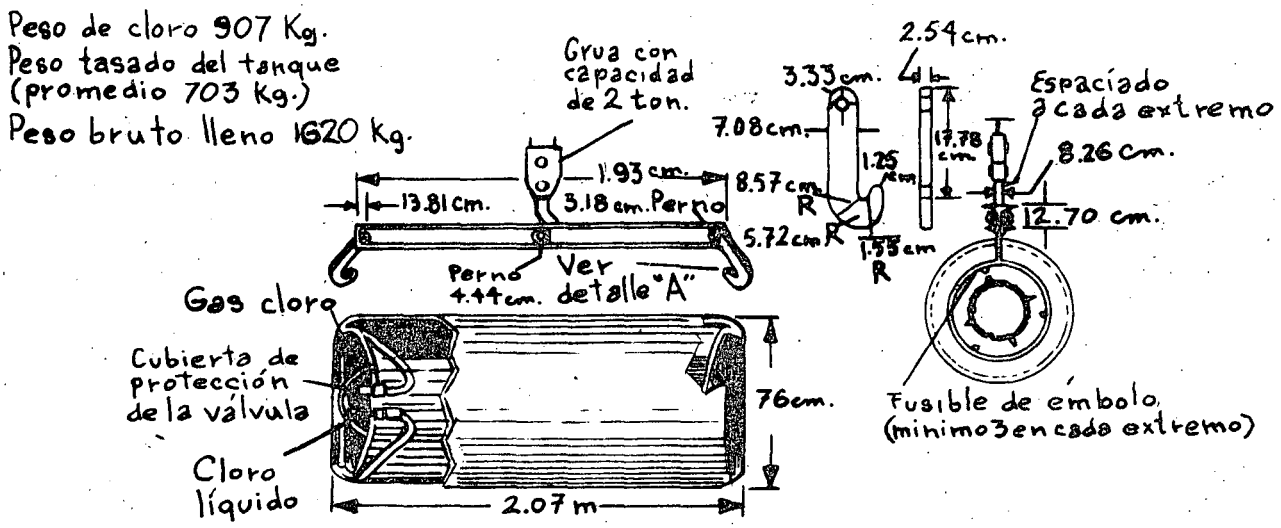
Cuando se observan estas reglas no se requiere mecanismo de cerradura.

D.402 CARROS DE TANQUES DE CLORO.

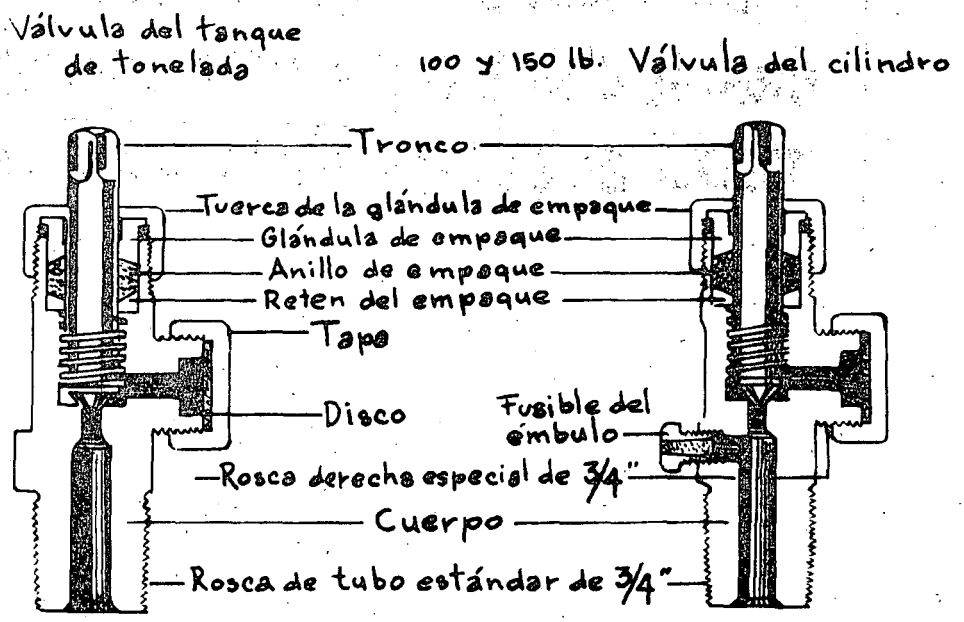
Los carros de tanque de cloro tienen una capacidad de 16, 30, 55, 85 o 90 toneladas. Todos tienen un aislamiento o tapón de corcho de 10 cm. protegido por una cubierta de acero. El domo del carro es-

ADVERTENCIA

ES MUY IMPORTANTE QUE EL FUSIBLE DE EMBOLO BAJO NINGUNA CIRCUNSTACIA DEBA SER EXPUESTO A LA TEMPERATURA Y EL TANQUE NO DEBERA SER CALENTADO. UNA VEZ QUE LOS EMBOLOS SE ABREN TODO EL CLORO DEBE SER LIBERADO



10.7 Viga elevadora del tanque de tonelada.



10.8 Comparación de la válvula del tanque de tonelada con la válvula del cilindro.

tándar contiene cuatro válvulas de ángulo mas una válvula de seguridad. Dos válvulas de ángulo localizadas en el eje de la línea del tanque, están equipadas para descargar cloro líquido. Las otras dos válvulas de ángulo a la derecha de los ángulos de los ejes del tanque liberan cloro líquido (Fig. 10.9).

Los siguientes son algunos procedimientos para descargar cloro líquido de los carros tanque.

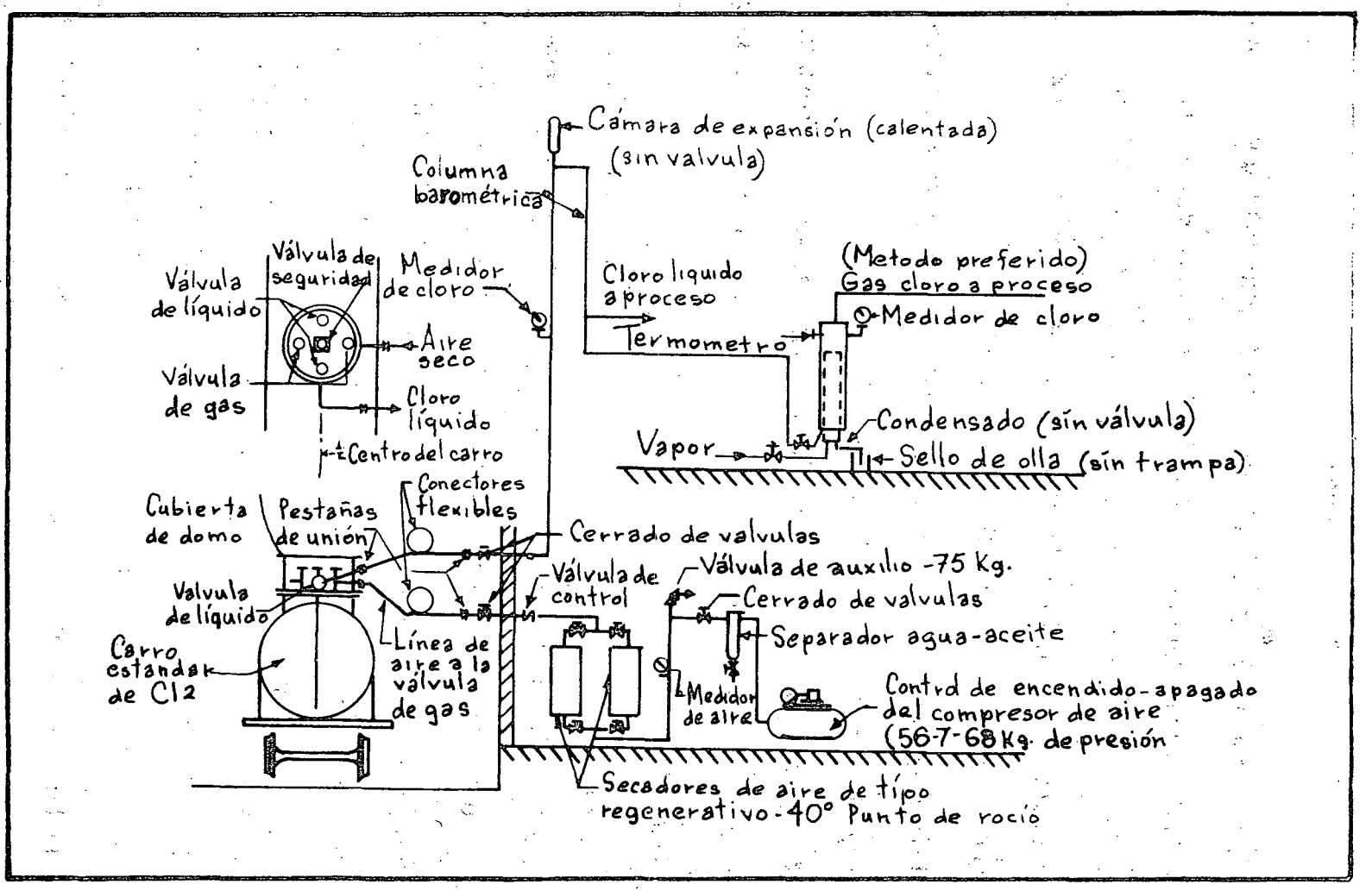
La descarga puede ser realizada por personal entrenado de acuerdo con los reglamentos establecidos por la Interstate Commerce Commission (ICC).

En la mayoría de los casos, el cloro es extraído de los carros tanque como un líquido y pasado a través de evaporadores de cloro. Algunas veces el aire seco se pasa al interior del carro tanque por medio de una de las válvulas de gas para substituir al líquido extraído. Esta práctica se denomina "aire de relleno".

D.41 REMOCION DE CLORO DE LOS RECIPIENTES.

D.410 CONEXIONES.- Las roscas exteriores de las válvulas de los recipientes no pueden ser tubos roscados.

Deben usarse empaquetaduras apropiadas para equipar las conexiones por el suministrador de cloro o fabricante del equipo clorador. No se debe tratar de usar roscas de tubería ajustadas. Deben usar-



10.9 Arreglo típico de un carro-tanque de descarga de cloro

se nuevas empaquetaduras para cada nueva conexión que se requiera. Se recomienda tubería de cobre de 3/8" de diámetro, flexible y de 2000 psi para conexiones entre recipientes de cloro y tubería estacionaria. Debe tenerse cuidado para prevenir dobleces cortantes en el tubo, porque esto puede debilitarlo y eventualmente pueden presentarse fugas. Muchos operadores recomiendan el uso de un vendaje para contener el tubo cuando se desconecte de un cilindro vacío para prevenir que el tubo se caiga y que se ensucie en su interior.

Es necesario tener una válvula después de la válvula del recipiente o al inicio de la tubería estacionaria para simplificar el cambio de recipientes.

D.411 VALVULAS.- No usar llaves de tuercas mayores de 6", llaves de tuercas o llaves de tuercas con extensión o válvulas de recipientes. Golpear el extremo de la llave de tuercas con el talón y rotar el tronco de la válvula en sentido contrario al de las manecillas del reloj abriéndose lentamente. Un giro completo permite una descarga máxima. No se debe forzar la válvula más allá de este punto. Si la válvula está muy apretada, aflojar la tuerca de la glándula de empaque hasta liberar el tronco.

D.412 TANQUES DE TONELADA.- Un tanque de tonelada (Fig. 10.7) debe colocarse sobre su lado con las válvulas en posición vertical.

Se conecta el tubo flexible a lo más alto de la válvula para remover el gas cloro del tanque. El fondo de la válvula se usa para remover el cloro líquido solamente con un evaporador de cloro.

Las válvulas son similares a las de los pequeños cilindros de cloro (los fusibles de émbolo no se localizan en las válvulas en los recipientes de tonelada) y deben manejarse con el mismo cuidado.

D.42 FUGAS DE CLORO.- Las fugas de cloro deben atenderse inmediatamente antes de que se originen problemas. Las medidas correctivas deben ser tomadas solamente por personal entrenado y con equipo de seguridad; además los operadores deben ser entrenados para que reparen estas fugas.

Todas las demás personas deberán dejar el área de peligro hasta que se logren las condiciones de seguridad adecuadas.

Si la fuga es grande, todas las personas en las áreas adyacentes deberán ser advertidas y evacuadas. Se debe obtener ayuda de la policía. Usted siempre debe considerar a sus vecinos, GENTE, animales y plantas.

1.- Antes de que cualquier nuevo sistema sea puesto en servicio, deberá ser limpiado, secado y probado para fugas. Las líneas de tubería pueden ser lavadas y secadas mediante flujo de vapor para permitir su condensación y que los materiales extraños sean

extraídos.

Después, la línea vacía es calentada completamente, el aire seco puede soplarse dentro de la línea hasta que se seque. Después del secado, el sistema puede ser probado para tensiones de 150 psi de aire seco. Las fugas pueden detectarse mediante la aplicación de espuma de jabón en la parte exterior de las juntas. Pequeñas cantidades de gas cloro pueden ser introducidas en la línea, el aumento de presión con el aire y el sistema deberá ser probado para fugas.

Siempre que un nuevo sistema sea probado, al menos un clorador debe estar en la línea para extraer el cloro del sistema en caso de una fuga. Lo mismo es válido en caso de una emergencia de fuga en cualquier instalación. Si un clorador no está funcionando, al menos uno o más deben ponerse a trabajar. De preferencia todos los cloradores aprovechables deben ponerse en la línea.

2.- Encontrar una fuga de cloro, hacer un nudo con un trapo en un palo, sumergirlo* en una solución concentrada de amoniaco y colocarla sobre los puntos en los cuales se tenga duda. Moviendo el trapo alrededor del cuarto, también se puede localizar la fuente de una fuga. Con la emanación puede indicarse el sitio exacto de la fuga. La localización de fugas por este método, no es

*Puede usarse un cepillo de pintor de 2.54 cm. para pintar en lugar de un tra

posible cuando éstas son muy grandes, ya que el gas se difunde sobre grandes áreas.

3.- Si la fuga se encuentra en el equipo, en el cual el cloro se está usando, cierre en seguida las válvulas del recipiente de cloro y no se intente reparar mientras el equipo esté en servicio. Todas las tuberías de cloro y equipo reparado con soldadura debe ser lavado con agua ó vapor.

Antes de volver a utilizar el equipo se debe lavar, secar y probar como previamente se ha descrito.

4.- Si la fuga se encuentra en un cilindro de cloro o recipiente, use la caja de herramientas para la reparación de emergencia. Estas herramientas pueden usarse para detener más fugas en un cilindro de cloro o recipiente y usualmente puede entregarse a la planta después de pocas horas si no está en el sitio de la fuga. Es recomendable para las emergencias, tener herramientas disponibles en la planta durante todo el tiempo y entrenar personal para su uso.

La ubicación de estas herramientas, debe estar fuera de las áreas de almacenamiento del cloro.

Si el cloro se escapa como líquido de un cilindro o un tanque de tonelada, gírese el recipiente hasta que el lado de la fuga esté hacia arriba. En esta posición, el cloro solamente podrá esca-

par como gas y la cantidad que escape deberá ser solamente 1/15 cuando mucho, que si la fuga fuera de cloro líquido. Manteniendo los cloradores funcionando, también puede reducirse la cantidad de gas cloro escapando del recipiente. Increméntese la tasa de alimentación para enfriar los tanques de suministro tanto como sea posible.

5.- Para situaciones con una fuga prolongada e incontrolable, debe disponerse determinada cantidad de cloro. El cloro puede ser absorbido en soluciones de sosa caústica, soda ash o mezclas agitadas de cal hidratada.

(Tabla D.2). El cloro debe pasarse dentro de la solución a través de una tubería de hierro o de una manguera de hule pesada para que se mantenga sumergida en la solución de absorción. El recipiente no debe sumergirse porque las fugas pueden aumentar debido al efecto corrosivo y puede flotar cuando se encuentre parcialmente vacío.

En algunos casos, puede ser aconsejable mover el recipiente a un lugar aislado.

Se recomienda discutir los detalles de las precauciones con el abastecedor de cloro.

6.- Nunca poner agua en una fuga de cloro. La mezcla de agua y cloro incrementará la tasa de corrosión en el recipiente y puede hacer más grande la fuga. Además, el agua puede calentar el cloro, incrementándose así la presión y forzando al cloro a escapar más rápidamente.

TABLA D.2

SOLUCIONES DE ABSORCION DE CLORO*

Solución de Absorción		Alcali (kg.)	Agua (litros)
Sosa cáustica (100 %)	a	56.70	151.40
	b	85.48	287.10
	c	1134	3028
Soda ash	a	136.10	378.50
	b	204.12	567.75
	c	2731.60	7570
Cal hidratada**	a	56.70	473.13
	b	85.48	709.38
	c	1134	9462.50

* Fuente: El Instituto del cloro

** La solución de cal hidratada debe ser contínua y vigorosamente agitada mientras el cloro es absorbido.

Las fugas alrededor de los vástagos de las válvulas pueden ser eliminadas frecuentemente cerrando la válvula o apretando la tuerca del empaque. Apriete la tuerca ó el vástago en la dirección de las manecillas del reloj.

Las fugas en la salida de la descarga de la válvula se pueden eliminar frecuentemente reemplazando el empaque ó la conexión del adaptador.

Las fugas en los contactos de fusibles y válvulas de cilindro generalmente requieren manejo especial y equipo de emergencia. Inmediatamente llame a su proveedor y obtenga un estuche de reparaciones de emergencia para éste propósito si es que no cuenta con él.

Las fugas microscópicas en las paredes de cilindros y tanques rectangulares pueden eliminarse usando un cinturón de presión ajustable disponible en los estuches de reparación. Esto es sólo una medida temporal o provisional, y el recipiente debe vaciarse tan pronto como sea posible.

Si no se dispone de un estuche de reparación, use su ingenio. Un operador paró una fuga microscópica provisionalmente hasta que llegó un estuche de reparaciones colocando varias capas dobladas de empa-

que de neopreno sobre la fuga, una pieza de placa de acero de desecho sobre el empaque, enredando una cadena alrededor del cilindro y placa de acero, y aplicando presión de palanca con una barreta.

Un recipiente que tenga fugas no debe usarse jamás. Si el recipiente tiene fugas o si las válvulas no trabajan apropiadamente, guarde el recipiente hasta que reciba instrucciones de su proveedor de cloro para regresarlo. Si se hace una fuga de cloro en el recorrido, mantenga el vehículo en movimiento hasta llegar a un lugar abierto.

No acepte la entrega de recipientes que muestren evidencia de fugas, fibras sueltas, o injurias de alguna clase.

D.5 EQUIPO DE CLORACION Y MANTENIMIENTO.

D.50 CLORADORES.

El cloro puede suministrarse de un alimentador por uno de dos métodos:

1.- Alimentación por solución, comúnmente practicada, en el cual el gas de cloro se controla, se mide, se introduce a una corriente de agua de inyección, y luego se conduce como solución al punto de aplicación.

2.- Alimentación directa, algunas veces llamada alimentación seca, en la cual el gas se introduce directamente por un difusor adecuado en el punto de aplicación. Este método se usa solamente

cuando no se dispone de una fuente de agua de inyección a la presión adecuada, o energía para una bomba de inyector. Las dificultades de operación experimentadas al medir gas de cloro seco directamente en el punto de aplicación hacen de éste tipo de equipo un último recurso.

Enseguida están los tipos comunes de alimentadores usados en las plantas de tratamiento de aguas negras.

D.500 Cloradores alimentadores de solución por medio del vacío.

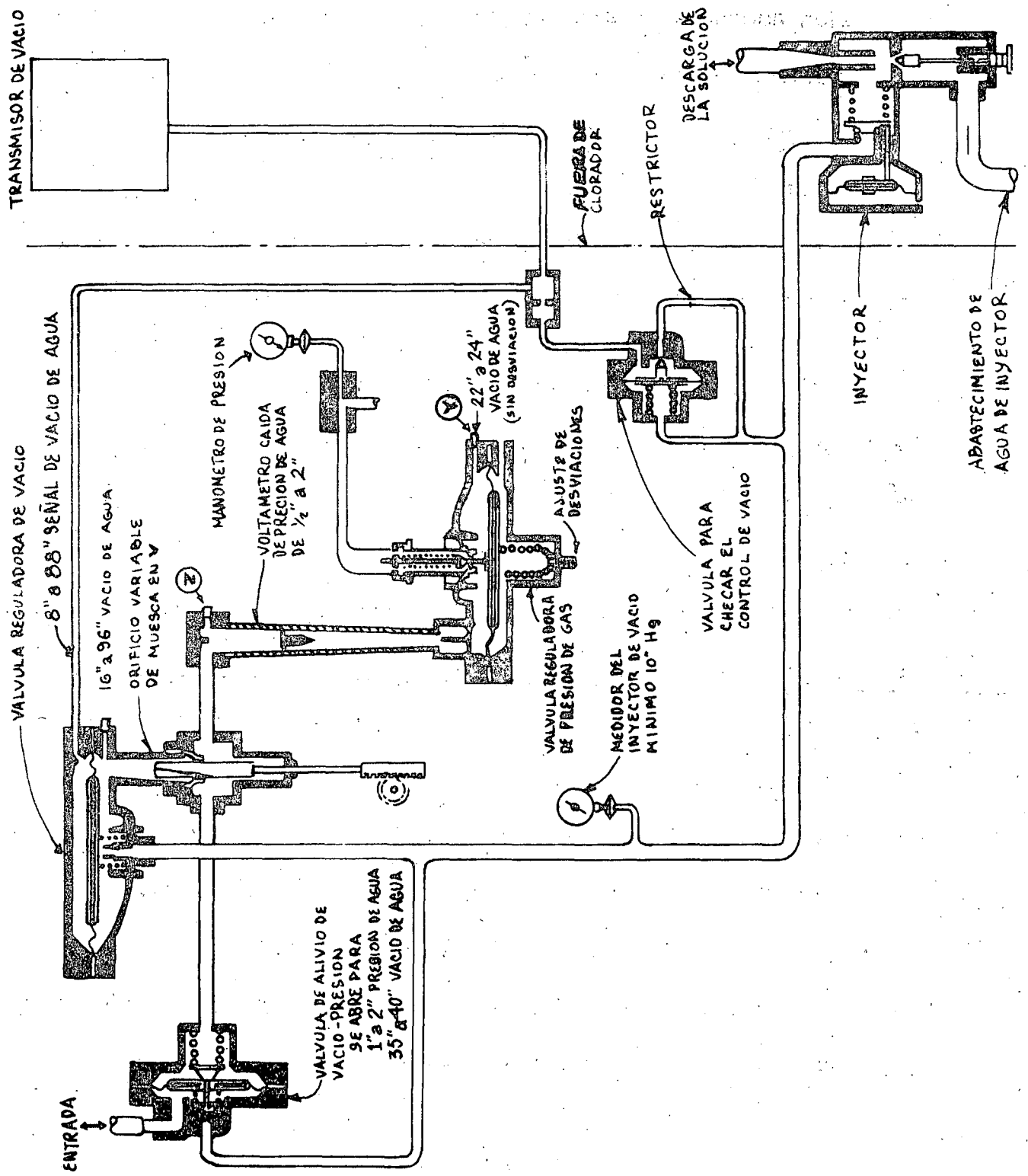
Este tipo de equipo (Fig. 10.10) comprende más del 90 % de todo el equipo de cloración de gas en servicio actual en las operaciones de -- tratamiento de aguas y aguas negras. La principal ventaja de la operación de vacío es la seguridad, si ocurre una falla o rotura en el sistema de vacío, el clorador para el flujo de cloro al equipo o permite que entre aire al sistema de vacío en vez de permitir que el cloro escape en la atmósfera circundante. En caso de que falle el mecanismo de cierre de la entrada de cloro, una válvula descarga el gas de entrada a la parte de afuera del edificio del clorador.

El vacío de operación se suministra por un inyector hidráulico. El agua de operación del inyector absorbe el gas cloro, y la solución de cloro resultante es conducida a un difusor de cloro a través de un con-

CLORADOR DE MUESCA EN V CON CAPACIDAD DE 908 Kg.

DIAGRAMA DE FLUJO

Control de Vacío Variable
Vacío de Control del Inyector Principal



ducto resistente a la corrosión.

Un clorador de vacío tambien incluye una válvula reguladora de vacío para amortiguar fluctuaciones y operar sin problemas.

Una válvula de alivio evita el vacío excesivo dentro del equipo.

En la fig. 10.10 se muestra un clorador típico de control de vacío.

El gas cloro fluye de un recipiente de cloro a la entrada de gas (localizada arriba de la "Y" cerrada en un círculo a la mitad derecha de la figura). Después de entrar al clorador el gas pasa por una válvula reguladora de presión operada con un resorte que mantiene la presión de operación apropiada. Se usa un rotámetro para indicar la velocidad del flujo de gas. La velocidad se controla por un orificio variable de muesca en " V". El gas se mueve hacia el inyector donde se disuelve en agua y sale del clorador como una solución de cloro (HOCL) lista para su aplicación.

D. 501 Cloradores de vacío parcial, del tipo de presión, y tipo pulsante.

Aparte del tipo de presión descrito previamente se traen, estos tipos de equipo, cuya aplicación está limitada y son pocos los que permanecen en servicio. Los cloradores pulsantes y de vacío parcial están diseñados principalmente para velocidades de alimentación extremadamente bajas.

El equipo de alimentación de solución de vacío puede alimentar menos de 0.25 Lbs/día . El reducido costo de la hipocloración casi ha eliminado su uso.

D.51 HIPOCLORADORES.- Los hipocloradores son mecanismos que se usan para alimentar cloro en la forma de hipoclorito de calcio, sodio ó litio. Los hipocloritos están disponibles como líquidos ó diferentes formas sólidas (polvo, pellets) y en varias formas de recipientes ó a granel.

D. 52 Instalación, operación y Mantenimiento.

Los siguientes son algunos aspectos de importancia cuando se trabaja con instalaciones de cloro.

1. - Los cloradores deben localizarse cerca del punto de aplicación.

2. - Si es posible, debe haber un cuarto separado para cloradores y almacenamiento de recipientes de cloro (sobre el piso) para evitar que las fugas del cloro dañen el equipo y causen heridas al personal. No debe haber acceso a este cuarto.

3. - Debe proveerse bastante espacio de trabajo alrededor del equipo y espacio de almacenamiento para las partes necesarias para el mantenimiento .

4. - Debe haber un amplio abastecimiento de agua para operar el clorador a la capacidad requerida bajo condiciones máximas de presión en la descarga del inyector del clorador.

5. - El edificio debe estar adecuadamente calentado la temperatura del cilindro de cloro y del clorador debe estar arriba de 50°F. Se pueden usar calentadores de línea para mantener las tuberías de cloro y el clorador a temperaturas más altas para evitar la condensación del gas a líquido en las tuberías y el cloradores. La temperatura máxima a la que se almacene un cilindro de cloro no debe exceder de 110°F.

6. - No es aconsejable sacar más de 40 libras de cloro de ningún cilindro de 100 a 150 libras en un período de 24 horas debido al peligro de congelar el resto y retardar el flujo de cloro. Con recipientes de capacidad de una to-

nelada, el límite de gas cloro es cerca de 450 libras por día el que se puede sacar. Cuando se suministran evaporadores, estas limitaciones se eliminan.

7. - Debe haber luz adecuada.

8. - Debe haber ventilación adecuada.

La ventilación continua es preferible.

Se debe proporcionar ventilación forzada para eliminar el gas si ocurre una fuga grande. La salida de un sistema de ventilación forzada debe estar cerca del piso por que el cloro es 2.5 veces más pesado que el aire use un ventilador de alta presión (mantenga el cuarto bajo una ligera presión positiva).

No succione aire del cuarto a través del ventilador. Las persianas en las entradas deben estar dirigidas hacia afuera y mantenerse siempre abiertas, o abrirse automáticamente. Debe ser imposible cerrar las persianas.

9. - Se requiere una medición adecuada y control de la dosis de cloro. Son aconsejables básculas y registradores que indiquen pérdida en peso como revisión continua y como registro de la continuidad de cloración.

Registre los pesos diariamente.

10. - Debe haber continuidad en la cloración.

Cuando se practica la cloración para desinfección, se le necesita continuamente para la protección de los usuarios del agua y aguas abajo. Por lo tanto acondicione la operación de cloración para que funcione por 1440 minutos por día. Para asegurar la cloración continua, las líneas de gas cloro de los cilindros deben alimentar a un múltiple de modo que -

los cilíndros podrán quitarse sin interrumpir la alimentación de gas. Deben proveerse unidades por duplicado o un hipoclorador de emergencia.

D. 53 REQUERIMIENTOS DE INSTALACION. - (Sección A de las hojas No. 5.110 y 5.111 del cátalogo Wallace y Tiernan)

D. 530 Tuberías, Válvulas y múltiples.

Después de que haya determinado.

a). - La disponibilidad de varios tipos de recipientes de cloro y seleccionado el tipo más adecuado para sus necesidades, b). - el inventario y espacios requeridos, c). - el método para manejar los recipientes y, d). - el tipo de básculas que se van a usar, el paso final con respecto al abastecimiento de cloro es planear la tubería requerida.

CONEXIONES A LOS RECIPIENTES: Es práctica estandar conectar una válvula de tanque auxiliar (ya sea del tipo de unión o de yugo) a la válvula del recipiente para facilitar su cambio y minimizar la liberación de gas cuando se haga este, y para servir como válvula de cierre en el caso de que la válvula del recipiente sea defectuosa. Se usa una conexión flexible para conectar esta válvula auxiliar al múltiple, o, en el caso de instalaciones pequeñas directamente al clorador.

CONEXIONES AL CLORADOR.

En general los cloradores pequeños están equipados para recibir una conexión flexible directamente del recipiente de cloro y no es necesaria ninguna otra tubería.

Los cloradores más grandes pueden usar una conexión flexible desde el múltiple , si están localizados cerca del recipiente, o pueden emplear tuberías del múltiple al clorador cuando la distancia sea mayor.

CONEXIONES EN EL EVAPORADOR: donde se usan evaporadores la tubería del múltiple al evaporador lleva cloro líquido, y la tubería del evaporador al clorador transporta cloro gaseoso. Los evaporadores normalmente están equipados con las válvulas y aditamentos más indispensables.

TUBERIA, MATERIALES Y JUNTAS: La práctica más adecuada requiere el uso de hierro forjado genuino, extra pesado, negro, o tubería de acero al carbón sin costura (cédula 80) para conducir el gas cloro o líquido y aditamentos que estén forjados o acero al carbón fundido, con pestañas de 300 lbs. USA. con excepción de casos especiales, el tamaño será 3/4" o 1".

En la mayoría de las instalaciones en la práctica se usan juntas atadas. Estas juntas deben unirse usando cintas de Teflón como junta lubricante. Se recomiendan uniones del tipo de pestaña, de amoníaco, ovál de dos tuercas. Para tamaños de tubos mayores a una pulgada de diámetro debe usarse una ovál de cuatro tuercas. Desde el punto de vista de mantenimiento, las válvulas de línea deben ser las menos posibles. Se requiere aislamiento sólo en aquellos casos excepcionales donde sea necesario evitar que las líneas de cloro gaseoso se congelen o se sobre calienten las líneas con líquido.

TUBERIA - GAS CLORO. - Es importante observar las condiciones correctas de temperatura al conducir cloro gaseoso dede donde están localizados los recipientes hasta al punto en el cual se utiliza. Para evitar problemas por la relicuefacción* del cloro, las tuberías y el equipo de control deben estar a una temperatura más alta que aquella de los recipientes de almacenamiento del cloro. En general se recomienda una diferencia de 5 ó 10°F. Es preferible correr las líneas de cloro gaseoso en lo alto a través de áreas relativamente cálidas mas bien que a lo largo del piso o por áreas subterráneas donde se puedan encontrar temperaturas más bajas.

Donde no sea posible asegurar condiciones de temperatura adecuada, se recomienda el uso de una válvula reductora de presión de cloro externa colocada cerca de los recipientes.

El uso de una válvula reductora de presión de cloro también se recomienda en aquellas localidades donde los cambios de temperatura son bruscos durante un período de 24 horas.

TUBERIA - CLORO LIQUIDO. - En el caso de cloro líquido, es importante evitar condiciones que provoquen la vaporización. Así es importante mantener las líneas de cloro líquido tan frías como, o más, que los recipientes. Evite correr líneas de cloro líquido por áreas sobre calentadas donde pueda ocurrir gasificación.

* Relicuefacción: La vuelta de estado gaseoso a líquido.

Las válvulas en las líneas de cloro líquido deben ser las menos posible y es particularmente importante evitar situaciones donde sea fácil cerrar dos válvulas en una línea atrapando de ésta manera líquido que, al presentarse un aumento en la temperatura puede adquirir presiones peligrosas.

Se recomienda el uso de una cámara de expansión donde ocurran atrapamientos en la línea o donde sea necesario que las líneas corran una distancia considerable.

Una cámara de expansión es generalmente un cilindro de cloro vacío de 100 ó 150 libras instalado en una posición invertida directamente por encima de la línea del cloro líquido por medio de una "T". Como el nombre lo dice, el cilindro provee una área de expansión en caso de que l las válvulas a ambos extremos de la línea estén cerradas.

VALVULAS Y MULTIPLES: Las válvulas de cloro consisten de lo siguiente:

a) válvulas de tanque auxiliares para usarse en el recipiente

b) válvulas principales para usarse con o en conjunto con los múltiples

c) válvulas en línea para inserción en líneas líquidas y gas para propósitos de cierre.

d) válvulas reductoras de presión para reducir la presión en líneas de gas donde sea necesario

Los múltiples son piezas ensambladas para recibir las conexiones flexibles del recipiente, generalmente proveen una válvula de cierre, e incluyen el dispositivo para conectarse a la tubería del clorador. Están disponibles en diferentes tipos y tamaños para acomodar cualquier número de recipientes que se requiera y pueden montarse en la forma que sea más conveniente.

Abastecimiento de agua del inyector del clorador.- El abastecimiento de agua de operación al inyector sirve para producir el vacío bajo el cual funcionan los cloradores, para disolver el cloro y descargarlo como solución en el punto de aplicación. La cantidad de agua requerida y la presión mínima a la cual se deba suministrar depende de:

1. Máxima velocidad de alimentación del clorador, y
2. Presión negativa en la descarga del inyector (presión en el punto de aplicación del cloro, más pérdidas de presión en la línea de solución, y mas o menos la diferencia de elevación entre el inyector y el punto de aplicación.

La cantidad de agua y la presión pueden variar de 1 a 2 gal/mín. a 15 lb/in^2 (para 10 lbs/día a 0 de presión negativa) hasta 360 gal/min. a 60 lbs/in^2 (8000 lbs/día a 20 lbs/in^2 de presión negativa). En algunas situaciones de presión negativa extremadamente alta, se puede requerir agua de inyección hasta de 300 lb/in^2. Estas condiciones se presentan con frecuencia en instalaciones de tratamiento de agua negra, y presiones negativas de más de 20 lb/in^2 (excepto en aplicaciones principales forzadas) son poco comunes.

El efluente de la planta se usa frecuentemente como agua de operación de inyector. Cuando este es el caso, normalmente se requiere una bomba para proveer la cantidad y presión requeridas. Si se usa una bomba exclusivamente para operación del inyector debe diseñarse un 25 o 50 % en exceso de la capacidad, para prever el desgaste. El agua del inyector es frecuentemente suministrada de un sistema de servicio de agua que se utiliza también para otro propósito. Si la única fuente de agua de inyector es el abastecimiento de agua potable, deben tomarse precacuciones para evitar que existan conexiones cruzadas entre las aguas residuales y el agua potable. (Consulte con la autoridad local de salud pública.

Los requerimientos de agua de inyector varían ampliamente, dependiendo de la marca, modelo, capacidad, presión negativa etc., que es recomendable consultar al fabricante del clorador si se debe instalar un nuevo sistema o si el sistema existente debe modificarse o deban variarse las condiciones de operación.

D.6 OTROS USOS DEL CLORO.

D. 60 CONTROL DE OLOR. - La cloración del agua residual para el control de olores se usa para inhibir el crecimiento de bacterias que producen olores y para destruir el ácido sulfhídrico (H_2S), el causante más común de malos olores, que tiene olor a huevos podridos. El ácido sulfhídrico además de crear un problema de olor, cuando se mezcla con el aire a ciertas concentraciones puede ser un peligro de explosión. El respirar H_2S puede afectar el-

olfato y si es demasiado paralizará su centro de respiración pudiendo causar la muerte en casos severos. También puede causar corrosión de metales y concreto, siendo particularmente dañino para el equipo eléctrico aún en bajas concentraciones.

La presencia del ácido sulfhídrico puede detectarse en cantidades significativas en cualquier colección y sistema de tratamiento donde se permite suficiente tiempo para su desarrollo. Debe esperarse su presencia con mayor frecuencia en sistemas nuevos en donde los flujos son extremadamente bajos en comparación con la capacidad de diseño y particularmente en estaciones de bombeo donde los ciclos de operación de las bombas puedan estar a muy baja frecuencia.

Los sistemas de recolección que sirven a grandes áreas aún cuando estén operando a su capacidad de diseño permiten el desarrollo de H_2S.

El propósito de esta sección no es discutir las razones para la producción de olores, sino su eliminación o control por cloración, sin embargo, la corrección de un problema de olor generalmente requirirá que se decida entre hacer una modificación al sistema y el tratamiento

Algunas veces pueden requerirse ambas. Las decisiones de este tipo frecuentemente involucran el análisis económico y se encontrará la mayoría de las veces que las modificaciones a los principales componentes del sistema son mucho más costosas que el tratamiento. Cuando éste sea el caso la cloración es generalmente la solución más económica.

Otras soluciones incluyen el uso de aire u ozono.

Los sulfuros se desarrollan siempre que haya suficiente tiempo. La velocidad de producción de sulfuro aumenta con la temperatura (cerca del 7 % en promedio por cada 1°C de aumento en la temperatura del agua residual.).

Los olores que son controlables con cloro son específicamente el ácido sulfhídrico que puede ser desactivado por cloración a niveles muy por debajo del punto de la demanda de cloro. Esto se conoce comúnmente como "cloración sub-residual ". La razón de que esto sea verdad se basa en el hecho de que la reacción $Cl_2 + H_2S$ precede la mayoría de las demás reacciones que consumen cloro. Dado que la mortalidad de bacterias ocurre a niveles sub residuales , es lógico que las bacterias productoras de olor puedan reducirse en número sin satisfacer la demanda de cloro. Esto puede lograrse sin interferir significativamente con organismos benéficos para los procesos de tratamiento.

Las cantidades de cloro requeridas para lograr el control de olores varian ampliamente de lanta a planta y aun para cualquier planta dada fluctúan.

El ácido sulfhídrico generalmente se encuentra en concentraciones mayores cuando los gastos son bajos. Por esta razón generalmente no es económico clorar para control de olores en proporción directa al gasto.

Deben correrse pruebas durante períodos que incluyan las diferentes condiciones que podrían afectar posiblemente la producción de olores con objeto de establecer las bases para el tratamiento.

Cuando se conocen los requerimientos, la preocupación principal es aplicar el cloro en el lugar apropiado. Los mejores lugares son generalmente en las alcantarillas anteriores a la entrada de la planta y a las estaciones de bombeo esto se hace para permitir el mezclado y el tiempo de reacción antes de que el agua residual llegue a un punto de agitación.

Algunas veces los colectores forzados se vacían en las secciones de gravedad de un sistema de recolección varias horas después del bombeo. Si se tienen problemas de olor, se debe poner un punto de tratamiento aguas arriba en donde el tubo todavía esté bajo presión y fluyendo lleno, así el tratamiento se puede completar antes de que los olores se desprendan y lleguen a la atmósfera.
El ácido sulfhídrico no debe considerarse simplemente como un problema de olor, debe tenerse en mente que pueda crear situaciones de explosión, paralizar el centro respiratorio, y constituir una fuente de corrosión. Por estas razones, no deben usarse agentes que cubran el olor excepto cuando se usa como tratamiento adicional para los olores no eliminados por cloración. El uso excesivo de agentes desvanecedores podría evitar la detección de un problema serio.

D. 61 PROTECCION DE ESTRUCTURAS. - La destrucción del ácido sulfhídrico en aguas residuales reduce también la producción de ácido sulfúrico que es altamente corrosivo para los sistemas de alcantarillado y las estructuras. Esto es particularmente significativo donde las temperaturas son altas y el tiempo de recorrido en el sistema de alcantarillado es mas largo de lo usual. El tratamiento es similar al de control de olores: Suficiente cloración para evitar que el ácido sulfhídrico.

Se forme para destruir el que haya sido producido (cerca de 2mg/l de cloro por mg/l de ácido sulfhídrico). Los problemas del sulfuro también pueden corregirse por oxigenación en el alcantarillado.

La selección entre oxigenación y cloración generalmente depende de los costos involucrados.

D. 62 AYUDA AL TRATAMIENTO. - Entre sus muchos usos, el cloro mejora la eficiencia del tratamiento en los siguientes casos:

D. 620 SEDIMENTACION. - La precloración del influente de un tanque de sedimentación mejora la clarificación, por el mejoramiento de la tasa de sedimentación, reduciendo la septicidad* de las aguas residuales crudas e incrementando la remoción de grasa. La máxima remoción de grasa se alcanza cuando la cloración se combina con la aeración ("aero-cloración").

Este es un procedimiento costoso y algunos estudios indican que los beneficios son mínimos.

Generalmente la remoción de grasa de esta manera, es considerada como un efecto lateral benéfico o " extra" en la reacción del cloro el cual es esencialmente aplicado por otras razones. El exceso de cloración en el proceso secundario puede inhibir la acción bacteriana crítica del proceso disminuyendo la eficiencia de sedimentación.

FILTROS ROCIADORES. - La cloración continua en el influente del filtro controla los crecimientos de lodo y destruye las larvas de moscas del filtro -

* Septicidad : es la condición en la cual la materia orgánica se descompone para formar productos de olor fétido, asociados con la ausencia de oxígeno libre.

(pyschoda).

Generalemente el cloro es aplicado para producir un cloro residual de 0.5 mg/l (continuo) en los orificios o boquillas. Debe usarse con cuidado porque algunos crecimientos bacterianos pueden ser severamente dañados por una cloración excesiva.

Los sólidos suspendidos pueden incrementarse en el efluente del filtro rociador después de la cloración para controlar las larvas de moscas. Tambien se dificulta la evaluación del funcionamiento del filtro, debido a que la remoción de la DBO no puede determinarse exactamente, ya que el cloro interfiere con la prueba de laboratorio.

Prácticamente es bueno observar de las cargas, operación y la adecuabilidad del proceso, cuando debido a las moscas del filtro, se requiera una cloración continua, porque ésta puede ser una costosa alternativa para obtener una operación adecuada.

D.622 LODO ACTIVADO. - La cloración del lodo de retorno reduce que el lodo activado se aglomere por una sobrecarga. El punto de aplicación se escogerá en forma tal que el lodo de retorno esté en contacto cerca de un minuto con la solución de cloro antes de que el lodo se mezcle con las aguas residuales provenientes del sedimentador.

El cloro se usa también para controlar organismos filamentosos. Su uso de esta manera es también una costosa alternativa para un diseño y operación adecuados.

El principal esfuerzo deberá dirigirse hacia el mejoramiento del proceso, considerando la cloración sólo como una solución de emergencia.

No debe olvidarse que el cloro es tóxico para los organismos que son necesarios para tratar el desecho.

D. 623 REDUCCION DE DBO.- La cloración del desecho crudo para producir un cloro residual de 0.5 mg/l después de 15 minutos de tiempo de contacto, puede causar una reducción de 15 a 30 % en la DBO del desecho. (Baity 1929). Generalmente, se obtiene una reducción de cuando menos 2 mg/l de DBO, por cada mg/l de cloro absorbido hasta el punto en el cual se produce el residual.

Snow (1952) demostró que la reducción de la DBO también depende de la condición del desecho. El reportó una reducción de 10 % en aguas residuales frescas y del 25 al 40 % de reducción en aguas residuales con mucho tiempo. Los efectos reales y aparentes de la cloración son evidentes en las aguas residuales y en las botellas de muestra.

Reconocimientos.- La información contenida en este capítulo fue tomada del Capítulo 17, Desinfection and Chlorination, Water Pollution Control Federation; Manual of Practice No.11; y del Capítulo 7, Chlorination of Sewage, Manual of Instruction for Sewage Tratment Plant Operators (New York Manual). Ambas publicaciones son excelentes referencias para estudios adicionales.

REFERENCIAS:

Baity, H. G., " Reduction of BOD in Sewage by Chlorination", Sewage Works J. 1, 279 (1929).

California State Department of Public Health, " Laws and Regulations Relating to Ocean Water- Contact Sport Areas" (1958)

California State Department of Public Health, "Statewide Standars for the Safe Direct Use of Reclaimed Waste Water for Irrigation and Recreational Impoundments" (1968).

California State Department of Public Health, " Laws and Regulations Relating to Swimming Pools " (1966).

California State Department of Public Health, " Some Experience with Disinfection of Waste Water in California", G. E. Browning and F. R. McLaren (1966).

Chlorine Institute, " Chlorine Manual " (1969).

Dow Chemical, " Dow Chlorine Handbook " (1966)

New York State Department of Health, "Manual of Instruction for Sewage Plant Operators" (1966).

PPG Industries, Inc., Chemical Division, "Chlorine Safe Handling Pamphlet".

U.S. Rureau of Mines, Technical Paper 248 (1955) .

U.S. Public Health Service, " Drinking Water Standards " (1962).

Water Pollution Control Federation, Manual of Practice No. 1, "Safety in Waste Water Works".

Water Pollution Control Federation, Manual of Practice No. 4, "Chlorination of Sewage and Industrial Wastes" (under revision) .

Water Pollution Control Federation, Manual of Practice No. 11, "Operation of Waste Water Treatment Plants" (1968).

LECTURAS ADICIONALES.

a. MOP 11, pages 127-135.

b. New York Manual, Pages 73-83.

c. Texas Manual, pages 397-412

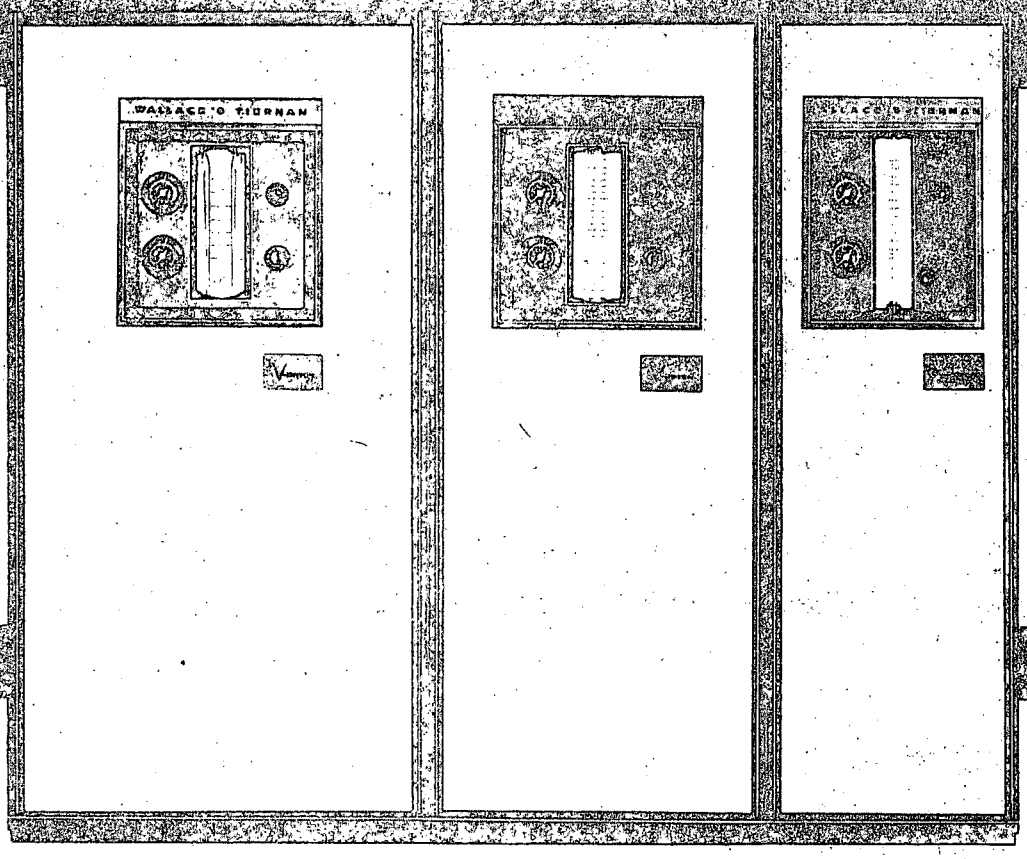
d. "Chlorine-- Safe Handling", PPG Industries, Inc., Chemical Division, One Gateway Center, Pittsburgh, Pennsylvania 15222.

e. Chlorination Guide, Water and Sewage Works Magazine, Scranton Publishing Company, 355 East Wacker Drive, Chicago, Illinois 60601. Price $ 1.25

f. Chlorine Manual (4th edition), The Chlorine Institute, Inc., 342 Madison Avenue, New York, New York 10017. Price $ 0.75

g. Safety in Waste Water Works, MOP No. 1, Water Pollution Control Federation 3900 Wisconsin Avenue, Washington, D. C. 20016. Price to WPCF members $ 0.75; others $ 1.50 .

PENNWALT
CORPORATION



Left:
8000-lb Module
Middle:
2000-lb Module
Right:
500-lb Module

With this series, Wallace & Tiernan offers the chlorination module—a new approach to the design of water and wastewater treatment systems.

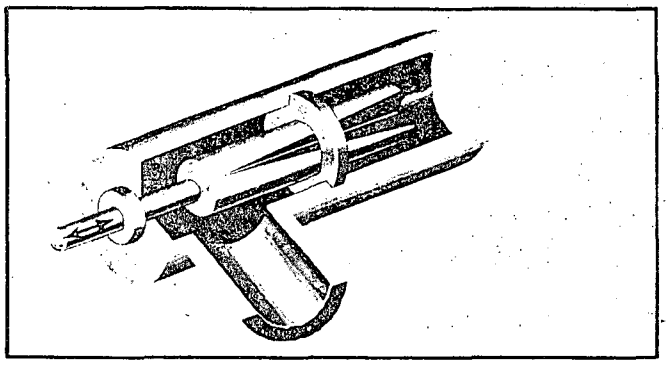
The modules are 500-pound, 2000-pound, and 8000-pound capacity units that differ only in width. Such other instrumentation as recording, automatic control, and alarm units are also packaged in one of these basic modules. This modular concept permits building a custom-chlorination system from off-the-shelf units. Such systems save space, allow convenient servicing, and can be pre-connected and pre-tested for ease of installation. Uniformity of height, depth, and two-tone green color create a panel-like effect —a functional new look in chlorination.

Another advantage of the V-800 Series is the proved V-notch method of gas flow control. Wallace & Tiernan's fifty years of know-how, the proved reliability of its equipment, and the widespread availability of service and parts make these V-notch Chlorinators the logical foundation for gas-control systems of any size.

WALLACE & TIERNAN
PENNWALT

FEATURES

V-NOTCH GIVES EXCELLENT ACCURACY, RANGE, AND REPEATABILITY OF GAS FLOW

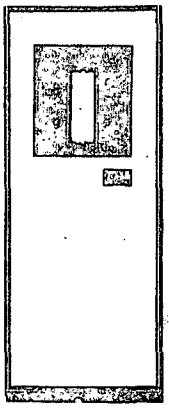


The V-notch Variable Orifice consists of a precisely grooved plug sliding in a fitted ring. Any position of the plug in the ring results in an exact orifice size and a corresponding and highly accurate feed rate. Repeating plug position duplicates orifice size for excellent repeatability. 3-inch plug travel, compared with a fraction of an inch for needle valves, gives wide operating range. It also gives ease of adjustment in setting the feed rate, manual or automatic. The V-notch resists sticking: It's made of corrosion-resistant, self-lubricating plastic. Its relatively large V-shaped opening is less prone to clogging than the long, narrow opening around needle or disk valves.

MODULES SAVE SPACE

Modular design of Series V-800 Chlorinators and their accessories saves plant space. For multiple-unit installations, the rectangular, abutted design of the modules saves up to 40% of the floor space required by non-modular designs.

ADD-TO DESIGN PERMITS BUILDING A CUSTOM SYSTEM FROM OFF-THE-SHELF MODULES AT MINIMUM COST



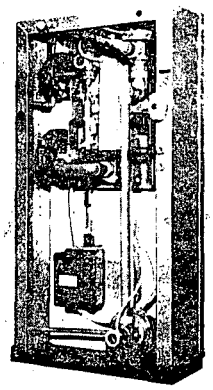
All at once or over a period of time, modules for residual control, flow recording and the like can be added to any V-800 Chlorinator. Any system can be achieved, including Compound-loop Control. Modules in a system form an attractive, panel-like array. This saves the cost of custom-built panels. Systems are custom-selected from standard modules, not custom built.

PRE-TESTED CHLORINATION SYSTEMS SAVE TIME AND MONEY AT INSTALLATION

Systems based on a V-800 Chlorinator may be piped and wired and pre-tested as systems before being shipped. Sophisticated instrumentation in the system need not be disturbed; it requires no internal wiring. Convenient terminal strips make the final connection easy. Pre-testing minimizes costly errors and delays, saves time and money at installation, makes system start up quicker and smoother

OPERATION

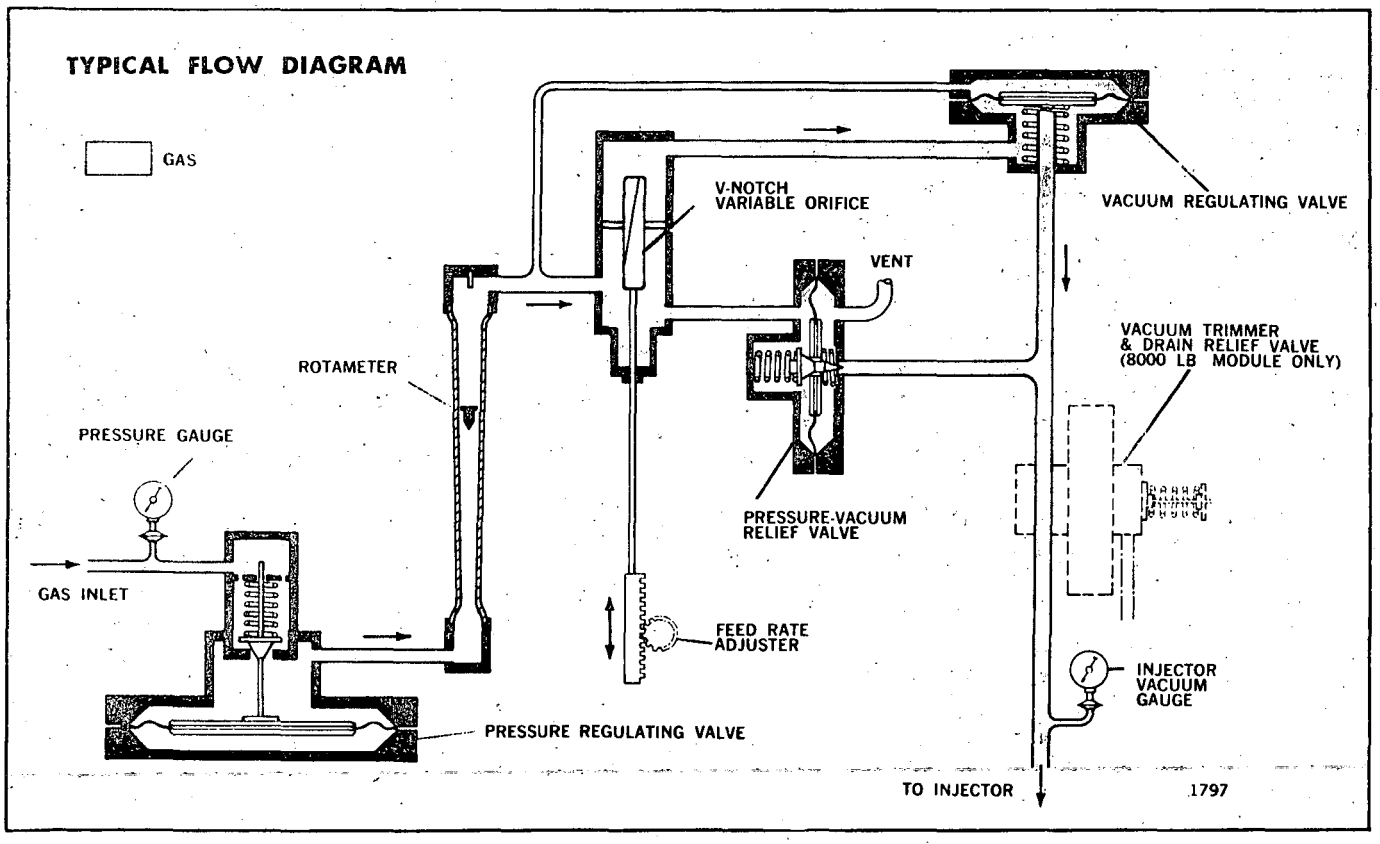
EASY TO CHANGE CAPACITY, METHOD OF CONTROL, OR TO ADD ACCESSORY FUNCTIONS



Changing capacity can be as easy as changing the rotameter. Components can be added to change the method of chlorinator control (manual to automatic) or to enlarge the chlorinator's usefulness (a chlorine flow transmitter for recording, integration, alarm). Such components are added in the field without moving or disassembly of the module. Mounting holes and a wiring harness make addition easy.

MAKES A COMPACT, ATTRACTIVE CONTROL CENTER

Modular design lends itself to utilitarian arrangement of equipment. Where it is desirable to have all the control equipment in one central area, the modules make a compact, attractive, and workable installation. The injector and the evaporator and storage tanks are normally installed remote from the chlorinator. This isolates plumbing, water, and heavy electric loads from the gas-control instruments.



OPERATION

The three Series V-800 Chlorination Modules operate by a vacuum developed at an aspirator-type injector. Gas enters through a spring-diaphragm pressure regulating valve which regulates the gas to a fixed reference vacuum and which opens only under normal operating vacuum. This valve also regulates the vacuum ahead of the V-notch orifice and shuts off the gas if an interruption of the injector-water supply should destroy operating vacuum. Gas next passes through a rotameter to the V-notch orifice. Here feed rate is changed, manually or automatically, by changing orifice area or by varying the differential across the orifice. After the orifice, gas passes through a vacuum regulating valve which maintains a constant vacuum across the orifice.

DESIGN AND CONSTRUCTION

The V-notch system maintains the feed rate within 4% of indicated flow.

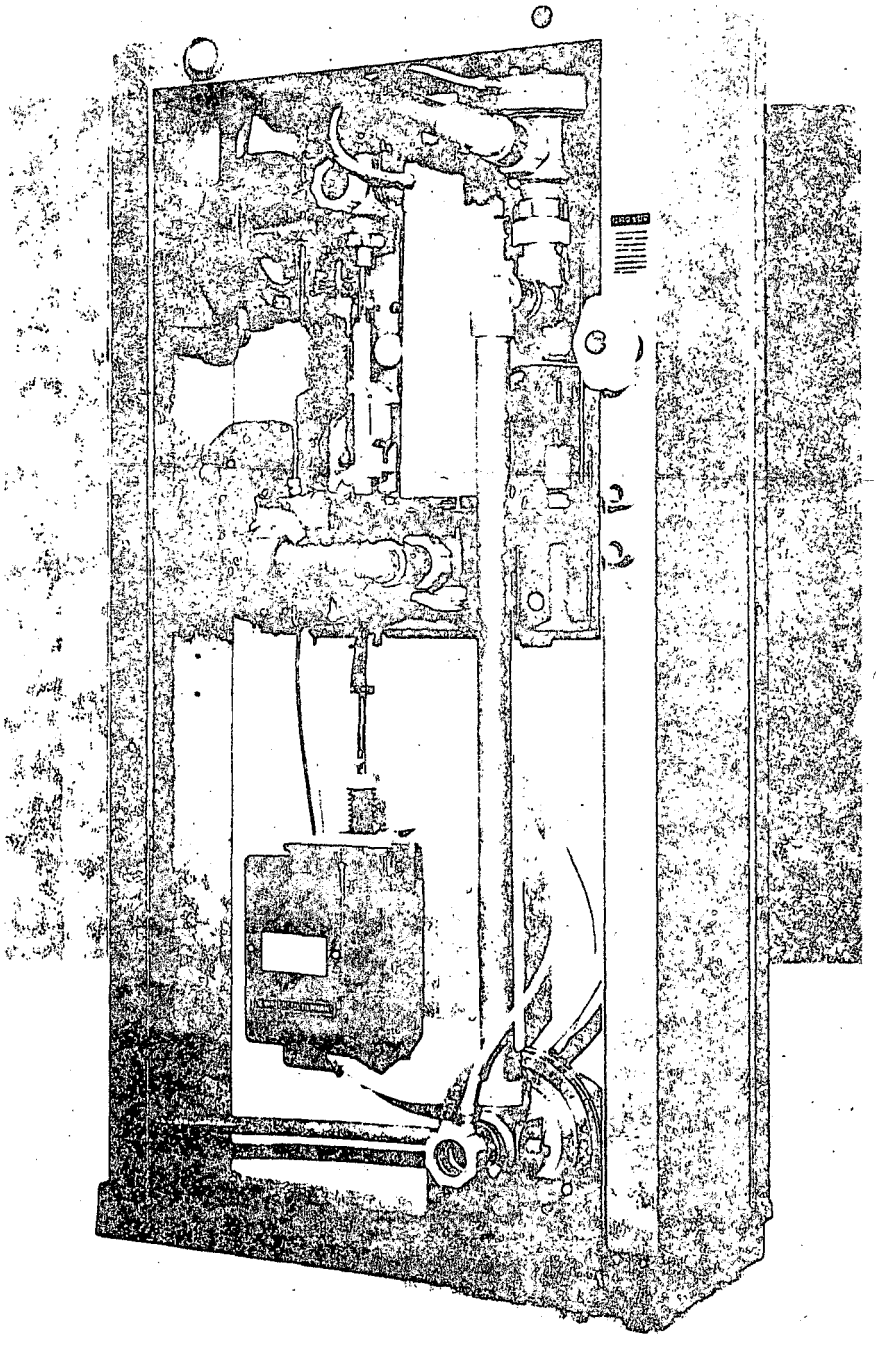
At the injector, the gas is dissolved in water. The resultant solution is discharged to the point of application.

A pressure-vacuum relief valve vents to atmosphere if pressure builds up in the system. Or, it admits air if excess vacuum develops, as when the chlorine supply runs out. This air does not pass through the rotameter. The rotameter indicates only when gas is flowing.

A spring-diaphragm check valve (which closes the injector suction port when the injector is not operating), a ball-check valve, or both are incorporated in the several injectors used with modules of different capacities. These valves prevent back-flow of water from the injector into the chlorinator.

In the 8000-pound-capacity module, a combination vacuum-trimmer and drain-relief valve is included. It relieves to drain any water which might force its way past the ball-check valve in the injector. Also, by trimming the powerful vacuum developed by the large injector, this valve acts as an accessory to the vacuum regulating valve.

DESIGN AND CONSTRUCTION

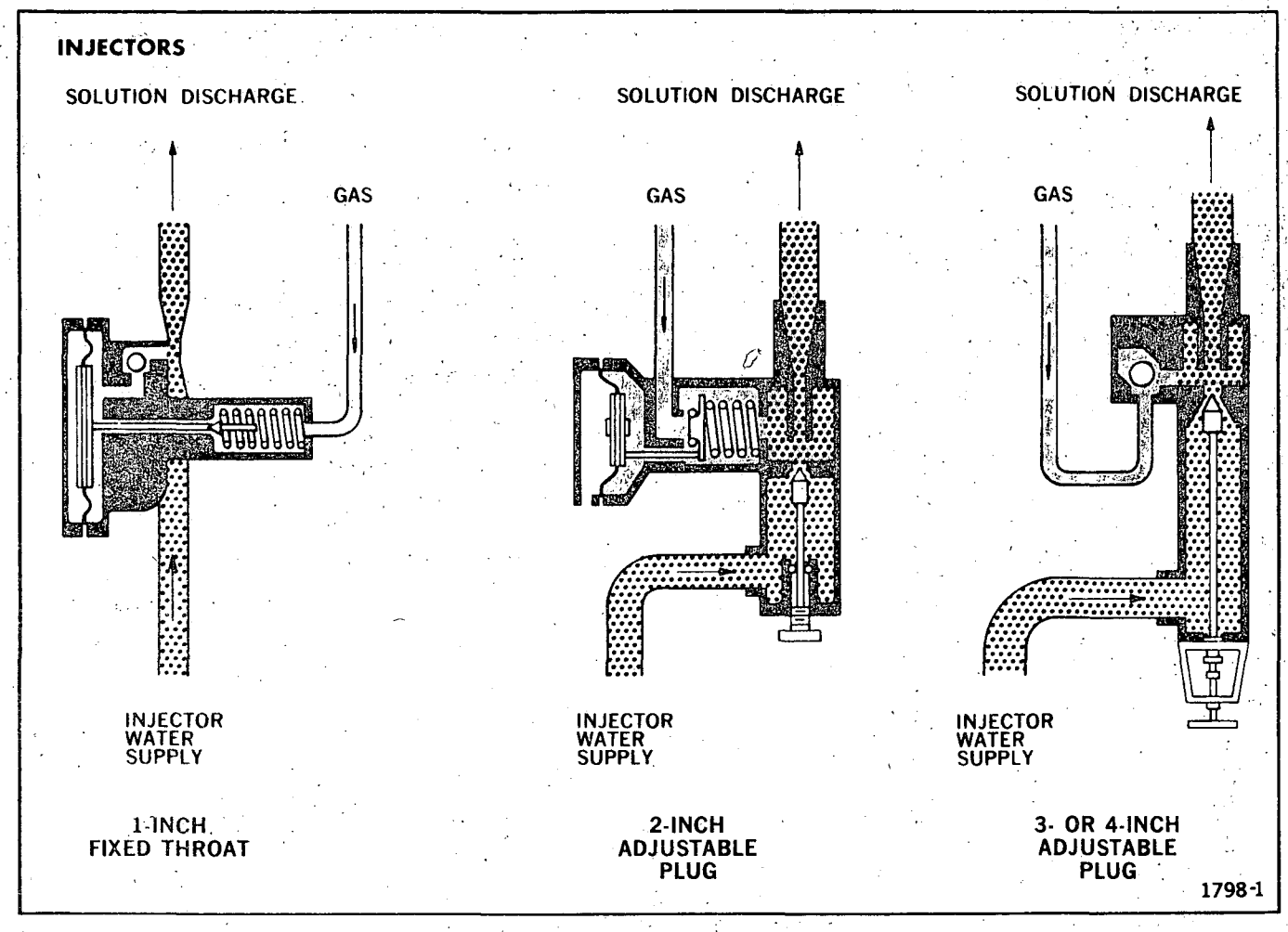


The modular cabinets of Series V-800 Chlorinators are two-tone plastic reinforced with fiber glass. All parts which contact the gas are plastics or metal alloys selected to resist chlorine corrosion. An easily removed strainer and a heater are built into the gas inlet. The heater minimizes deposition of possible contaminants. Gauges indicate chlorine pressure and injector vacuum.

The rotameter reads pounds of chlorine per 24 hours. It has an etched-on, linear scale. For easy reading, the rotameter is at a convenient elevation and the scale markings and float are in contrasting colors. The rotameter is spring-mounted. It may be removed and replaced without tools.

In the V-notch, the variable orifice is formed at the intersection of the grooved plug and its fitted ring. The V-shaped groove, about 3 inches long, starts near one end of the plug and gradually enlarges to maximum width and depth at the other end. This device permits simplified methods of automatic control over the complete range of any primary meter or residual control device. A reference mark on the V-notch plug facilitates zeroing when adjusting plug-position control systems. The plugs are changed without the use of tools.

Series V-800 Chlorinators require no make-up water. They require no drains



EASY MAINTENANCE

The valves in each module are separate units. They are easily removed individually. Along with other critical control components, they are mounted on a common panel which is easily removed as a unit. Their placement on the panel gives maximum accessibility. Once removed, the components are easy to take apart. The modular design leaves plenty of working space around an installation.

RELIABLE OPERATION

The sealed diaphragm units and vacuum operation minimize the possibility of a gas leak. The gas in the system is always under less than atmospheric pressure. Any leak that might occur—even a broken rotameter—lets air into the system rather than gas out.

INJECTORS

In general, Series V-800 Chlorinators use fixed-throat injectors in the lower capacities and injectors with an adjustable insert plug to control water flow in the higher capacities. The design of these injectors gives highly efficient operation, saves booster-pump horse power.

The 1-inch injector is a fixed-throat PVC type. The 2-inch injector comes in PVC with an adjustable-plug (variable) throat or in bronze with a Bellofram operated adjustable-plug throat. The 3- and 4-inch injectors are rubber-lined steel with an adjustable-plug throat. All adjustable-plug injectors give manual control of water flow. Manual shut-off requires an external valve in all but the 2-inch bronze injector. This injector has manual shut-off built in. For start-stop or program control of chlorinator operation, the 2-inch bronze injector includes a separate solenoid which interrupts inlet injector water. All others require interrupting injector water flow by external means, such as an optional shut-off valve and/or solenoid.

Water for injector operation is the only water required by Series V-800 Chlorinators. In wastewater treatment plants, reclaimed effluent can be used to save city water. Injector materials resist corrosion and erosion.

SHORT DESCRIPTION

Wallace & Tiernan Series V-800 Chlorinators are modular in design. They are vacuum operated. A series of rotameters provides capacities of 3 to 8000 pounds per 24 hours. Feed range is 20 to 1 for any rotameter. The V-notch control system will maintain the set feed rate within 4% of indicated flow.

V-800 Chlorinators may be pre-wired to facilitate installation. They are housed in fiber-glass-reinforced-plastic cabinets of modular construction.

The chlorine pressure regulating valve maintains the proper operating vacuum ahead of the V-notch orifice and shuts off the gas if the operating vacuum is lost. The vacuum regulating valve maintains the proper operating vacuum downstream of the V-notch. The pressure-vacuum relief valve provides pressure or vacuum relief. These are separate valves. (The 500-pound module has Acme-thread sockets on its sealed diaphragm valves for easy removal and replacement.)

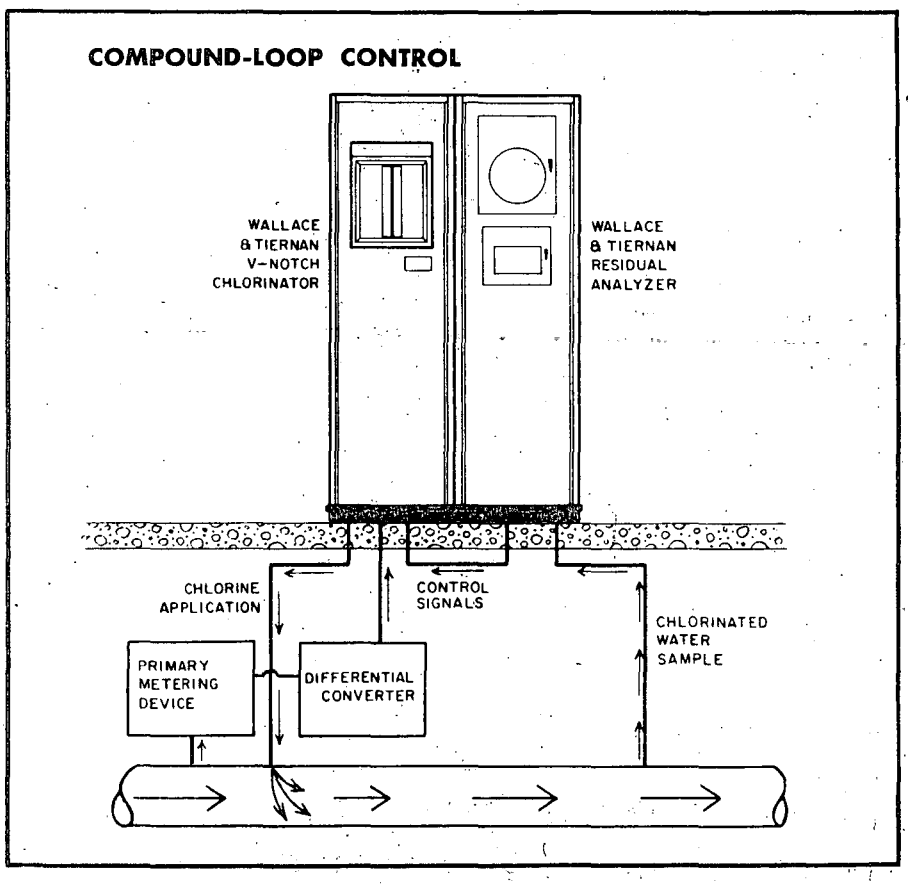
The 10-inch rotameter has a direct-reading linear scale. Its graduations and float are in contrasting colors for easy reading. The main metering device is a V-notch Variable Orifice. It consists of a plastic plug with a characterized V-shaped groove which moves in a fitted plastic ring. The aspirator-type injector provides the operating vacuum. It also provides vacuum interruption for intermittent start-stop or program operation and prevents back-flow of water from the injector into the chlorinator.

Operation requires no auxiliary water and no continuous drain. A strainer and a heater at the gas inlet and vacuum and chlorine pressure gauges are included. Control of the chlorinator can be manual, intermittent start-stop, program, or automatic.

METHODS OF CONTROL

Series V-800 Chlorinators are controlled by several different methods:

- changing V-notch orifice area (by plug position) while maintaining a constant differential across the orifice;
- varying differential across the orifice while maintaining orifice area constant;
- interrupting injector-water supply to shut off the chlorinator's operating vacuum.



Utilizing one of these provides manual control; flow proportional, residual, or remote manual control by pneumatic, electric, or variable vacuum signal; and start-stop or program control synchronized with a pump, switch, or timer circuit.

Using two of these (plug position and variable vacuum) at the same time gives Compound-loop Control. This is fully automatic control according to both the flow of the water and its chlorine requirement. Because of the three-inch plug travel, and the consequent wide metering range of the V-notch Orifice, the chlorinator's operating range is 20:1 with Compound-loop Control.

TECHNICAL DATA

	500-lb MODULE	2000-lb MODULE	8000-lb MODULE
accuracy	4% of indicated flow rate		
capacities	(rotameter sizes in lb per 24 hours with 20 to 1 feed range)		
	3, 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500	50, 75, 100, 150, 250, 500, 1000, 1500, 2000	1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 8000
injector type	fixed throat	up to 500 lb fixed throat; over 500 lb adjustable throat	adjustable throat rubber lined
injector inlet	1-inch NPT pipe connection	up to 500 lb 1-inch NPT pipe connection; over 500 lb 2-inch threaded female pipe connection	3- or 4-inch flanged pipe connection
injector discharge	various pipe or hose connections ¾″, 1″, or 1½″	up to 500 lb various pipe or hose connections ¾″, 1″ or 1½″; over 500 lb 1½″ pipe or 2″ hose	3- or 4-inch flanged connection
injector operating water supply	Must be reasonably clean. Pressure and flow depend on injector size, chlorinator capacity, and back pressure at application point. If the injector discharge line is flexible polyethylene pipe, maximum allowable backpressure is 75 psi. High pressure hose or PVC pipe for the line will allow application against backpressures to 160 psi.		
maximum water pressure	1″ PVC INJECTOR 300 psi to 100 F 150 psi to 130 F	1″ PVC INJECTOR 300 psi to 100 F 150 psi to 130 F 2″ PVC INJECTOR 125 psi to 100 F 65 psi to 130 F 2″ BRONZE INJECTOR 25-250 psi to 100 F 25-125 psi to 130 F	3″ or 4″ INJECTOR 175 psi to 100 F 90 psi to 130 F
pressure at point of application	160 psi	140 psi	50 psi
	A solution pump after the injector will allow application against higher pressures.		
vent connection	½″ NPT	¾″ NPT	1″ NPT
inlet connection	¾″ NPT	¾″ NPT	1″ NPT
electrical requirements	110-120 volt, ac or dc, for heater in chlorine inlet line		
	30 watts	30 watts	75 watts
	Other requirements for control circuits in semi-automatic and automatic control, and for such accessories as alarms, evaporators, external chlorine pressure reducing valves, and booster or solution pumps.		
overall dimensions	All modules are the same height, 5′8¼″, and the same depth, 15″. Widths are:		
	20½″	27½″	34½″
shipping weights	120 lb	220 lb	300 lb

methods of control Manual, remote manual, intermittent start-stop, program, flow proportional, direct residual, and Compound-loop.

housing Standard, modular plastic cabinet reinforced with fiber glass.

accessories Required for a complete installation are: auxiliary cylinder valves; chlorine connections; gaskets; vent line; chlorine solution lines; and fittings for point of application. Also available when required are: alarms; booster pumps; chlorine evaporators; chlorine pressure reducing valves; gas masks; residual testing and control equipment; chlorine flow recorders; operation recorders; vacuum switches; container weighing scales; and spare parts and maintenance tools.

equipment furnished Items such as accessories, actuating devices, auxiliary apparatus, piping, wiring, and elective features are included with the chlorinator only as specifically listed in a quotation.

STANDBY CHLORINATION SYSTEMS

Where public health or the proper operation of a treatment process depends on continuous and accurate chlorination, a standby system is essential. Standby systems provide immediate chlorination in case of such emergencies as power failure or equipment breakdown. They can also supplement the regular system to meet unusual demands or be used when regular equipment is shut down for routine maintenance.

SERVICE

Prompt service on Wallace & Tiernan equipment is available from branch offices in principal cities.

REFERENCES

Publications on other equipment, dimension and typical arrangement drawings, water requirements and auxiliary control data are available on request.

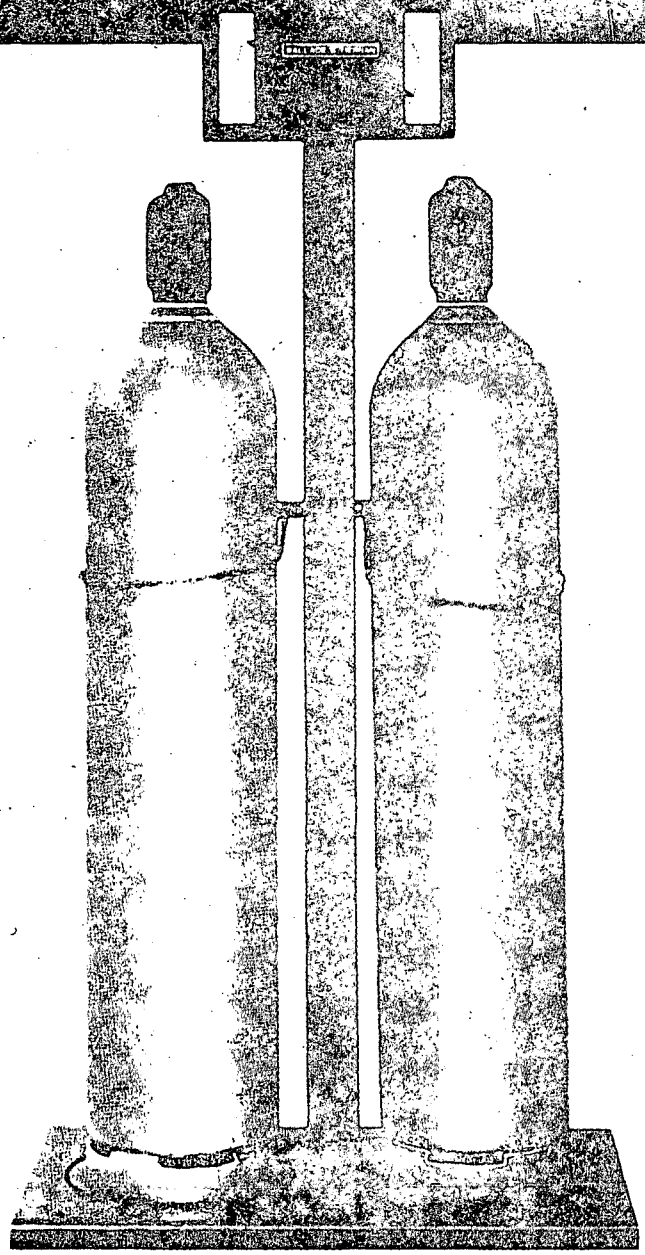
Progressive changes in design may be made without prior announcement.

[illegible] NEW JERSEY 07109

WALLACE & TIERNAN
PENWALT
EQUIPMENT & CHEMICAL
HEALTH PRODUCTS

Printed in USA

PENNWALT



La báscula Wallace & Tiernan para dos tanques, modelo Serie 50-345 es única: está diseñada expresamente para pesar el contenido de los tanques de gas comprimido; da conveniencia en su uso, larga vida y operación confiable.

VENTAJAS

LECTURA DIRECTA SIN CALCULOS

La báscula Serie 50-345 indica directa y continuamente los kilogramos que quedan en cada tanque; pesa dos tanques independientemente; indica el peso neto en carátulas separadas. No se necesita ningún cálculo para encontrar cuánto gas queda; los contrapesos no tienen que colocarse nuevamente.

INSTALACION FACIL

Dado que está precalibrada de fábrica, la báscula se instala fácilmente; se coloca sobre cualquier superficie razonablemente nivelada; Dado que la plataforma está sólo a 38 mm sobre el piso, no se necesita instalación empotrada; los tanques pueden rodarse fácilmente sobre la báscula o fuera de ella, sin necesidad de levantarlos.

EXACTA

Después del ajuste inicial del peso de la tara, cada carátula indica los kilogramos netos que quedan en cada cilindro, con exactitud de un kilogramo.

ALMACENAMIENTO SEGURO DE LOS TANQUES

La báscula cuenta con cadenas de seguridad para mantener cada tanque vertical, de acuerdo con los procedimientos recomendados. La barra en cruz a la que están sujetas las cadenas de seguridad es ajustable, y puede ser movida a lo largo de la columna vertical para acomodar pequeños y grandes tanques.

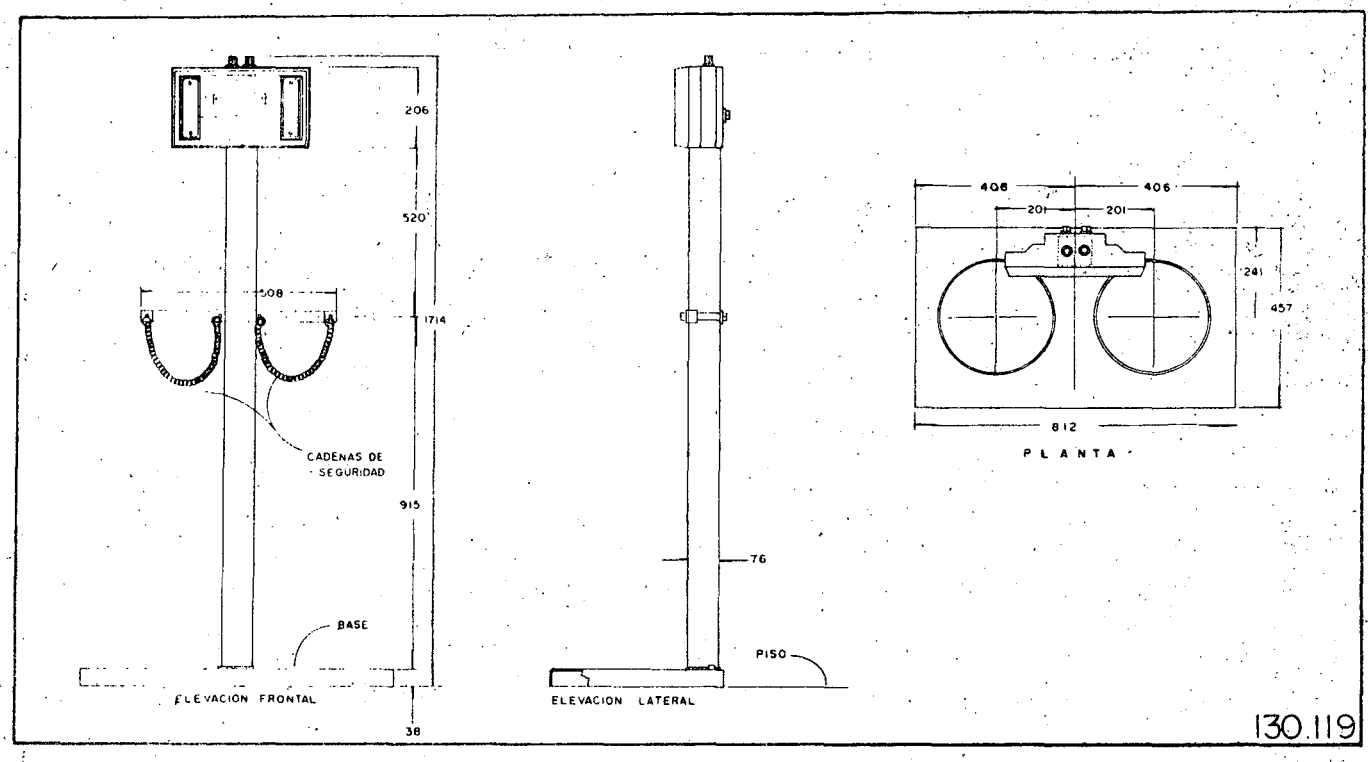
FLEXIBLE Y VERSATIL

La cabeza de la báscula de plástico moldeado, puede girar 180° de manera que las carátulas puedan ser leídas desde atrás de la misma, en lugar de enfrente como se ilustra. Aunque está diseñada para tanques de cloro de 68 Kg., la báscula puede usarse para otros gases comprimidos. El criterio para otros tanques es: Diámetro máximo del tanque 286 mm.; peso bruto máximo del tanque: 136 Kg.; peso neto del contenido: Máximo 68 Kg.; peso de la tara del tanque: De un mínimo de 36 Kg., a un máximo de 72 Kg. Las básculas se calibran para una tara de 70 kilos y se pueden hacer calibraciones para otros tanques.

PENNWALT

WALLACE & TIERNAN

DISEÑO Y CONSTRUCCION



DISEÑO Y CONSTRUCCION

La báscula para dos tanques W & T Modelo Serie 50-345 consiste de una base sólida de acero que contiene dos plataformas pesadoras. La base soporta una columna con una barra en cruz y la cabeza de la báscula. La barra en cruz sostiene las cadenas de seguridad que mantienen los tanques en posición vertical. La cabeza de la báscula contiene las dos carátulas y los dos ajustes del peso de la tara.

Las dos plataformas pesadoras están sostenidas en forma independiente por un sistema de palancas debajo de la base. Las palancas están montadas en flexores y trasmiten la mayoría de la carga de las plataformas a la base. Una pequeña parte de esta carga se trasmite por el interior de la columna a unos resortes ajustables en la cabeza de la báscula. La tensión inicial de cada resorte se ajusta para cancelar el peso de la tara del tanque que se está pesando; en esta forma la carátula indica directamente el peso neto del contenido.

La simplicidad del diseño, las pocas partes movibles y la operación mecánica simple aseguran una larga vida con un mínimo de mantenimiento rutinario. Un juego de instrucciones cubre la instalación, calibración, cuidado y mantenimiento.

OPERACION

Se coloca un cilindro lleno en cada plataforma, se asegura en su lugar con la cadena y se conecta al sistema de medición de gas. Esto hace que las carátulas indiquen el peso bruto. Se mueve una perilla de ajuste independiente para cada tanque, hasta que el puntero de las carátulas individuales indique el peso neto de cada tanque. Este ajuste elimina la tensión inicial en los resortes ajustables y reduce el peso en las plataformas pesadoras al contenido neto. Cualquier disminución del contenido se muestra ahora en las carátulas como una pérdida de peso neto. En esta forma las carátulas indican continuamente los kilogramos netos restantes hasta que los tanques se vacían.

RESUMIENDO . . .

La báscula para dos tanques de la Serie 50-345 consiste en una unidad de báscula que pesa independientemente los contenidos de dos tanques de gas comprimido. La lectura es en kilogramos netos remanentes y se indica en carátulas individuales para cada tanque. El peso bruto de cada tanque se reduce al contenido neto por medio de perillas individuales que ajustan el peso de la tara en las carátulas. El peso neto del gas remanente en el tanque se lee continua y directamente en un indicador de 76 mm sin necesidad de ningún otro ajuste manual de la tara o contrapesos.

Peso: 36 Kg.

Peso de embarque: 41 Kg.

Se pueden efectuar cambios progresivos en diseño sin aviso previo.

WALLACE & TIERNAN DE MEXICO S. A. de C. V.

APARTADO POSTAL 348 ECATEPEC, EDO. DE MEXICO

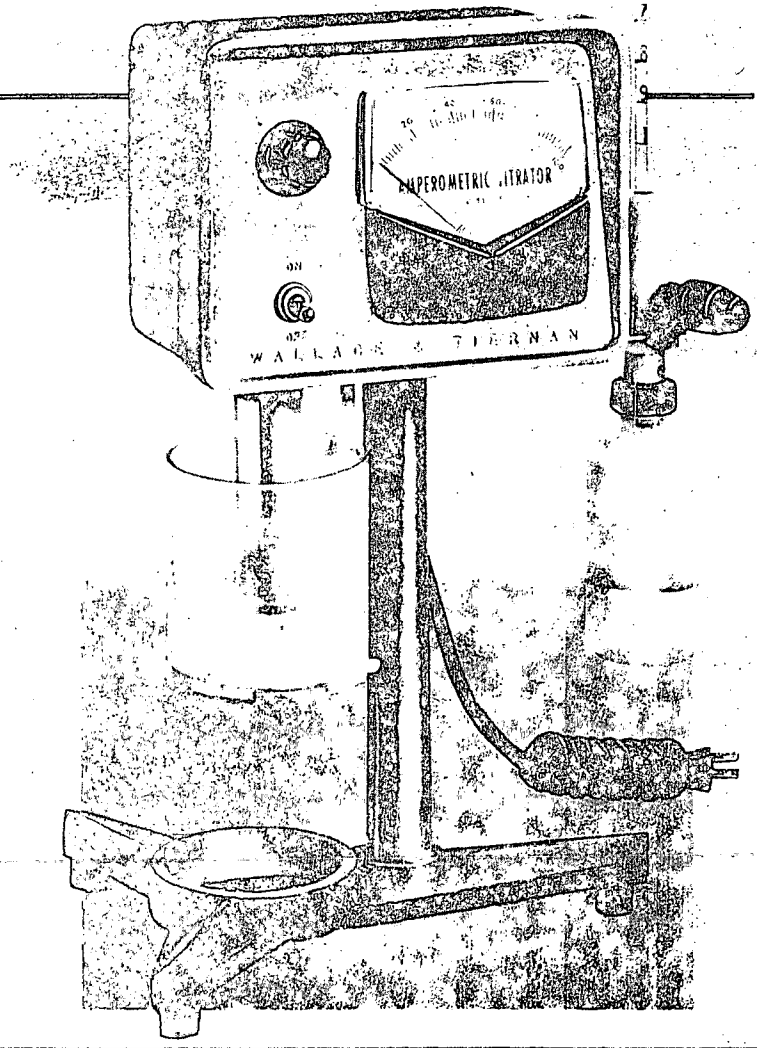
CAT. FILE 50.345 M
Revisado 8/73

IMPRESO EN MEXICO
Arte y Comunicación, S. A.

PENNWALT CORPORATION

This instrument measures free and combined residuals of chlorine as well as residuals of other halogens and potassium permanganate. Operation is a normal titration procedure in which the end point is indicated electrically. It measures residual chlorine to one hundredth of one milligram per liter (0.01 ppm)—many times more accurate than colorimetric methods. And this accuracy is not affected by suspended materials or water color. Thus it gives dependable measurement of wastewater residuals.

The unit is ideal for water and wastewater plants and large swimming pools using break-point chlorination or residual control. It is also used in research and development and to calibrate automatic residual recording or controlling equipment. It is easy to use, meets health authority requirements, and is suitable for the residual chlorine tests in *Standard Methods* and *ASTM Method* D-1253.



FEATURES

encourages frequent testing

Use of the W&T Amperometric Titrator requires no special skill or instruction. It is easy to understand and to operate. This encourages frequent use which makes for proper control of chlorine application.

easy-to-read end point

A highly sensitive meter with an adjustable potentiometer in its measuring circuit produces maximum pointer movement for small current changes. This allows easy and precise detection of the end point during titration. Because the current produced at the end point is stable at any given installation, the potentiometer need be adjusted only at the first titration.

measures mono- and di-chloramine residuals

The A-790's measuring cell allows quantitative titration of the mono- and di-chloramine residuals, as well as the free residual, in the same sample. This is in full accordance with the mono- and di-chloramine tests in *Standard Methods*.

convenient to use

An unbreakable plastic sample container has a 200-ml mark for easy filling. The measuring cell is held securely in place by large, heavy duty contacts. These push-pull sockets make cell removal and replacement easy. The cell has a built-in agitator for mixing the titrating solution with the sample. The solution is held in a 1-ml pipette or a 5-ml pipette for titrating residuals above 1 ppm. These commercial lab pipettes are easily interchanged by inserting either into a rubber O-ring in a socket. The solution reservoir is a polyethylene bottle which is squeezed to fill the pipette to the desired level.

PENNWALT
WALLACE & TIERNAN
MEASUREMENT & CONTROL

DESIGN AND CONSTRUCTION

DESIGN AND CONSTRUCTION

Electric components are enclosed in a corrosion-resistant, splash-proof aluminum housing. They include a printed circuit board, an agitator motor, a transformer, a potentiometer, and a switch. A taut-band meter, resistant to damage by on-the-job handling, provides an extremely sensitive readout of end point. Beneath the housing are the sample container and the analyzing cell with electrodes, salt reservoir, and agitator. At the side of the housing are the pipette, the plastic squeeze bottle, and valves for controlled flow of the titrating solution into the sample container. The cast iron base has a drip cup beneath the sample container. Corrosion-resistant plastic feet support the base.

OPERATION

The sample container is filled to the 200-ml mark. Residual chlorine in the sample causes current to flow between the electrodes. This current is indicated on the sensitive microammeter.

Measuring free residual*

Phenylarsene oxide is the titrating solution. When added from the pipette and mixed by the agitator, it reduces free chlorine. This decreases current flow. When all the free chlorine is reduced and more phenylarsene oxide causes no change in current, the end point has been reached. The amount of phenylarsene oxide added in ml equals free residual chlorine in mg/l.

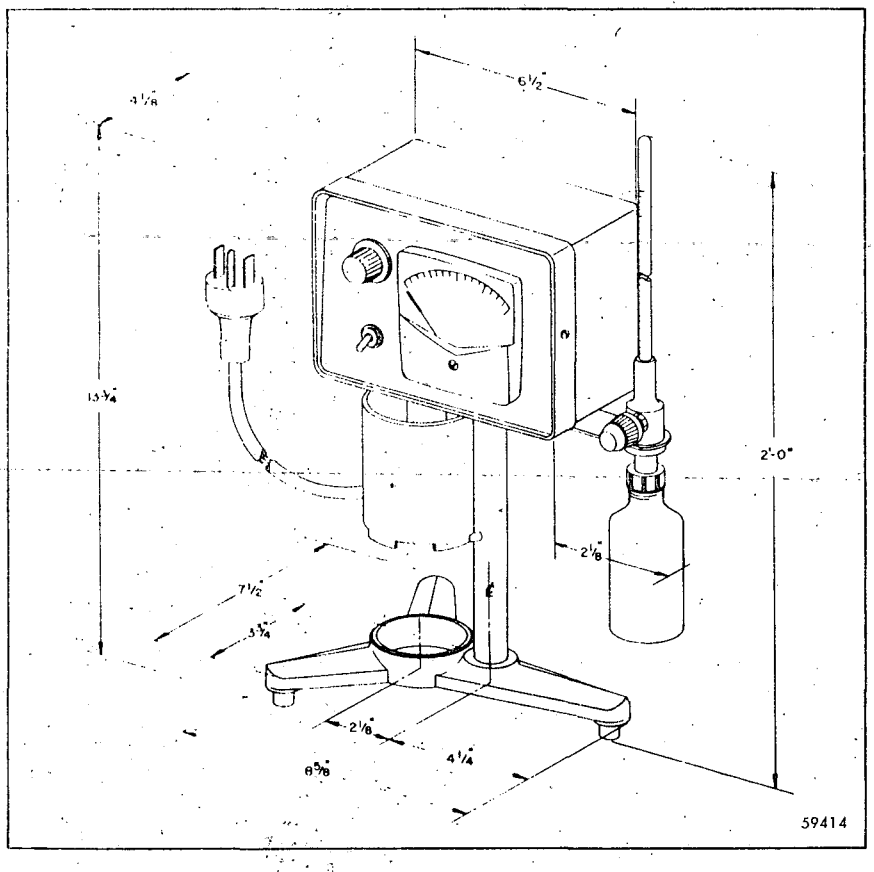
Measuring combined residuals †

Combined residual is measured by adding potassium iodide to the same sample. Adjusting sample pH with pH 4 or pH 7 buffer permits differentiation of the mono- and dichloramine fractions. The potassium iodide liberates iodine in proportion to the amount of combined residual in the sample. The iodine is then reduced by the phenylarsene oxide in the same way as a free residual. By titrating the free residual before the combined, both types and fractions of the combined are measured in the presence of each other.

*Free residual is that remaining after the destruction with chlorine of ammonia or of certain organic nitrogen compounds.

†Combined residual is produced by the reaction of chlorine with natural or added ammonia or with certain organic nitrogen compounds.

DIMENSIONS



TECHNICAL DATA

uses

To measure free and combined residuals of chlorine. Also to measure residuals of other halogens and potassium permanganate. The latter are measured by test procedures similar to those for residual chlorine.

sensitivity

One hundredth of one mg/l of residual chlorine.

electrical requirements

115 v, 50/60 Hz, 1 ph, 12 watts.

standard accessories

200-ml plastic sample container; polyethylene bottle for titrating solution; 4 oz. phenylarsene oxide; 1- and 5-ml pipettes; 4 oz. pH 4 and pH 7 buffer and potassium iodide; droppers and bottles for these chemicals; electrolyte tablets; instruction book.

shipping weight

30 lb.

SERVICE

Prompt service on all W&T equipment is available from offices in principal cities.

Progressive changes in design may be made without prior announcement.

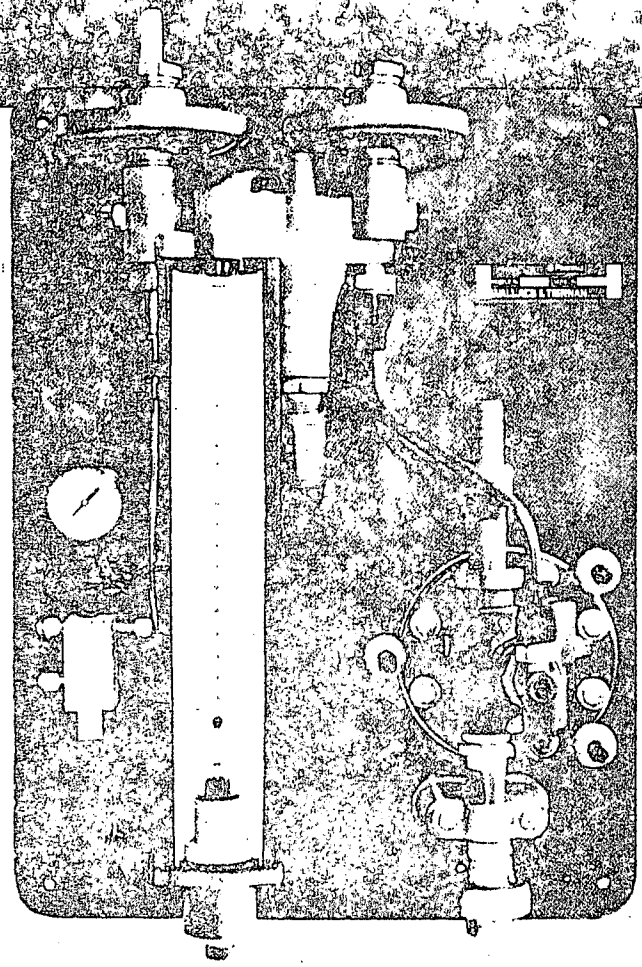
WALLACE & TIERNAN DIVISION
25 MAIN STREET, BELLEVILLE, NEW JERSEY 07109

PENNWALT

CLORADOR V-NOTCH

Modelo Serie A-741

25-150



Este clorador Wallace & Tiernan se caracteriza por sus materiales resistentes a la corrosión y por el famoso orificio variable V-notch para controlar el gasto de cloro. Para mayor seguridad funciona al vacío y es fácil de instalar y de mantener. Existe en nueve capacidades entre 1 y 90 Kg de cloro en 24 horas.

La dosificación de los cloradores Serie A-741 se controla manualmente. La operación arranque-paro o en forma programada puede obtenerse mediante la adición de una válvula de solenoide u otro aditamento que interrumpa el suministro de agua al inyector. La unidad está diseñada para ser montada sobre la pared, lo cual ahorra espacio en el piso.

El Clorador Serie A-741 es ideal para pequeñas cantidades de agua y para plantas de tratamiento de agua de desecho, plantas industriales y albercas de gran tamaño. Es una unidad de capacidad mediana, de precio moderado, que da excelentes resultados en el tratamiento de flujos continuos relativamente uniformes o flujos intermitentes.

VENTAJAS

RENDIMIENTO

El V-notch asegura más exactitud, gama y repetición que cualquier otro diseño para control de gases. Consiste en un vástago ranurado en forma precisa que se desliza dentro de un anillo perfectamente ajustado. Esto proporciona el tamaño exacto del orificio para una elevada precisión. Al repetir la posición del vástago se repite el tamaño del orificio. El viaje de 25 mm del vástago comparado con el viaje de la fracción de pulgada de las válvulas usadas en otros diseños convencionales, trae por consiguiente que, un movimiento relativamente largo del obturador da un cambio muy pequeño en la dosificación. Esto, además de una definida relación entre la posición del vástago y la dosificación, permite hacer ajustes finos fácilmente. La gama de medición es de 20 a 1. El V-notch no se atasca, pues está construido de un plástico autolubricado, resistente a la corrosión.

EMPACADO PARA FACILITAR LA INSTALACION

El clorador es empacado con el Tubing, conexión principal, válvulas de cilindro y todos los demás accesorios necesarios para completar su instalación. Instrucciones claras la facilitan.

NO NECESITA AGUA DE REPUESTO NI DRENAJE

Los cloradores Serie A-741 no necesitan de agua de repuesto ni drenaje. La única parte del clorador que utiliza agua es el inyector, el cual está colocado en el tablero del ensamble.

SEGURIDAD ANTE TODO

Su funcionamiento al vacío asegura la interrupción del suministro de gas bajo cualquier condición anormal. Aún si se rompiera el rotámetro, el sistema al vacío permite que entre aire al equipo en vez de que salga cloro. Una válvula de diafragma-resorte y de retención tipo de bola en el inyector, evitan la inundación del clorador. Las válvulas reguladoras de la presión de cloro y de vacío tienen unidades de diafragma y son selladas para mayor seguridad.

FACIL DE OPERAR

La dosificación es controlada instantáneamente mediante una perilla de ajuste y es fácil de leer sobre un rotámetro con escala de 254 mm con graduaciones lineales. La capacidad de los cloradores puede ser modificada cambiando el rotámetro. El nuevo rotámetro se coloca fácilmente en su lugar sin emplear herramientas.

MANTENIMIENTO SENCILLO

La válvula reguladora y de alivio de presión de cloro y la que regula y alivia el vacío, están separadas. Sus unidades de diafragma son selladas y tienen rosca Acme que permite y sustituirlas fácilmente sin herramientas. Los componentes de control son fáciles de desmontar, ya sea individualmente o juntos. Una vez que han sido quitados son sencillamente desarmables. Materiales resistentes a la corrosión aseguran muchos años de operación libre de problemas.

OPERACION

El clorador Serie A-741 funciona por el vacío desarrollado por un inyector del tipo aspirador. El gas entra a través de una válvula reguladora y de alivio de presión. Esta válvula operada por su diafragma mantiene el vacío apropiado antes del orificio del V-notch.

Luego el gas pasará a través del rotámetro hacia el V-notch. Aquí la dosificación se varía manualmente posicionando el V-notch en su anillo (cambiando el área del orificio). La perilla de ajuste manual se encuentra en la parte delantera del clorador. El sistema V-notch mantiene la dosificación dentro de un 4 por ciento.

Después del orificio, el gas pasa a través de una válvula de alivio y reguladora de vacío. Esta válvula operada por su diafragma mantiene el vacío adecuado para un funcionamiento correcto después del V-notch. También admite aire para proporcionar el alivio del vacío —como sucedería cuando se acabase el suministro de cloro—. El aire no pasa a través del rotámetro. El rotámetro indica solamente flujo de gas.

En el inyector, el gas medido se disuelve en el agua. La solución resultante es descargada en el punto de aplicación.

Una válvula de retención tipo diafragma-resorte (la cual cierra el sistema del inyector cuando éste no está funcionando) y una válvula de retención tipo de bola forman parte del inyector. Estas impiden que entre agua inundando el clorador.

DISEÑO Y CONSTRUCCION

Los componentes del clorador Serie A-741 están montados sobre un tablero de plástico reforzado, acabado en esmalte vinílico horneado, verde, resistente a la corrosión. Las partes que están en contacto con el gas son de plástico o aleaciones resistentes a la corrosión. Puede suministrarse un calentador opcional en la entrada del gas. El calentador disminuye al mínimo la acumulación de sustancias contaminantes. Una conexión doble de entrada del cloro permite la extracción hasta de 45 Kg de cloro por 24 horas sin múltiples externos. Cualquier cantidad mayor de 45 Kg necesitará un múltiple externo. Un manómetro en la entrada indica la presión del cloro.

El rotámetro indica Kg de cloro por día. Tiene una escala grabada lineal. Para facilitar la lectura, las marcas de la escala y el flotador son de colores contrastantes. El rotámetro está montado sobre resortes, y puede ser quitado y reemplazado sin herramientas y aun sin cerrar el gas.

En el V-notch, el orificio variable se forma en la intersección del vástago ranurado y su anillo. La ranura en forma de V, de aproximadamente 25 mm de longitud, comienza cerca de un extremo del vástago y se extiende a un grosor y profundidad máximos en el otro extremo. El desplazamiento de 25 mm del vástago, elimina ajustes críticos y da un grado de control fino. Las dosificaciones son fijadas con facilidad pero con precisión.

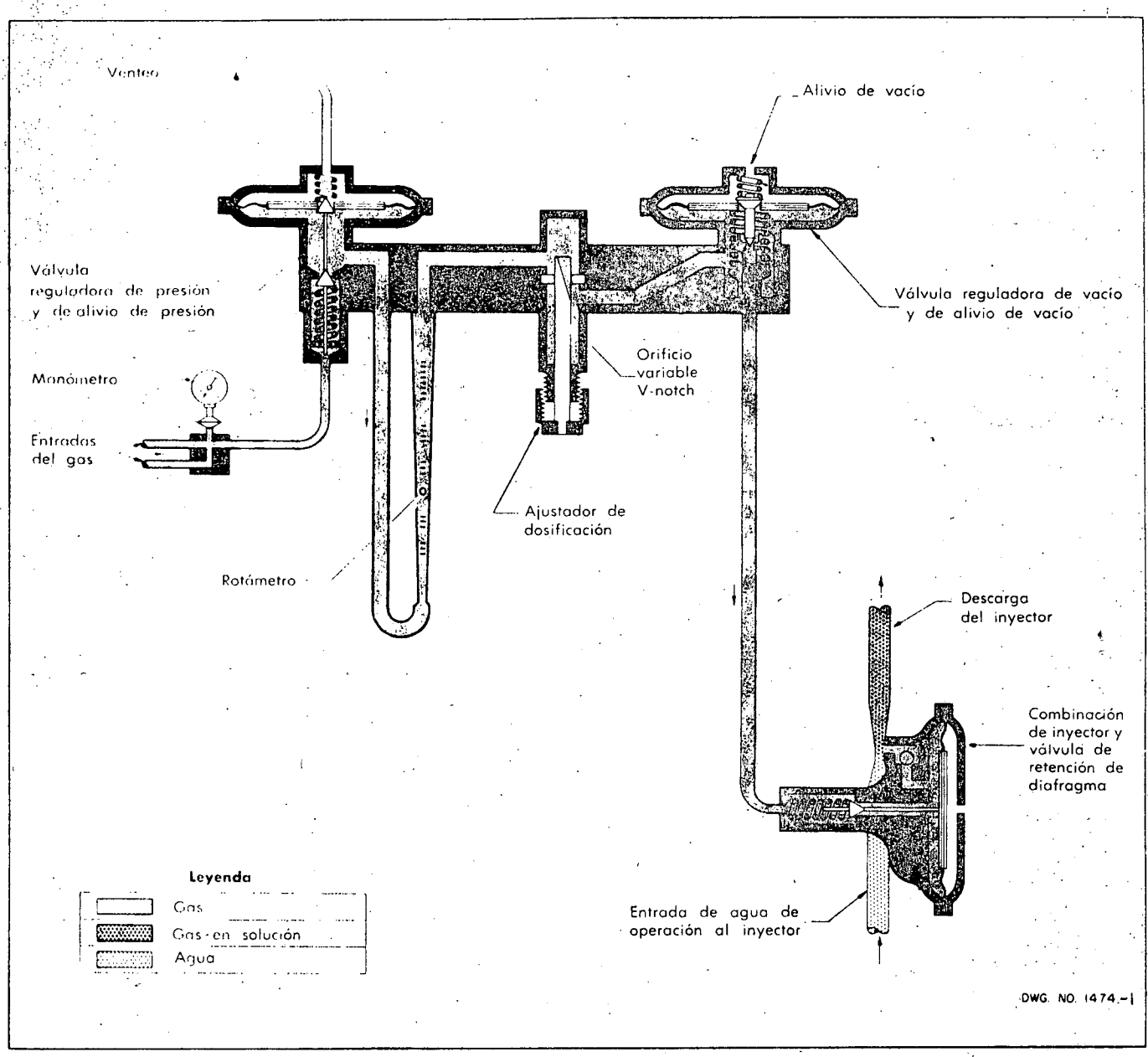
La válvula reguladora y de alivio de entrada es del tipo cargado por resorte de tal manera que exista el vacío normal necesario para el funcionamiento, para permitir la entrada de cloro. Si el vacío de operación se ha perdido, entonces se corta el suministro de gas. La válvula tiene además un alivio a la atmósfera en caso de que se desarrollara una excesiva presión del gas.

Los inyectores, de garganta fija, vienen en diferentes tamaños. Están diseñados para crear el vacío de operación y para ahorrar potencia de las bombas de ayuda o de solución. Su diseño asegura el mezclado de cloro, gas y agua. La operación intermitente de arranque y paro se obtiene interrumpiendo el suministro de agua al inyector, por consiguiente del vacío de operación. Esto se hace agregando una válvula de solenoide externa o mediante cualquier otro aditamento conveniente que interrumpa el suministro de agua al inyector. Los materiales del inyector resisten la corrosión y la erosión.

ACCESORIOS

La dosificación del clorador A-741 se controla manualmente, pero la válvula de solenoide de dos vías, opcional, agregada al sistema de inyección de agua proporciona control de arranque y paro así como de programación

DIAGRAMA DE FLUJO



sincronizada con una bomba, un interruptor, o un circuito de tiempo. Existe un manómetro, opcional, de presión para el sistema de inyección de agua.

RESUMIENDO

El Clorador Wallace & Tiernan Serie A-741 es del tipo de solución, operado al vacío y montado sobre la pared. Una serie de 9 rotámetros proporciona capacidades desde 1 a 90 Kg de cloro en 24 horas. La gama de dosificación es de 20 a 1 para cada uno de los rotámetros. El sistema de control V-notch mantendrá la dosificación fijada dentro de un 4 por ciento.

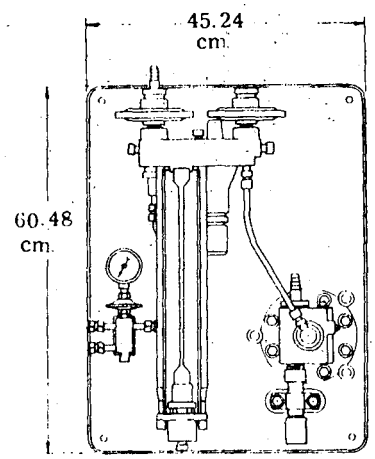
Los componentes funcionales están montados sobre un tablero de plástico reforzado con acabado de esmalte vinílico resistente a la corrosión. Una válvula reguladora de presión y de alivio tipo de resorte cargado mantiene el vacío antes del V-notch. Se abre solamente cuando existe el vacío normal de operación y tiene escape a la atmósfera si se desarrolla una excesiva presión del gas. Otra válvula tipo cargado por resorte mantiene un vacío constante a corriente abajo del V-notch. También admite aire si se desarrolla demasiado vacío. Este aire no pasa a través del rotámetro. Las válvulas están separadas. Tienen diafragmas sellados con unidades de rosca Acme que pueden ser quitadas y reemplazadas sin herramientas.

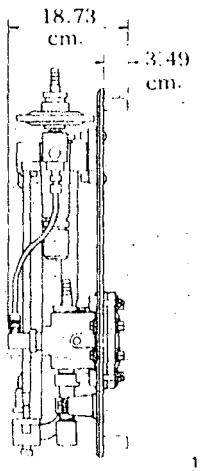
El rotámetro tiene una escala lineal de 254 mm. Sus graduaciones y el flotador son de colores contrastantes para facilitar la lectura. La medición la realiza el orificio variable V-notch. Consiste en un vástago de plástico con una ranura en forma de V que se mueve dentro de un anillo de plástico. El inyector del tipo aspirador proporciona el vacío de operación y evita la inundación del clorador por el agua.

No necesita agua auxiliar para operar y no tiene drenaje. Se incluye un manómetro de la presión del cloro en la entrada del gas.

INFORMACION TECNICA

DIMENSIONES





1476-2

precisión 4 por ciento de la dosificación indicada.

capacidades Rotámetros de 1, 4, 9, 13, 22, 34, 45, 68 y 90 Kg de cloro en 24 horas.

gama de dosificación 20 a 1 para cada uno de los rotámetros.

suministro de agua de operación al inyector Debe ser razonablemente limpia.

presión permitida 1.7-21 Kg/cm² (25-300 psi). Pero la presión y el flujo dependen de la presión en el punto de aplicación, del tamaño del inyector, y de la capacidad del clorador.

necesidades eléctricas Pueden existir necesidades eléctricas para los circuitos de control, para la operación de arranque-paro, para los sistemas de alarma, las bombas de ayuda o para el calentador opcional de 110-120 voltios **ca** o **cd** en la entrada del cloro.

venteo Conexión para manguera de 12 mm (1/2") o tubo flexible de plástico.

línea de descarga de la solución Conexión para tubería de plástico flexible o manguera. El diámetro depende del tamaño del inyector.

entrada de cloro Conexión para dos conexiones de rosca recta de 15 mm (5/8")

línea de agua al inyector Conexión de 19 mm (3/4") a la entrada del inyector.

paquete de instalación Además del clorador A-741 y un rotámetro para una capacidad, el paquete incluye: inyector; válvulas para cilindro; conexiones flexibles; conexión principal; 5 m de tubería de plástico flexible de 12 mm (1/2") para el sistema de venteo; 8 m de tubería de plástico flexible de 19 mm (3/4") para la línea de solución; abrazaderas; manómetro de presión del agua; malla para el venteo; juego de empaque de repuesto; amoniaco; lubricante; 2 llaves españolas; e instructivo.
Si la capacidad del clorador es de 68 ó 90 Kg en 24 horas, el paquete de instalación incluye, además de los artículos antes mencionados, válvulas para cilindro extra, conexiones flexibles extra y un múltiple para 5 tanques.
Existen también paquetes con bombas de ayuda para usarse contra presiones elevadas.

accesorios opcionales Calentador para la entrada del cloro; válvula de solenoide; alarma; válvula reductora de la presión del cloro; máscaras contra gas; equipo para medir cloro residual; básculas y partes de repuesto.

equipo suministrado Los artículos que no están incluidos en el paquete de instalación, tales como los accesorios opcionales, accionadores eléctricos, aparatos auxiliares, tubería y cables, se incluyen con el clorador solamente cuando se especifica así en la cotización.

otros gases El A-741 puede usarse para controlar gastos de otros gases, como son: bióxido de carbono, bióxido de azufre y amoniaco. Consulte con su oficina Wallace & Tiernan de México más cercana.

peso de embarque Paquete de instalación del clorador, 18 Kg. Paquete con la bomba de ayuda e instalación del clorador, 63 Kg.

SERVICIO Y REFERENCIAS

Se obtiene servicio rápido para el equipo Wallace & Tiernan en cualquiera de sus oficinas en las principales ciudades. Pueden adquirirse sobre pedido publicaciones sobre otros cloradores, dimensiones y arreglos típicos, necesidades de agua y datos auxiliares de control.

Se pueden efectuar cambios progresivos en diseño sin aviso previo.

WALLACE & TIERNAN DE MEXICO, S. A. DE C. V.

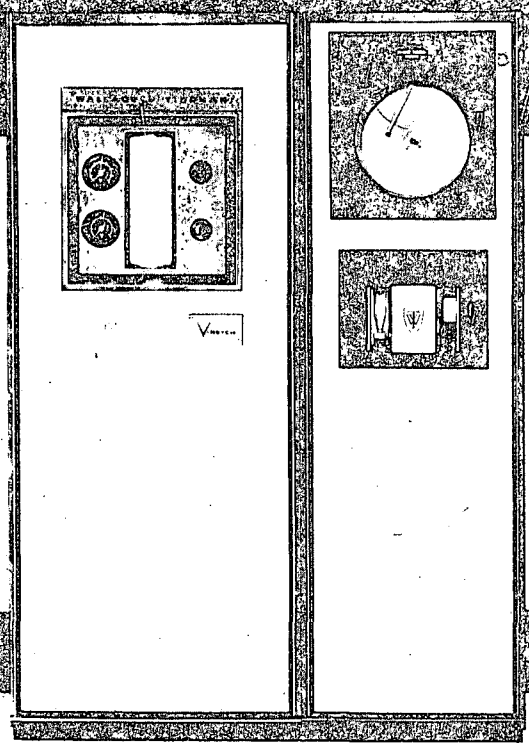
APARTADO POSTAL 348 ECATEPEC, EDO. DE MEXICO

CAT. FILE **25.150**

IMPRESO EN MEXICO
ARTE Y COMUNICACION, S. A

PENNWALT CORPORATION

WALLACE & TIERNAN AUTOMATIC RESIDUAL CONTROL SYSTEMS



W&T Analyzer Module for potable water (right) and Chlorinator Module form a modern efficient residual control package.

These Wallace & Tiernan systems give automatic control of water or wastewater disinfection. Control is direct and is based on the best yardstick known for measuring chlorine application, residual chlorine. Such systems maintain any desired residual accurately and without fail. They simplify and reduce the cost of operations where there are variations in flow, or chlorine requirement, or both.

The systems require only two basic W&T components, a Residual Chlorine Analyzer and a Series V-800 Chlorinator. These are modular in design. When installed together, they form a panel-like array: a compact, workmanlike control package that is a chemical feeding showplace. The components fit neatly into treatment operations of any size, any physical arrangement. A W&T Residual Analyzer for potable water and a W&T Residual Analyzer for wastewater are available. In operation, either residual analyzer changes the feed rate of the chlorinator automatically when recorded residual deviates from that desired.

THE RESIDUAL ANALYZER

This Wallace & Tiernan unit is available in arrangements for potable water or wastewater. Both types amperometrically analyze a continuous sample of treated water or wastewater for residual chlorine content. Residual is then indicated or recorded in parts per million. The recorder or indicator may be fitted with components for controlling any Series V-800 Chlorinator.

The control components may be electric switches actuated by the recorder or indicator positioning mechanism. These switches control an electric V-notch positioner at the chlorinator. Or, they can control a vacuum valve which, in turn, controls the chlorinator's variable vacuum system. For pneumatic chlorinator control, a pneumatic controller is built into the recorder. It controls a pneumatic V-notch positioner at the chlorinator.

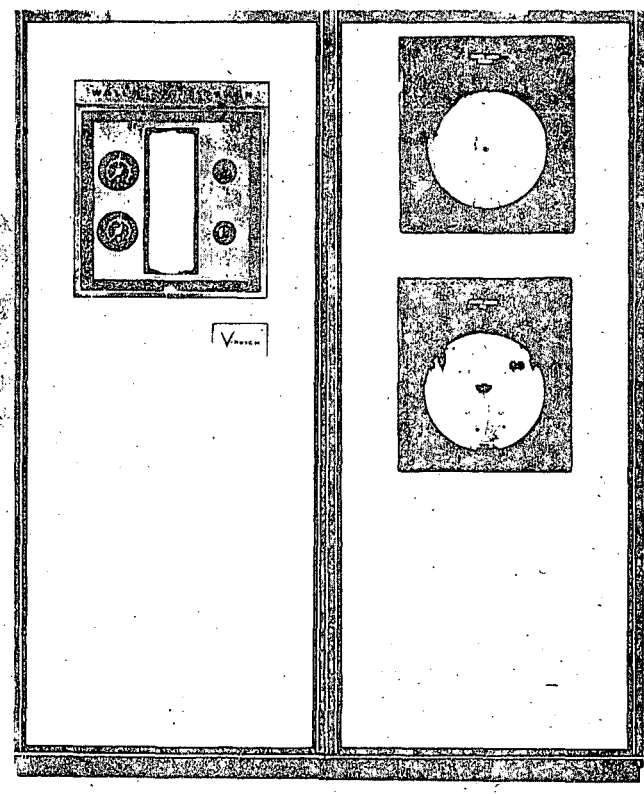
The W&T Residual Analyzer is housed in a modular cabinet designed for uniformity of appearance when installed with a chlorinator and other system components, such as chlorine flow recorders. It analyzes accurately, because sample variables (pressure, flow, pH, and temperature) are precisely controlled. For dependability, the measuring electrode is kept clean by continuous grit bombardment. In the wastewater analyzer, a motorized filter and large ports in the hydraulic system let the sample flow freely, even when used on primary settled waste.

The analyzer is fast and sensitive. A residual change of 0.01 ppm registers within 10 seconds after sample enters the unit. As well as chlorinators, remote duplicating recorders, remote indicators, and alarms can be operated by the W&T Residual Analyzer.

PENNWALT

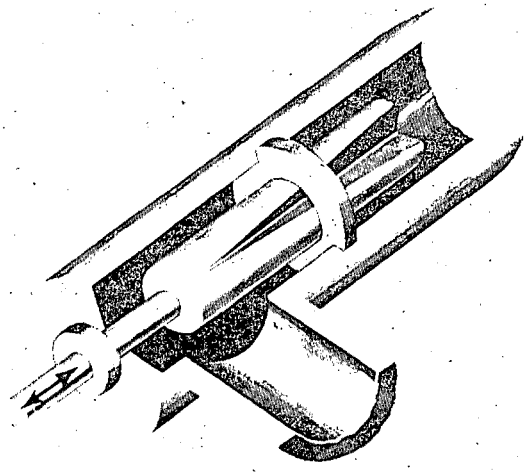
WALLACE & TIERNAN

SERIES V-800 CHLORINATORS



W&T Residual Analyzer and Chlorinator Modules in an automatic residual control system for wastewater treatment.

These Wallace & Tiernan Chlorinators are also modular in design. They match each other and their modular accessories in appearance. They differ only in width. Capacities are 400, 2000, and 8000 pounds of chlorine per 24-hours.



V-notch Variable Orifice

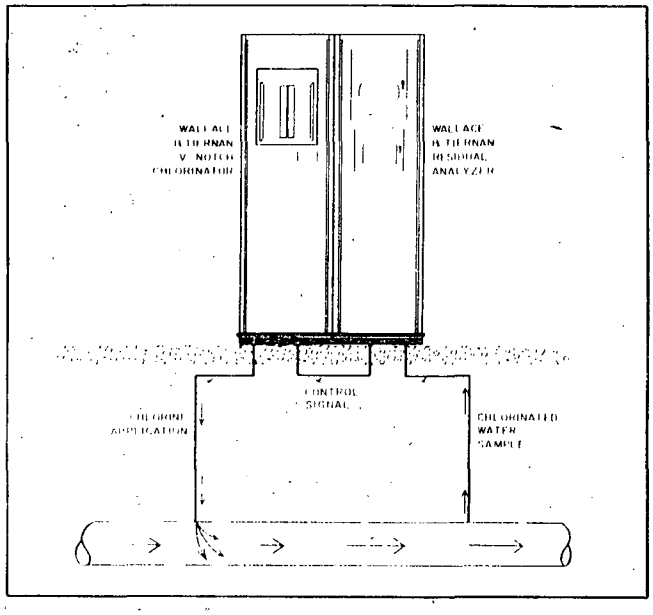
Each chlorinator module has as its main control device the V-notch Variable Orifice. This consists of a precisely grooved plug sliding in a fitted ring. Once positioned, it creates an exact orifice size for accurate metering. Repeating plug position gives high repeatability. 3-inch plug travel allows wide range operation, gives easy and precise adjustment in controlling gas flow.

A second way to control feed rate is by utilizing the chlorinator's variable vacuum system. A control vacuum is applied to the vacuum regulating valve. This changes the vacuum downstream and thus the vacuum differential across the V-notch orifice. Since chlorine flow is proportional to differential across the orifice, feed rate varies with the control vacuum.

Thus, for the purpose of control by residual, V-notch Chlorinator Modules are controlled: by changing V-notch orifice area (changing plug position) while maintaining a constant differential across the orifice; and by varying vacuum differential across the orifice while maintaining orifice area constant.

Control is achieved by a built-in electric or pneumatic plug positioner; an external motorized vacuum valve; or by a vacuum transmitter, differential converter, or other such device operated from a primary flow meter.

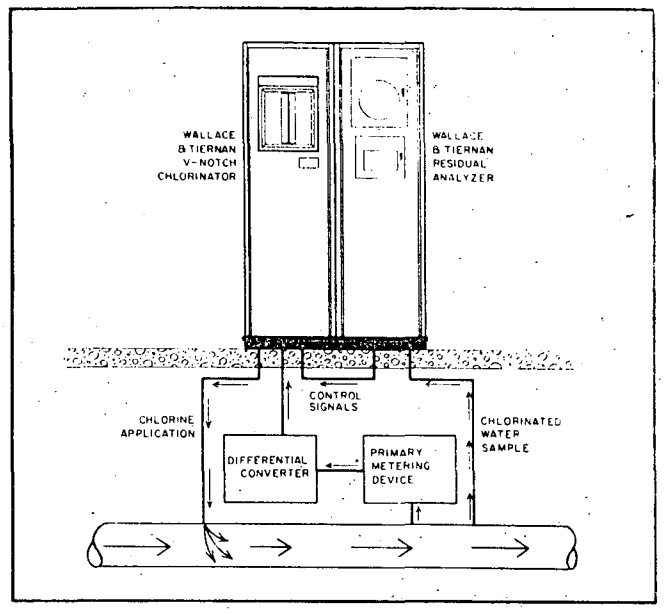
AUTOMATIC RESIDUAL CONTROL



DIRECT-RESIDUAL CONTROL

This system requires only a W&T Residual Analyzer and a Series V-800 Chlorinator. It maintains any desired residual where flow is constant or where it changes only gradually, such as on a distribution system or at the gravity outlet of a reservoir. The analyzer controls chlorinator feed rate by electric or pneumatic V-notch plug positioning or via the chlorinator's variable vacuum system.

Direct-residual control is particularly effective on recirculated systems, such as condenser cooling water circuits and swimming pools. The desired residual is manually set at the analyzer's recorder. Flow is chlorinated until residual reaches an upper limit. The analyzer then shuts the chlorinator off. When residual drops to a lower limit, the analyzer starts the chlorinator and keeps it operating until residual reaches the upper limit again. This cycle is repeated automatically to maintain an average residual continuously.



COMPOUND-LOOP CONTROL

This is a closed-loop, information-feedback system which controls chlorinator output in accordance with two variables, flow and chlorine requirement. The flow signal from the primary meter-transmitter is applied to the chlorinator's vacuum regulating valve. The residual signal from the analyzer is applied to the V-notch plug positioner. If more convenient, these signals can be reversed: The residual signal can be applied to the vacuum regulating valve; the flow signal, to the plug positioner. Simultaneous application of these two signals controls chlorinator output to maintain a desired residual, regardless of changes in the flow rate of the water or wastewater, or changes in their chlorine requirement.

Wallace & Tiernan Compound-loop Control Systems operate automatically, continuously, and with minimum maintenance or supervision. Water or wastewater is chlorinated to any desired residual. The system's flexibility results from combining V-notch position and variable vacuum control at the chlorinator. Control by both methods simultaneously gives the system an operating range of well over 100 to 1.

ACCESSORY EQUIPMENT

transmitters

W&T Transmitters may be built into the residual analyzer to produce 3 to 15 psi, 0 to 10 volt dc, or pulse duration outputs.

indicators

A W&T Indicator may be substituted for the recorder at the residual analyzer. This indicator can perform limited control and alarm functions. It may be used for indication alone, for indication with alarms, or for indication with high and low set points for chlorinator control. It will not control and actuate alarms both at the same time. This requires a recorder. W&T Remote Indicators accept 0 to 10-volt signals from the residual analyzer.

remote recorders

A W&T Remote Recorder accepts a 0 to 10-volt signal from the master recorder at the residual analyzer.

remote controllers

W&T Remote Manual Control Panels control chlorinators at outlying stations. They indicate chlorinator feed rate and control chlorinator output by electric, pneumatic, or variable vacuum signals. W&T Program Control Panels provide time-sequence operation of one or more Series V-800 Chlorinators. They repeat any 24-hour program until manually changed.

chlorine flow recorders

These W&T units give permanent records of chlorine consumption on 24-hour charts. Components may be added to total chlorine used, warn when cylinders are running low, monitor chlorine applied at remote stations.

alarms

W&T Alarms, at or remote from the residual analyzer, warn when residuals deviate from the set limits. A light and a sound alarm are actuated. The latter may be turned

APPLICATIONS

off, but the light stays on until the difficulty is remedied. Other W&T Alarms show lowered or exhausted chlorine supply, pressure increases, and other irregularities such as malfunction of auxiliary equipment. These alarms may be audible or visible, at or remote from the chlorinator or residual analyzer.

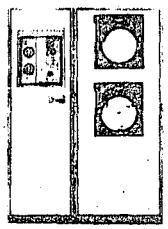
differential converter

This W&T unit converts primary meter differential to a vacuum control signal directly proportional to the square of the flow.

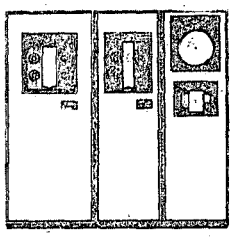
magnetic flowmeter

This W&T Flowmeter is available in ½ to 72-inch sizes and in arrangements for metering water or wastewater. Accuracy is 1% of full scale. Minimum full scale flow can be 1.5 gpm to essentially any upper limit. Its transmitting meter generates a linear, millivolt signal. Its receiver is an ac millivolt recorder or indicator. Components can be built into the receiver for chlorinator control by variable vacuum, pneumatic, potentiometer position, or pulse duration signals. Integrators and alarm actuators are also available.

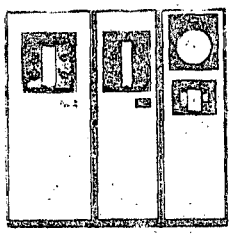
APPLICATIONS



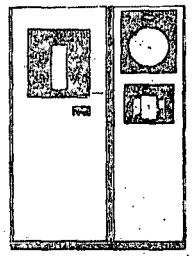
Disinfection of primary or secondary treated wastewater.



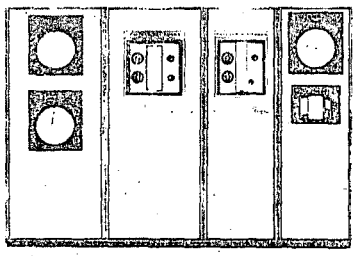
Partial dechlorination of filter plant effluent with sulfur dioxide after superchlorination.



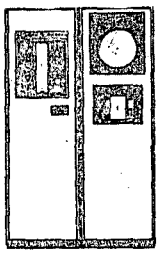
Chlorination or rechlorination of filter plant effluent prior to storage or distribution.



Rechlorination at a distribution system pumping station or reservoir outlet.



Pre- and post-filter-plant chlorination with chlorine flow recording.



Chlorination of reservoir or well supplies.

other applications

- Disinfection of industrial process water.
- Chlorination of industrial wastewater.

SERVICE AND REFERENCES

Prompt service is available on W&T equipment from branch offices in principal cities. Other and more detailed technical data on W&T equipment, such as dimension drawings, typical arrangements, operation, and auxiliary controls, are available in other publications.

Progressive changes in design may be made without prior announcement.

WALLACE & TIERNAN DIVISION
25 MAIN STREET, BELLEVILLE, NEW JERSEY 07109

Printed in USA

PENNWALT CORPORATION

GAS MASKS

Gas masks should be provided to protect personnel wherever toxic gases are handled. One or more masks should be located adjacent to, but outside the equipment room, and additional masks further away. This provides for personnel in the immediate area and also for supplementary personnel should they be needed. It is important that a record be kept of mask usage and that the manufacturer's instructions be followed. This ensures that the mask will be serviceable when needed. For OSHA acceptance, gas masks must be certified under the National Institute of Safety and Health (NIOSH) certification program.

Canister Type Mask with Ultravue Facepiece.

PENNWALT

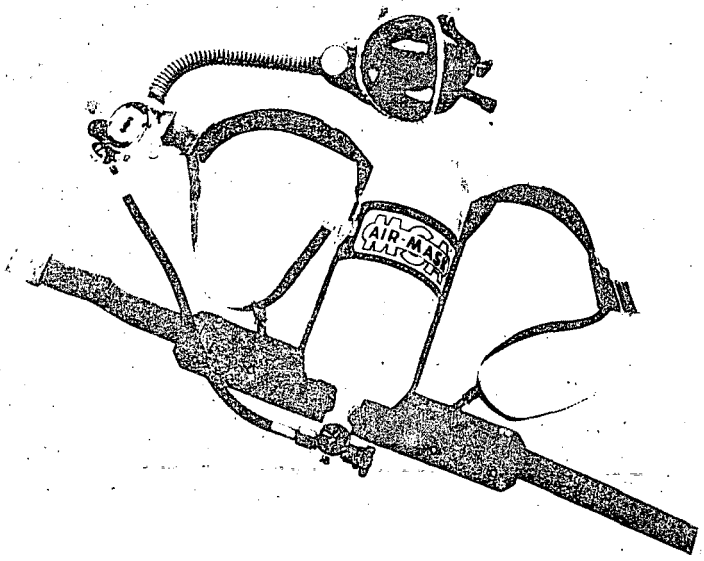
WALLACE & TIERNAN

CANISTER-TYPE MASKS

These masks have a canister through which the incoming air passes. The canister contains an absorbent chemical which is specific for chlorine gas. No oxygen supply is provided. This limits use to gas concentrations no greater than 1% by volume (approximately 10,000 ppm by volume). The length of time it can be worn is limited by the concentration of chlorine and the exertion of the wearer. Canister masks are light in weight. They are generally satisfactory where there is sufficient ventilation to prevent a high gas concentration.

(NIOSH certification not required at time of printing. Consult manufacturer for current status.)

- **457083—Chlorine Canister Mask with Ultravue Facepiece, in case.**
- **77711—Extra Canister.**



Air-tank Type Mask with Ultravue Facepiece.

AIR-TANK TYPE MASKS

This mask utilizes a refillable compressed air tank which supplies air to the user. The tank is strapped on the wearer providing complete mobility. It is used where breathing emergencies created by high gas concentrations require a self-contained breathing apparatus. One type provides a 30-minute service period; the other, a 15-minute service period. Both include an audible warning device which signals a diminishing tank supply.

- **457153—Air Mask (30-minute supply) with Ultravue Facepiece, in case.**

  NIOSH approved TC 13F-29.
- **94007—Extra Air Tank (30-minute).**
- **457151—Air Cub Mask (15-minute supply) with Ultravue Facepiece, in case.**

  NIOSH approved TC 13F-46.
- **456104—Extra Air Tank (15-minute).**

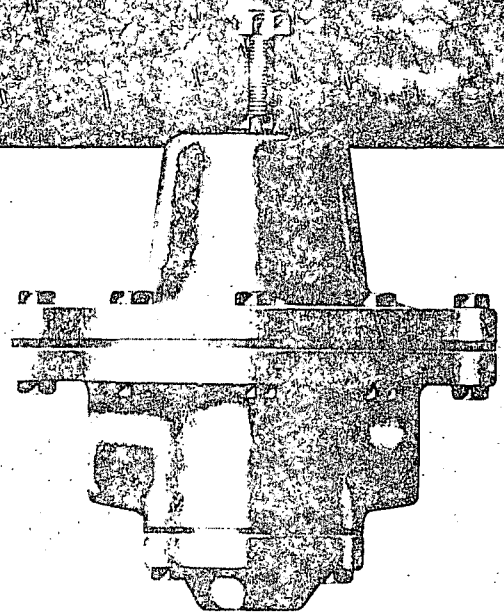
EYEGLASS KIT

This kit permits installing prescription lenses in the Ultravue Facepiece. Standard metal eyeglass frames, less lenses, with abbreviated temples and a kit for attaching to the facepiece are supplied.

The information given above is taken from Mine Safety Appliances Company bulletins. While this catalog file describes uses and performance capabilities of the gas masks, under no circumstances should they be used except by qualified, trained personnel and not until the instructions, labels, or other literature accompanying the product have been carefully read and the precautions set forth are followed. Only they contain complete and detailed information concerning the product.

PENNWALT CORPORATION

Series A-786 Chlorine Shut-off and Pressure Reducing Valve



Manually set Series A-786 Reducing Valve.

The Wallace & Tiernan Series A-786 Chlorine Shut-off and Pressure Reducing Valve is a spring- or pilot-pressure-loaded, diaphragm-operated valve used in gas-handling systems. It reduces varying gas pressure to a desired regulated pressure and holds this regulated pressure within close limits. When used in chlorinator feed lines, the valve reduces the possibility of reliquefaction, improves chlorinator operation. For automatic operation, optional electric and pilot pressure control components give reliable, automatic shut-off.

Valve arrangements are: with a manual spring adjustment for pressure regulation; with an electric operator for setting the regulated output and automatic shut-off; with an air- or water-operated pilot which regulates pressure output and shuts off automatically by a normally open, 3-way solenoid. An optional fourth arrangement, with water-operated pilot, is used as a stand-by for emergency chlorination.

FEATURES

- Design simplicity and few operating parts mean a small, compact valve which is easy to install directly in a pipeline. Optional wall-mounting brackets are available for use with flexible connections.
- One valve body accommodates several seat-and-stem sizes for different capacities. The valve gives excellent regulation of discharge pressure over a flow range of 100 to 1 and a wide range of inlet pressures.
- Removable cartridges containing the seat-and-stem assemblies facilitate changing capacities and maintenance.
- Regulated chlorine pressure is easily set by adjusting spring load or pilot pressure. The pilot-pressure control can be conveniently located when the valve is in a hard to-reach place.
- All arrangements of the valve handle inlet pressures to 300 psi and temperatures to 180 F. TFE diaphragms and lead gaskets minimize the possibility of leaks. All arrangements shut off automatically on power supply or pilot-pressure failure.
- All valve body arrangements are weather-resistant for outdoor installation. The electric operator is a general purpose type. It is also available in an outdoor NEMA 3 enclosure, or a hazardous location Nema 7 (Class I, Group D) enclosure. All operators are UL listed.

CONSTRUCTION

The Wallace & Tiernan Series A-786 Valve consists of a main housing, convenient inlet and outlet connections, spring-loaded stem assembly, seat, and reinforced power diaphragm. For manually set and electrically operated models, the operator housing contains an adjustable spring. For the pilot-operated model, the operator housing contains a static-air or operating-water chamber.

OPERATION

Regulated chlorine pressure is achieved by a balanced-diaphragm system. As supply pressure increases, pressure against a diaphragm builds up. When this pressure overcomes the pilot pressure or spring compression opposing it, the diaphragm moves. Diaphragm movement positions the stem assembly closer to the seat, throttling the supply pressure until it balances the pilot pressure or spring compression. When the discharge pressure balances the pilot pressure or spring compression, the desired regulated pressure results.

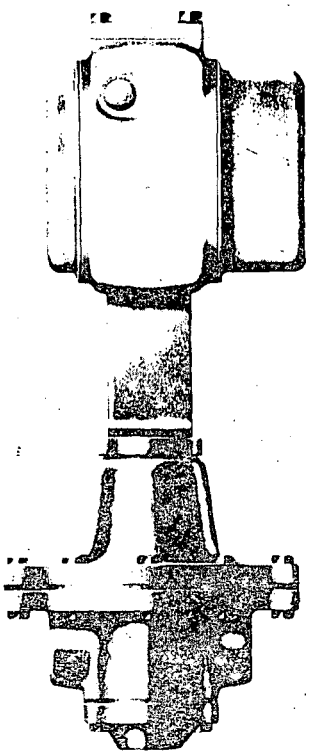
The desired control pressure, thus regulated pressure, is set by manually adjusting the compression of the spring, by controlling the pilot pressure, or by manually setting the spring in the electrically operated version.

Automatic shut-off is achieved either by a three-way solenoid which dumps the pilot pressure or by de-energizing the electric valve operator.

The stand-by arrangement has a three-way solenoid. If power fails, it allows water under pressure to enter the pilot and operate the valve.

PENNWALT
WALLACE & TIERNAN

TECHNICAL DATA



Series A-786 Valve with electric operator for pressure regulation and automatic shut-off. Valve body is weather-resistant. Outdoor NEMA 3 or hazardous location Nema 7 (Class I, Group D) enclosures are optional. All are UL listed.

use To reduce the pressure of and automatically shut off chlorine, ammonia, or sulfur dioxide in piping systems.

capacity Cartridge-type seat-and-stem assemblies available for 2,000 and 8,000 lb of chlorine, 1,000 and 4,000 lb of ammonia, and 2,000 and 8,000 lb of sulfur dioxide per 24 hours.

electrical requirements For electric shut-off: 120 volt, 50/60 Hz, single-phase. Opening: 1.4 A; holding: 0.09 A; closing: none.
For optional 3-way solenoid on pneumatic or hydraulic pilot: 115 volt, 50/60 Hz, single-phase.

operating range 100 to 1.

inlet pressure 300 psi, maximum.

regulated output Maximum is 60 psi for manual and pilot types; 35 psi for electric.

materials Cast nodular iron body with corrosion-resistant finish. Other parts exposed to gas: Monel; Hastelloy C; TFE; tantalum.

water requirements City-water quality at about three-quarters of the desired output pressure. Negligible consumption.

air requirements Clean air at about three-quarters of the desired output pressure. Negligible consumption.

connection sizes 1″ NPT female inlet and outlet; ¼″ NPT female for pilot pressure and vent.

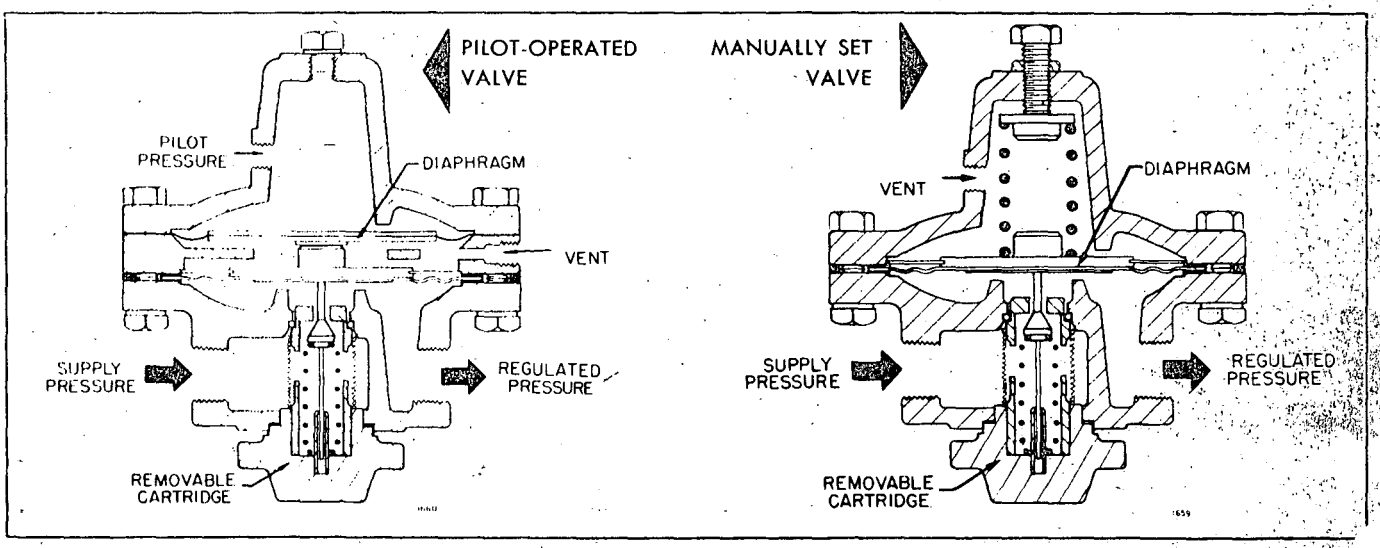
installation Can be mounted directly in pipe line or with optional wall-mounting brackets. All arrangements of the valve may be installed at any angle up to 90 degrees from the normal vertical. Operation will remain satisfactory and reliable, but the frequency of cleaning increases as the installation angle departs from the normal vertical.

equipment furnished Items such as piping and wiring are included with the valve only as specifically listed in a quotation.

weight

	NET	SHIPPING
Spring	32 lb	40 lb
Air, water, or emergency	38 lb	45 lb
Electric	56 lb	65 lb

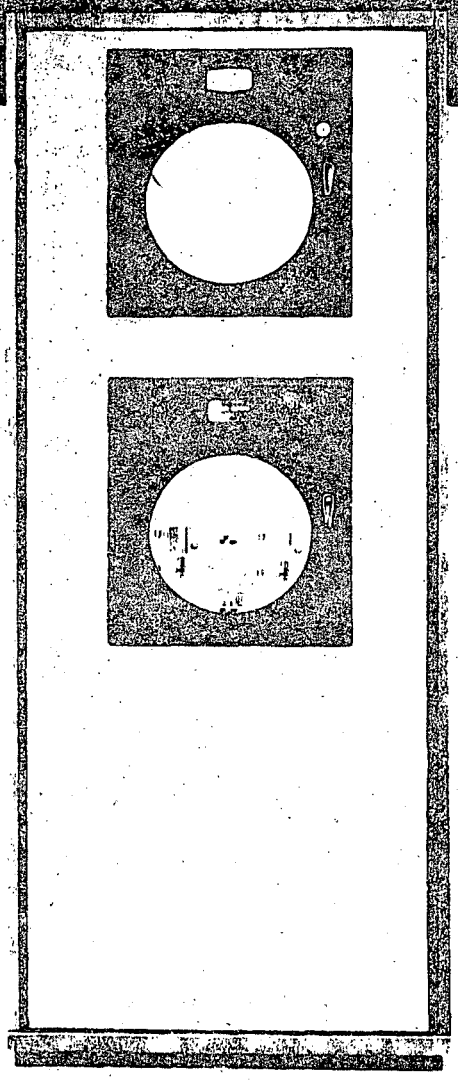
dimensions Maximum diameter, 9″; height, 11″ (19″ if electric).



Progressive changes in design may be made without prior announcement.

WALLACE & TIERNAN DIVISION
25 MAIN STREET, BELLEVILLE, NEW JERSEY 07109

PENNWALT CORPORATION



Designed to be accurate and sensitive, this instrument analyzes a continuous sample of treated waste amperometrically. It reads out the total residual in mg/l (ppm). Accurate and continuous analysis provides the basis for automatic residual control. This virtually assures adequate disinfection of primary or secondary-treated waste.

The complete analyzer consists of a Series A-792 Analyzing Unit and one of two readouts:

Series A-767 can be a recorder or an indicator with control and/or alarm functions. Series A-780 is an indicator with either alarm or control functions.

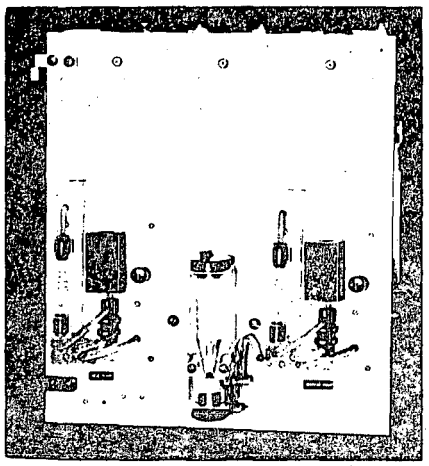
The analyzing unit and the readout chosen are usually furnished in a modular cabinet, as shown. But the units can be furnished separately for split installations. The Series A-767 Recorder or Indicator is available with built-in components for control of any Series V-800 Chlorinator. Components for alarm actuation and proportional signal transmission are also optional. The Series A-780 Indicator gives chlorinator control or alarm functions and transmits a proportional millivolt signal.

AUTOMATIC RESIDUAL CONTROL

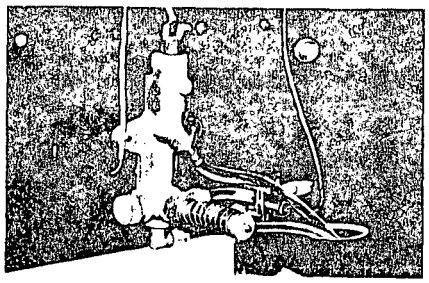
This W&T Analyzer, a Series V-800 Chlorinator, and a flow recorder, tied together in a system called "Compound-loop Control," give automatic residual control. This closed-loop system maintains a set residual in waste, regardless of variations in flow or chlorine requirement. The system also helps monitor plant operation, cut disinfection costs. The 24-hour residual charts, wastewater flow charts, and chlorine usage records are often acceptable to health authorities as evidence of an effective disinfection program.

PENNWALT
WALLACE & TIERNAN
EQUIPMENT & CONTROLS

FEATURES



Swing-out panel of the analyzing unit. Lucite cell at bottom contains the electrodes. Identical pulse pumps, with meters and rate-setting knobs, feed buffer, reagent, detergent, acid.



Spring-loaded plunger on back of swing-out panel. This plunger cleans the one critical orifice in the sampling system with a flick of the finger. Tubing, pulse pumps, and screw clamp to shut off sample flow to the electrodes are easily reached.

ACCURATE

Designed for precise control of sample variables, which means accurate analysis. A constant level—dilution box keeps sample flow and pressure steady. A pair of transistor pulse pumps feeds a set amount of buffer and acid for a constant pH. Sample temperature changes are compensated for electrically. An optional amperometric titrator is the calibration standard. Accurate to one-hundredth mg/1, it is not affected by turbidity, color, manganese, iron, or nitrites in the sample.

DEPENDABLE

To keep the sample as true as possible, a special sample pump and a special filter are used. All possible small ports are eliminated; ports are oversize to help prevent plugging. The one necessarily small port, before the electrodes, has a spring-loaded plunger for instant cleaning. The constant level—dilution box creates a stable hydraulic system. The electrodes are kept clean by continuous grit bombardment. A special detergent keeps grease off the electrodes and grit. Clean electrodes virtually assure dependable residual analysis.

EASY TO MAINTAIN

The electrodes are always visible in a clear lucite cell. The cell can be cleaned in one minute by shutting off sample flow with a screw clamp, draining, and removing the top and bottom plugs, which are held by O-rings. The spring plunger quickly cleans the main orifice. Plastic tubing is easily removed for cleaning, or can be replaced for pennies. The acid and buffer pumps are identical pulse pumps with transistorized printed circuits. Each has provision for constant delivery and an indicator for rate setting. All these units are easy to reach on a swing-out panel. The constant level-dilution box is plastic; its weirs slide out for cleaning. If dilution water is used to save chemical costs, the orifices which control sample-to-dilution-water ratio snap in easily. A simple preventive maintenance schedule consists of a 9-step daily checklist and a 3-step weekly checklist. Most are sight checks. The most time consuming is a residual test to check calibration. Even this takes only about 2 minutes.

ECONOMICAL

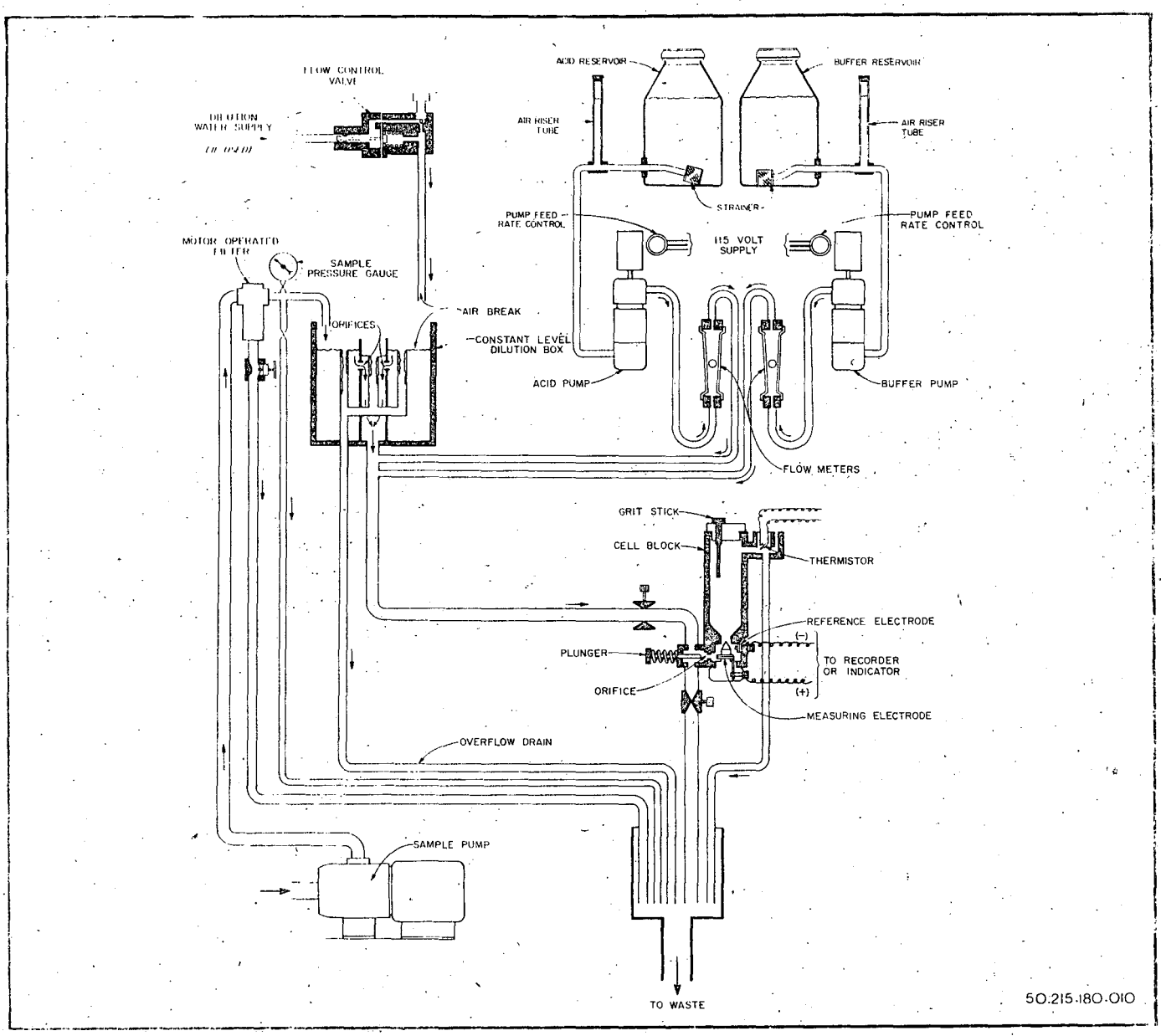
Other than electricity, chemicals are the only operating cost. These can be reduced by acid addition and further reduced by dilution water, if used. A small amount of phosphoric acid is metered into the sample by one of the pulse pumps. This acid neutralizes alkalinity to reduce the total cost of buffering by approximately 50%. Sample dilution can reduce chemical costs still further. A fresh water dilution line can be piped to the analyzer. The constant-level dilution box allows accurate proportioning of this water to the sample. A 1:1 dilution ratio reduces the amount of reagent (potassium iodide) required by about 50%.

FAST AND SENSITIVE

Sensitivity of the W&T Wastewater Analyzer is 0.01 mg/l, and up to 0.03 mg/l if the sample is diluted. Speed of response is 10 seconds after sample enters the analyzer.

CONVENIENT

The analyzer occupies less than 3 square feet of floor space. The analyzing unit and the readouts are in separate fiber glass cases. The recorder-controller arrangement records residuals, controls chlorinator output, and actuates alarms, all at the same time. Chlorinator-control signals may be dc, pulse duration, or on-off from high and low set points. Installation requires no major changes in plant or equipment.



OPERATION

To deliver as true a sample as possible for analysis, a special positive-displacement pump (optional) is used. It is designed to prevent break-up of particles, which would expose new organic matter and lower residual. The plate-type filter revolves at 1 rpm. Only a small portion of total sample flow is filtered. The remaining 8 to 10 gpm washes the filter and runs to waste. This continuous flushing helps prevent particles from forming a mat of organic matter which would lower residual as the sample passes through. Filtered sample goes to the multi-chamber constant level—dilution box.

In one chamber, sample level is held constant by a drain which overflows to waste. An orifice in the inner wall of this chamber controls sample flow to the middle chamber. Dilution water, if used, is controlled and measured. It finds a constant level in the third chamber. A measured amount flows through an orifice to the middle chamber. Excess flows to waste. Diluting the sample not only reduces reagent and buffer requirements, but also reduces the need for frequent cleaning.

Sample is diluted in the middle chamber where the excess of sample and dilution water overflows to waste. The constant level—dilution box provides an air break to prevent cross connections.

Sample leaving the middle chamber has a small but constant amount of phosphoric acid-detergent solution added by the electronic pump. Further along, an identical pump adds potassium iodide reagent, buffer, and detergent. These pumps have an infinite range from 0 to 1 ml per minute. Diluted and buffered sample passes through the orifice (with spring-loaded plunger) into the clear lucite measuring cell.

This cell contains the platinum measuring and copper reference electrodes. Grit and detergent, carried by sample velocity, keep the electrodes free of dirt and grease. The electrodes are in the O-ring-held plug at the base of the cell. The top of the cell is also an O-ring-held plug which contains a grit stick for convenient grit replenishment. The buffers and acid reduce sample pH to about 4.

At pH4, chloramines oxidize iodide to iodine rapidly. The amount of iodine released is in direct proportion to the total residual chlorine in the sample. The free iodine produces a current proportional to total residual chlorine at the electrodes. This current is transmitted to the readout.

If the readout is an A-767 Recorder (or Indicator), it is a dc recording microammeter. Its pen is driven to a position proportional to current from the electrodes. Accurate recording is the result of a balance between this current and a slidewire current. The recorder has zero and span adjustments, and manual temperature adjustment. Automatic temperature compensation is optional.

If the readout is an A-780 Indicator, it contains a sensitive microammeter calibrated in mg/1 and connected in series with the sensing elements. It has span and zero adjustments and automatic temperature compensation.

FUNCTIONS

Recording. Series A-767 Recorder is available in five standard ranges, 0-1, 0-2, 0-5, 0-10 and 0-20 mg/l. Higher concentrations can be measured if the sample is diluted. Residual is recorded in mg/l on 24-hour or 7-day circular charts. When this recorder is to control a chlorinator, and/or transmit to remote receivers, and/or actuate alarms, circuits and interrupters are easily added.

Indicating. Series A-767 Indicator is available in ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l, or higher if the sample is diluted. Circuits easily added for transmission, control and/or alarm actuation.

Series A-780 Indicator is available in ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l, or higher if the sample is diluted. It transmits a 0-10 mV, dc signal proportional to reading. It will indicate, indicate and control, or indicate and actuate alarms. It will not control and actuate alarms at the same time.

Transmission. For split installations, the analyzing unit and its readout may be located in different parts of a plant.

Also, residual readings may be transmitted to suitable receivers. A W&T dc Transmitter, built into the A-767 Recorder or Indicator, provides a 0-10 volt signal proportional to pen position. A pulse-duration transmitter, also built in, has a switch which opens and closes once during a 12-second cycle. Closed portion of the cycle is proportional to pen position. Other cycles available. In the A-780 Indicator, a 0-10 millivolt dc transmitter is standard.

Receivers. Series A-767 Remote Recorder receives a 0 to 10 volt signal which duplicates the recording on the master recorder. An indicating scale and pointer can be added. This recorder can be adapted for remote residual control.

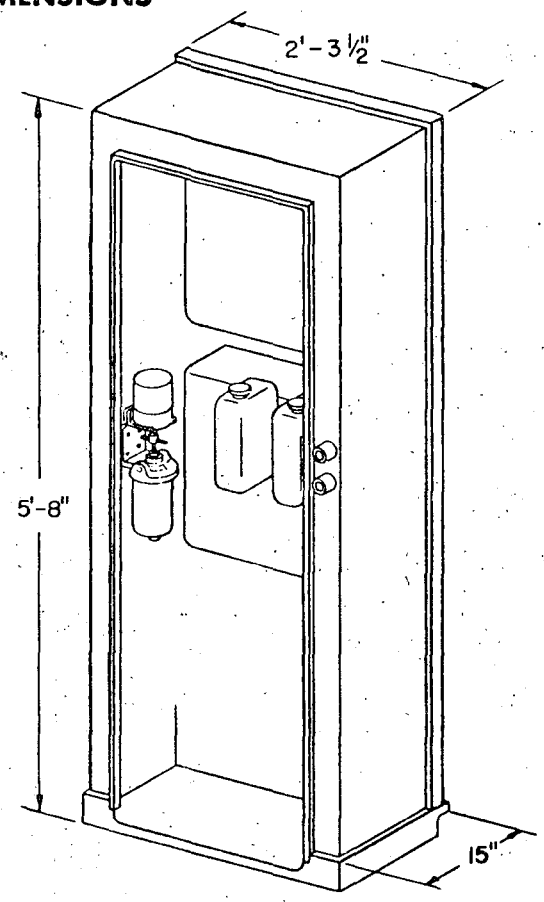
Series A-767 Remote Indicator receives a 0 to 10 volt dc signal which duplicates the reading on master recorder. This indicator can be adapted for remote residual control.

Alarms. Wallace & Tiernan Alarms, at or remote from the recorder or indicator, are operated from high and low contacts in these units. When residual deviates beyond the set limits, a warning light and an audible alarm are actuated. The latter may be switched off, but the light stays on until the difficulty is remedied.

ARRANGEMENTS AND OPTIONS

ARRANGEMENT:	A-767 RECORDER	A-767 INDICATOR	A-780 INDICATOR
CHLORINATOR CONTROL	ELECTRIC	ELECTRIC	ELECTRIC (BUT NOT WITH ALARMS)
PROPORTIONAL SIGNAL TRANSMITTED	0-10 volt, dc PULSE DURATION	0-10 volt, dc PULSE DURATION	0-10 MILLIVOLT DC ONLY
REMOTE RECEIVERS	A-767 DUPLICATING RECORDER A-767 DUPLICATING INDICATOR COMMERCIAL RECEIVER	A-767 DUPLICATING RECORDER A-767 DUPLICATING INDICATOR COMMERCIAL RECEIVER	COMMERCIAL MILLIVOLT RECEIVER
ALARMS	ELECTRIC FROM HIGH AND LOW CONTACTS	ELECTRIC FROM HIGH AND LOW CONTACTS	ELECTRIC FROM HIGH AND LOW CONTACTS (BUT NOT WITH CONTROL)
TEMPERATURE COMPENSATION	MANUAL AUTOMATIC	MANUAL AUTOMATIC	AUTOMATIC

DIMENSIONS



DWG. NO. 1799

SHORT DESCRIPTION

The Wallace & Tiernan Residual Analyzer amperometrically analyzes a continuous sample of waste for total chlorine residual. It reads out this residual on a recorder or an indicator. Maximum operating range is 0 to 20 mg/l, with sample dilution, range is increased accordingly. It registers a change of 0.01 mg/l in 10 seconds after sample enters the instrument. It consists of an analyzing unit and a recorder or an indicator. These units are in moisture-proof, fiber glass cases which may be mounted together in a modular cabinet or supplied separately for wall or control-panel mounting. They may be fitted with components for control, transmission to remote readouts, and alarm actuation. The sampling system consists of an external positive displacement pump (optional) and a filter whose surface is continually washed by 8-10 gpm of excess sample. The filtered portion of the sample is delivered to the analyzing unit where two electronic pulse pumps meter reagent, buffer, acid and detergent into the sample. A constant level—dilution box provides a relatively stable hydraulic system. It also permits sample dilution. The analyzing cell contains two stationary electrodes. These are continuously cleaned by grit bombardment and detergent action. They produce a direct current proportional to residual chlorine concentration. The recorder pen is driven to a position proportional to this current for residual recording on circular 24-hour or 7-day charts. The recorder or indicator is fitted with high and low contacts to control chlorinator output and actuate alarms. It may also be fitted with built-in transmitters to provide a 0-10 volt signal or a 12-second pulse duration signal for remote duplicate recording indicating, or control. A second indicator may be used. It will control a chlorinator or actuate alarms, but not both. It transmits a 0-10 millivolt signal only.

TECHNICAL DATA

type of measurement	Amperometric. The total residual chlorine in primary or secondary treated waste is continuously measured and recorded or indicated on an appropriate readout.
sensitivity	0.01 mg/l. If sample is diluted, up to 0.03 mg/l.
speed of response	Registers a residual change within 10 seconds after sample enters the instrument.
recorder	The Series A-767 Recorder is a dc recording microammeter. Records total residual on 24-hour circular charts. Charts available for ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l. 7-day chart and chart drive optional. Can be adapted to perform control, alarm actuation, and signal transmission functions simultaneously.
indicator	An indicator, Series A-767, with the same standard ranges and functions as the above recorder may be substituted for it. Another indicator, Series A-780, with the same ranges, is available. The latter may be used for alarm actuation or control, but not both at the same time. It transmits a 0-10 millivolt dc signal.
sample water requirements	Approximately 8 to 10 gpm at 10 to 25 psi at the unit. If sample line is long, a greater flow—part of which bypasses to waste—will prevent lag in readings. If required, an optional sample pump can be purchased.
dilution water (if used)	City-quality at 20 to 25 gph.
electrical requirements	115 volt, 50 or 60 Hz, 1 ph supply.
power consumption	Recorder or indicator and analyzing unit, 65 watts; pulse duration or dc transmitter, 5 watts; control components, 15 watts; remote duplicating recorder or remote indicator, 25 watts.
installation	Pipe waste sample and dilution water, if used, to the analyzer; provide a drain for sample and dilution water overflow; plug the analyzer and recorder into 115-volt outlets; run control lines to chlorinator and alarms.
mounting	Analyzing unit with recorder or indicator in a modular cabinet or supplied separately for wall or control-panel mounting.
recommended accessories	A Wallace & Tiernan Amperometric Titrator for calibrating and checking.
standard accessories	400 24-hour or 100 7-day charts, 4 gal. buffer solution, 4 gal. phosphoric acid, 2 tubes grit, 2 bottles auxiliary tablets, 4 6-oz. bottles of acid additive, pH paper, spare parts, motorized filter and water line, instructions, drain- and sample-line connections—but not the drain or sample lines or sample pump.
optional accessories	Drain line, sample line, lock for recorder door, and any transmitter, recorder, or indicator listed in arrangements-and-options table above. To operate a remote recorder or indicator, the master recorder must contain a transmitting circuit. This is not included in the basic unit, but may be added at any time.
equipment furnished	Items such as piping and wiring are included with the W&T Waste Analyzer only as specifically listed in a quotation.
shipping weight	Analyzer unit, 85 lb; recorder, 85 lb; indicator, 100 lb; modular cabinet, 270 lb.

SERVICE

Prompt service on W&T equipment is available from branch offices in principal cities.

REFERENCES

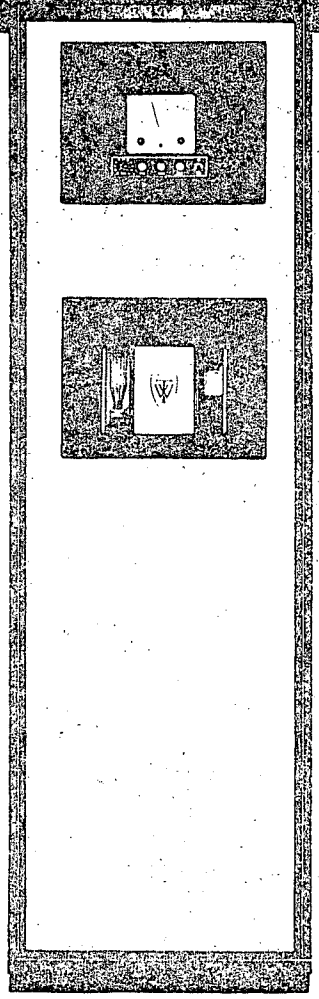
Additional technical data, such as typical arrangements, water requirements, and available auxiliary controls, are available in other publications.

Progressive changes in design may be made without prior announcement.

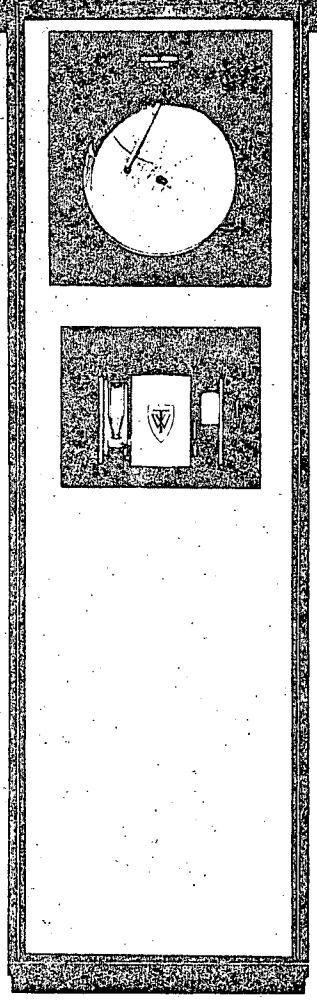
WALLACE & TIERNAN DIVISION
25 MAIN STREET, BELLEVILLE, NEW JERSEY 07109

Printed in USA

PENNWALT CORPORATION



Residual analyzer, indicating



Residual analyzer, recording

This Wallace & Tiernan analyzer is accurate and sensitive, yet rugged and dependable on line. It amperometrically analyzes a continuous sample of treated water and reads out the free or total residual in mg/l (ppm). Continuous and accurate analysis provides the basis for maintaining water quality, manually or automatically.

The complete W&T Analyzer consists of a Series A-773 Analyzing Unit and one of two readouts:

Series A-767 can be a recorder or an indicator with control and/or alarm functions. Series A-780 is an indicator with either alarm or control functions.

The analyzing unit and the readout chosen are usually furnished in a modular cabinet to match V-notch Chlorinators, flow recorders, and other treatment equipment in modular format. But the units can be furnished separately for split installations. The Series A-767 Recorder or Indicator is available with built-in components for control of any Series V-800 Chlorinator. Components for alarm actuation and proportional signal transmission are also optional. The Series A-780 Indicator gives chlorinator control or alarm functions and transmits a proportional millivolt signal.

AUTOMATIC RESIDUAL CONTROL

The recording or indicating analyzer, a Series V-800 Chlorinator, and an approriate primary flow transmitter, tied together in a system called "Compound-loop Control", give automatic control of residual. This closed-loop system maintains any desired residual, regardless of variations in flow or chlorine requirement. The system also cuts treatment costs and monitors plant operation. The 24-hour residual charts, water flow charts, and chlorine flow records are often acceptable to helath authorities as evidence of chlorine applied.

PENNWALT
WALLACE & TIERNAN
MEASUREMENT

FEATURES

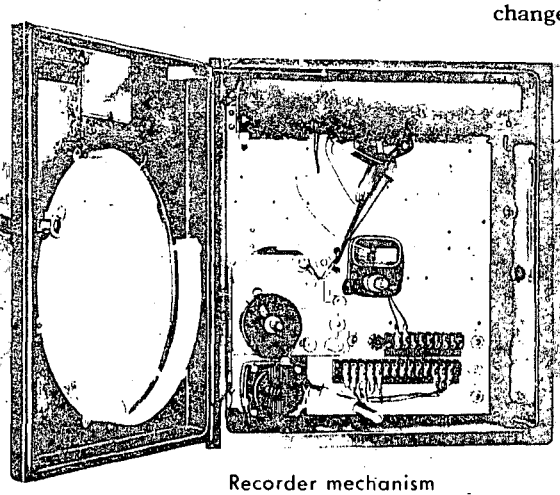
ACCURATE Precise control of sample variables (pressure , flow, pH, and temperature) assures accurate residual analysis. A diaphragm-type differential regulator keeps flow and pressure constant. An adjustable transistor pulse pump meters a set amount of buffer solution to keep pH constant. An optional thermistor compensates for sample temperature changes. An optional amperometric titrator is used as a calibration standard. It measures residual to the nearest hundredth mg/l. Its accuracy is not affected by interfering substances in the sample.

DEPENDABLE A manual filter provides effective sample filtering. An optional motorized filter for use with flocculated or raw water is also available. Large ports throughout the hydraulic system let sample flow freely, even if it contains moderate amounts of suspended matter. The pulse pump controls buffer feed precisely, eliminates errors caused by pH changes. The stationary measuring and reference electrodes are kept clean by continuous bombardment with grit. The entire electrode surface is always exposed for dependable residual analysis.

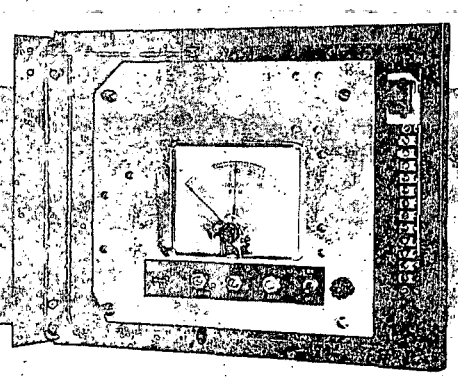
EASY TO MAINTAIN All components are readily accessible. The electrodes show through a clear lucite cell block. The latter is easily cleaned by removing top and bottom plugs held by O-rings. The bottom plug has the electrodes. The hydraulic system is made of corrosion-resistant materials which do not affect the sample. The buffer pump has a transistorized printed circuit and a feed control potentiometer. A sealed cover protects the electronics from corrosion. The pump is easily primed by placing one finger over an opening in the hydraulic system. A glass sight tube allows air to be purged from solution supply lines and doubles as a level indicator for the solution container. Plug-in components and printed circuits simplify recorder maintenance. Transistors reduce power consumed and heat given off, lengthen operating life.

FAST AND SENSITIVE Sensitivity of the W&T Residual Analyzer is 0.01 mg/l. Speed of response is 10 seconds from the time sample enters the analyzer.

CONVENIENT The W&T Analyzer occupies less than 3 square feet of floor space. The analyzing unit and the readouts are in moisture-proof, fiber-glass cases. The recorder-controller arrangement can be used to record residuals, control chlorinator output, and actuate alarms, all at the same time. Pneumatic, dc voltage, or pulse duration signals may be used for chlorinator control. Installation is mostly piping and electricity, requires no major changes in plant or equipment.



Recorder mechanism



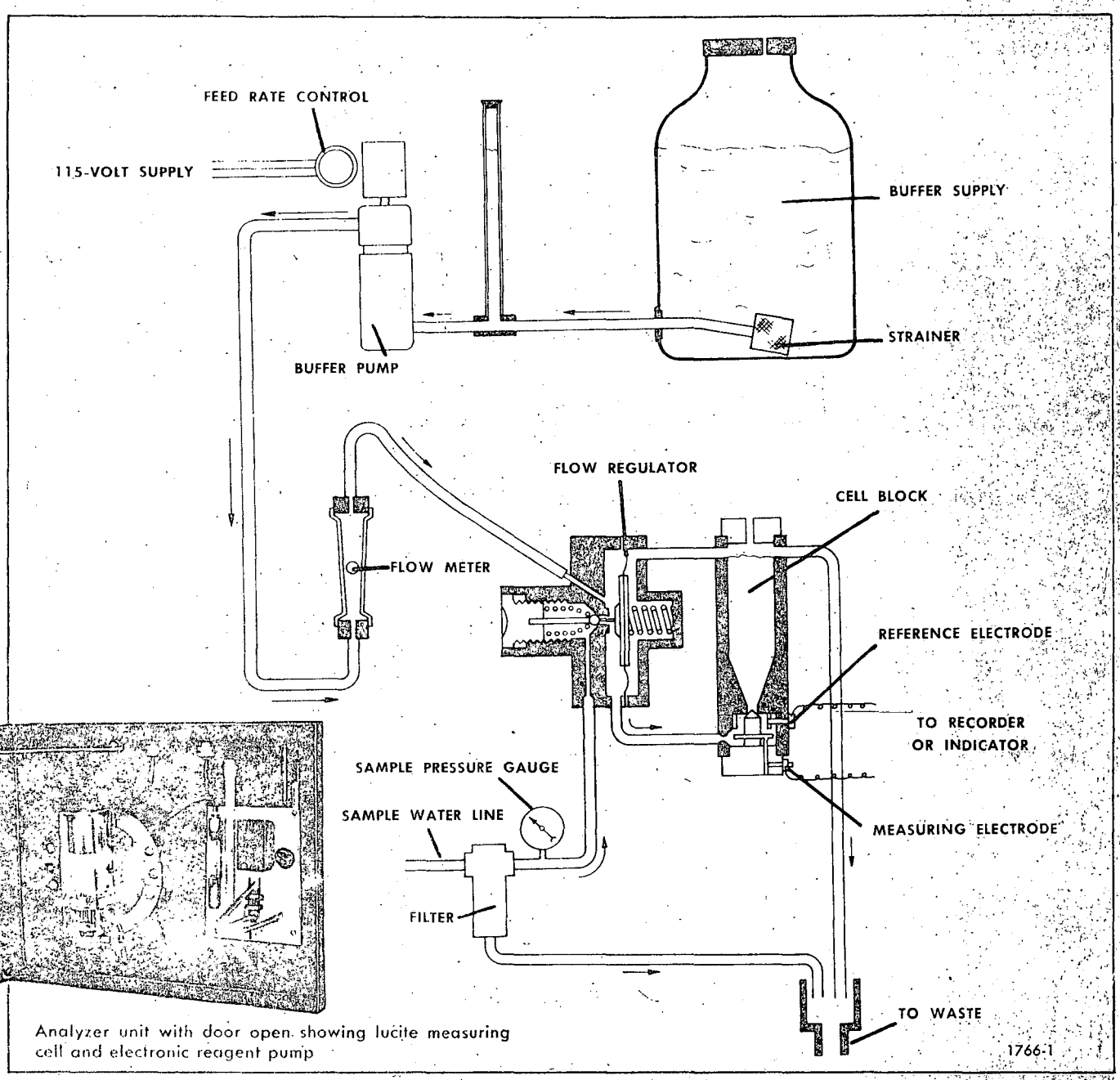
Indicator unit with door open

OPERATION

A continuous sample of chlorinated water is delivered to the analyzing unit. It is filtered and a diaphragm-type regulator controls flow to about 360 ml per minute. This regulator maintains a constant differential across the fixed orifice just before the electrodes. Thus, sample flow rate is held constant. Sample pressure to the unit can be between 5 and 60 psi.

At the regulator, sample is stabilized by the addition of a small, but constant, amount of buffer. Buffer is metered by the transistor pulse pump, which has an infinite range of 0 to 1 ml per minute. The average requirement is about 1 quart of buffer per week. Buffered sample passes to the cell block.

This clear lucite cell block contains the platinum measuring and copper reference electrodes. Grit, placed in the cell and carried by sample velocity, bombards the electrodes to



Analyzer unit with door open showing lucite measuring cell and electronic reagent pump

keep them clean. As sample flows past the electrodes and out the top of the cell, a direct current is generated. This current is proportional to free residual in the sample. It is transmitted to the recorder or indicator.

If a Series A-767 Recorder (or Indicator), it is a dc recording microammeter. Its pen is driven to a position proportional to current from the electrodes. Accurate recording is the result of a balance between this current and a slide-wire current. The recorder has zero and span adjustments, and manual temperature adjustment. Automatic temperature compensation is optional.

If the readout is an A-780 Indicator, it contains a sensitive microammeter calibrated in mg/l. For accurate indication, this meter is in series with the sensing elements. It has zero and span adjustments, and manual temperature compensation only.

To measure total residual, potassium iodide is added to the sample. It reacts with the total residual to liberate free iodine. The free iodine produces a current proportional to total residual at the electrodes. This current is transmitted to the readout.

FUNCTIONS

Recording. Series A-767 Recorder is available in five standard ranges, 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l. Residual is recorded in mg/l on 24-hour or 7-day circular charts. Circuits and interrupters are easily added when this recorder is to control a chlorinator and/or actuate alarms. Circuits for transmission to remote receivers are also easily added.

Indicating. Series A-767 Indicator is available in ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l. Circuits are easily added for transmission, control and/or alarm actuation.

Series A-780 Indicator is available in ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l. It transmits a 0-10 mV dc signal proportional to reading. It will indicate, indicate and control, or indicate and actuate alarms. It will not control and actuate alarms at the same time.

Transmission. For split installations, the analyzing unit and its readout may be located in different parts of a plant.

Also, residual readings may be transmitted to suitable receivers. A W&T Transmitter may be built into the A-767 Recorder or Indicator to provide a 0 to 10 volt dc signal proportional to pen position. A pneumatic transmitter gives a 3 to 15 psi signal proportional to pen position. A pulse-duration transmitter has a switch which opens and closes once during a 12-second cycle. Closed portion of the cycle is proportional to pen position. Other cycles available.

In the A-780 Indicator, a 0 to 10 millivolt dc transmitter is standard.

Receivers. Series A-767 Remote Recorder receives a 0 to 10 volt dc signal which duplicates the recording on the master recorder. An indicating scale and pointer can be added. This recorder can be adapted for remote residual control.

Series A-767 Remote Indicator receives a 0 to 10 volt dc signal which duplicates the reading on the master recorder. This indicator can be adapted for remote residual control.

Alarms. Wallace & Tiernan Alarms, at or remote from the recorder or indicator, are operated from high and low contacts in these units. When residual deviates beyond the set limits, a warning light and an audible alarm are activated. The latter may be switched off, but the light stays on until the difficulty is remedied.

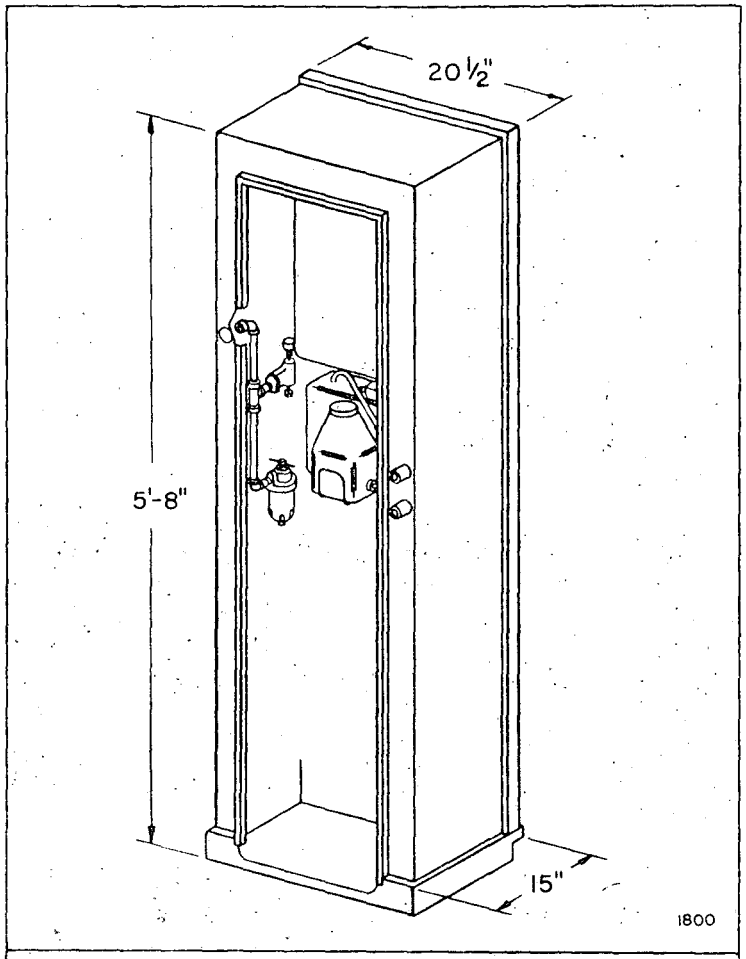
ARRANGEMENTS AND OPTIONS

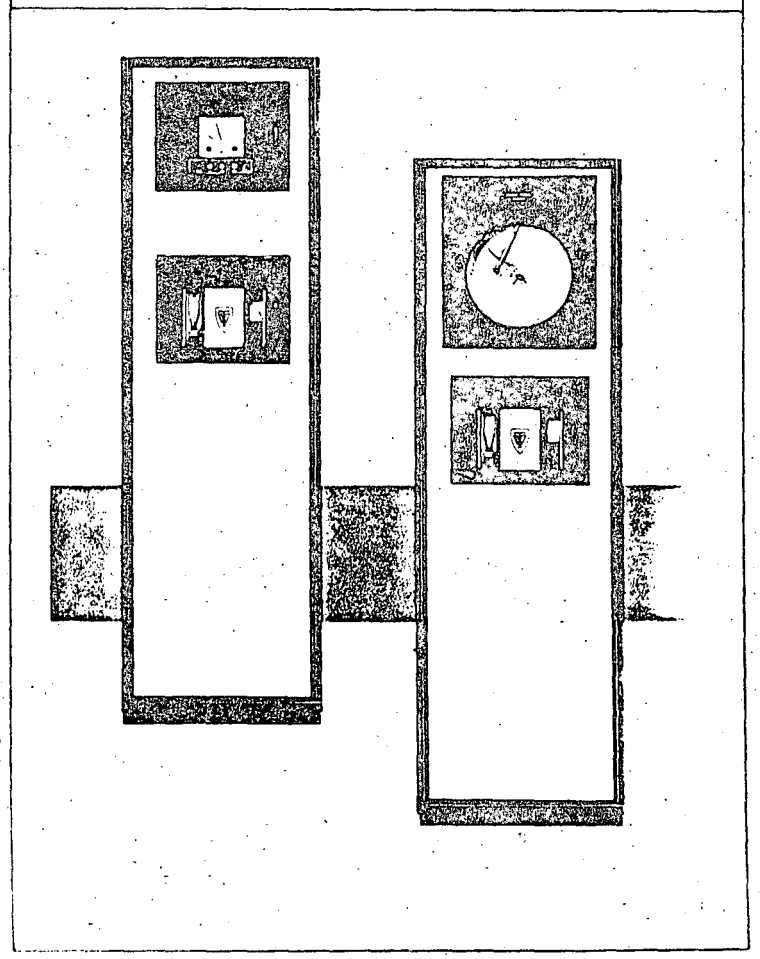
ARRANGEMENT:	A-767 RECORDER	A-767 INDICATOR	A-780 INDICATOR
chlorinator control	electric pneumatic	electric pneumatic	electric (but not with alarms)
proportional signal transmitted	0-10 volt, dc 3-15 psi pulse duration	0-10 volt, dc 3-15 psi pulse duration	0-10 millivolt dc only
remote receivers	A-767 duplicating recorder A-767 duplicating indicator commercial receiver	A-767 duplicating recorder A-767 duplicating indicator commercial receiver	commercial millivolt receiver
alarms	electric from high and low contacts	electric from high and low contacts	electric from high and low contacts (but not with control)
temperature compensation	manual automatic	manual automatic	manual only

SHORT DESCRIPTION

The Wallace & Tiernan Residual Chlorine Analyzer amperometrically analyzes a continuous sample of treated water for free or total chlorine residual. It reads out this residual on a recorder or an indicator. Maximum operating range is 0-20 mg/l. A residual change of 0.01 mg/l registers 10 seconds after sample enters. The instrument consists of an analyzing unit and a recorder or an indicator. These are in moisture-proof, fiber glass cases which may be mounted together in a modular cabinet or supplied separately for control panel mounting. They may be fitted with components for chlorinator control, transmission to remote readouts, and alarm actuation. The analyzing unit consists of a diaphragm-type differential flow regulator to control sample flow. An electronic pulse pump, with flow indication and a rate-setting adjustment, meters buffer into the sample. Two stationary electrodes, in a clear lucite cell block, are continuously cleaned by grit bombardment. These electrodes produce a direct current proportional to residual chlorine in the water sample. This current drives the recorder pen to a position proportional to residual for recording on 24-hour or 7-day circular charts. The recorder is fitted with high and low contacts to control chlorinator output and actuate alarms. The recorder may be fitted with built-in transmitters to provide a 0 to 10 volt dc signal, a 12-second pulse duration signal, or a 3-15 psi signal for remote duplicate recording, indicating, or control. An indicator may be substituted for the recorder. It has similar control and alarm functions and the same built-in transmitters. Or, a second indicator may be substituted. It will control a chlorinator or actuate alarms, but not both. It transmits a 0-10 millivolt dc signal only.

DIMENSIONS





type of measurement	Amperometric. The free or total residual chlorine in treated water is continuously measured and recorded or indicated on an appropriate readout.
sensitivity	0.01 mg/l (ppm).
speed of response	Registers a residual change within 10 seconds after sample enters the analyzer.
recorder	The Series A-767 Recorder is a dc recording microammeter. It records free or total residual on 24-hour circular charts. Charts available for ranges of 0-1, 0-2, 0-5, 0-10, and 0-20 mg/l. 7-day chart and chart drive optional. Can be adapted to perform control, alarm actuation, and signal transmission functions simultaneously.
indicator	An indicator, Series A-767, with the same standard ranges and functions as the above recorder may be substituted for it. Another indicator, Series A-780, with the same ranges, is available. It may be used for alarm actuation or chlorinator control, but not both at the same time. It transmits a 0-10 millivolt dc signal.
sample water requirements	1 to 2 gpm at 5 to 60 psi at the analyzer. If sample line is long, a greater flow—part of which bypasses to waste—will prevent lag in readings.
electrical requirements	115-volt, 50 or 60 Hz, 1 ph supply.
power consumption	Recorder or indicator and analyzing unit, 65 watts; pulse duration or dc transmitter, 5 watts; recorder control components, 15 watts; filter motor, 40 watts; remote duplicating recorder or remote indicator, 25 watts.
installation	Pipe sample water to the analyzing cell; provide a drain for sample waste; plug the analyzing unit and recorder or indicator into a 115-volt outlet.
drain	A floor drain or hose for sample waste.
mounting	Analyzing unit with recorder or indicator in a modular cabinet or supplied separately for wall or control-panel mounting.
recommended accessories	A Wallace & Tiernan Amperometric Titrator for calibrating and checking.
standard accessories	400 charts, ink, pen cleaner, 4 gal of buffer, thermometer, grit, pH papers, and drain hose. Instructions for installation, operation, and maintenance. Sample line connection—but not the sample line or pump.
optional accessories	Lock for recorder door and any transmitter, recorder, or indicator described under "Arrangements" above. To operate a remote recorder or indicator, the master recorder must contain a transmitting circuit. This is not included in the basic unit, but may be added at any time. Motorized filter for flocculated or raw water.
equipment furnished	Items such as piping and wiring are included with the residual analyzer only as specifically listed in a quotation.
shipping weights	Analyzer unit, 65 lb; recorder, 85 lb; indicator, 100 lb; modular cabinet, 220 lb.

SERVICE AND REFERENCES

Prompt service is available from offices in principal cities. Additional data, such as dimension sheets, typical arrangements, and auxiliary controls are available in other publications.

Progressive changes in design may be made without prior announcement.

WALLACE & TIERNAN DIVISION
25 MAIN STREET, BELLEVILLE, NEW JERSEY 07109

Printed in USA

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

A N E X O S

ING. W. N. WELLS

Septiembre de 1978.

A P P E N D I X

VOLATILE ACIDS ON DIGESTING SLUDGE

B. Distillation Method (Tentative)

1. General Discussion

For control purposes the following short method is often applicable. The method is quite empirical and should be carried out exactly as described. It is not intended for accurate work. It is assumed that only 70 per cent of the volatile acids will be found in the distillate, and this is corrected for in the computations. However, this factor has been found to vary from 68 to 85 per cent, depending on the nature of the acids and the rate of distillation.

2. Apparatus

2.1. *Centrifuge,* with head to carry four 50-ml tubes or 250-ml bottles.

2.2. *Distillation flask,* 500-ml capacity.

2.3. *Condenser,* about 30 in. in length.

2.4. *Adapter tube.*

3. Reagents

3.1. *Sulfuric acid,* 1 + 1.

3.2. *Standard sodium hydroxide solution,* 0.1*N*. Prepare as directed in Part I, Acidity, Sec. 3.

3.3. *Phenolphthalein indicator solution.* Prepare as in Method A, Sec. 3.6.

4. Procedure

Centrifuge 200 ml of sample for 5 min. Pour off and combine the supernatant liquors. Place 100 ml of the supernatant liquor in a 500-ml distillation flask. Add 100 ml water, 4–5 clay chips or similar material to prevent bumping, and 5 ml H_2SO_4. Mix so that the acid does not remain on the bottom of the flask. Connect the flask to a condenser and adapter tube and distill at the rate of about 5 ml per min. Collect 150 ml of distillate in a 250-ml conical flask and titrate with 0.1*N* NaOH, using phenolphthalein as an indicator. The endpoint is the first pink coloration which persists on standing a short time. Titration at 95°C produces a stable endpoint.

5. Calculation

mg/l volatile acids as acetic acid

$$= \frac{\text{ml NaOH} \times 6{,}000}{\text{ml sample} \times 0.7}$$

Bibliography

1. Olmstead, W. H.; Whitaker, W. M.; & Duden, C. W. Steam Distillation of the Lower Volatile Fatty Acids From a Saturated Salt Solution. *J. Biol. Chem.* 85:109 (1929–1930).
2. Olmstead, W. H., et al. A Method for the Rapid Distillation of the Lower Volatile Fatty Acids From Stools. *J. Biol. Chem.* 85:115 (1929–1930).
3. *Illinois State Water Survey Bull.* 30:76 (1930).
4. Osburn, O. L.; Wood, H. G.; & Werkman, C. H. Determination of Volatile Fatty Acids by the Partition Method. *Ind. Eng. Chem., Anal. Ed.* 8:270 (1936).
5. Heukelekian, H. & Kaplovsky, A. J. Improved Method of Volatile-Acid Recovery From Sewage Sludges. *Sew. Works J.* 21:974 (1949).
6. Kaplovsky, A. J. Volatile-Acid Production During the Digestion of Seeded, Unseeded, and Limed Fresh Solids. *Sew. Ind. Wastes* 23:713 (1951).

TABLES OF CONVERSION FACTORS FOR ENGINEERS

Data are arranged alphabetically.

Unless designated otherwise, the English measures of capacity are those used in the United States, and the units of weight and mass are avoirdupois units.

The word gallon, used in any conversion factor, designates the U. S. gallon. To convert into the Imperial gallon, multiply the U. S. gallon by 0.83267. Likewise, the word ton designates a short ton, 2,000 pounds.

The figures 10^{-1}, 10^{-2}, 10^{-3}, etc. denote 0.1, 0.01, 0.001, etc. respectively.

The figures 10^{1}, 10^{2}, 10^{3}, etc. denote 10, 100, 1000, etc. respectively.

With respect to the properties of water, it freezes at 32°F., and is at its maximum density at 39.2°F. In the conversion factors given below using the properties of water, calculations are based on water at 39.2°F. in vacuo, weighing 62.427 pounds per cubic foot, or 8.345 pounds per U. S. gallon.

"Parts Per Million," designated as P.P.M., is always by weight and is simply a more convenient method of expressing concentration, either dissolved or undissolved material. Usually P.P.M. is used where percentage would be so small as to necessitate several ciphers after the decimal point, as one part per million is equal to 0.0001 per cent.

As used in the Sanitary field, P.P.M. represents the number of pounds of dry solids contained in one million pounds of water, including solids. In this field, one part per million may be expressed as 8.345 pounds of dry solids to one million U. S. gallons of water. In the Metric system, one part per million may be expressed as one gram of dry solids to one million grams of water, or one milligram per liter.

In arriving at parts per million by means of pounds per million gallons or milligrams per liter, it may be mentioned that the density of the solution or suspension has been neglected and if this is appreciably different from unity, the results are slightly in error.

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Acres	43,560	Square feet
"	4047	Square meters
"	1.562×10^{-3}	Square miles
"	4840	Square yards
Acre-feet	43,560	Cubic feet
" "	325,851	Gallons
" "	1233.49	Cubic meters
Atmospheres	76.0	Cms. of mercury
"	29.92	Inches of mercury
"	33.90	Feet of water
"	10,333	Kgs./sq. meter
"	14.70	Lbs./sq. inch
"	1.058	Tons/sq. ft.
Barrels–oil	42	Gallons–oil
" –cement	376	Pounds–cement
Bags or sacks–cement	94	Pounds–cement
Board-feet	144 sq. in. x 1 in.	Cubic inches
British Thermal Units	0.2520	Kilogram–calories
" " "	777.5	Foot-lbs.
" " "	3.927×10^{-4}	Horse-power-hrs.
" " "	107.5	Kilogram-meters
" " "	2.928×10^{-4}	Kilowatt-hrs.
B.T.U./min	12.96	Foot-lbs./sec.
" / "	0.02356	Horse-power
" / "	0.01757	Kilowatts
" / "	17.57	Watts
Centares (Centiares)	1	Square meters
Centigrams	0.01	Grams
Centiliters	0.01	Liters
Centimeters	0.3937	Inches
"	0.01	Meters
"	10	Millimeters
Centimtrs. of mercury	0.01316	Atmospheres
" " "	0.4461	Feet of water
" " "	136.0	Kgs./sq. meter
" " "	27.85	Lbs./sq. ft.
" " "	0.1934	Lbs./sq. inch

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Centimeters/second	1.969	Feet/min.
" / "	0.03281	Feet/sec.
Centimeters/second	0.036	Kilometers/hr.
" / "	0.6	Meters/min.
" / "	0.02237	Miles/hr.
" / "	3.728×10^{-4}	Miles/min.
Cms./sec./sec.	0.03281	Feet/sec./sec.
Cubic centimeters	3.531×10^{-5}	Cubic feet
" "	6.102×10^{-2}	Cubic inches
" "	10^{-6}	Cubic meters
" "	1.308×10^{-6}	Cubic yards
" "	2.642×10^{-4}	Gallons
" "	10^{-3}	Liters
" "	2.113×10^{-3}	Pints (liq.)
" "	1.057×10^{-3}	Quarts (liq.)
Cubic feet	2.832×10^{4}	Cubic cms.
" "	1728	Cubic inches
" "	0.02832	Cubic meters
" "	0.03704	Cubic yards
" "	7.48052	Gallons
" "	28.32	Liters
" "	59.84	Pints (liq.)
" "	29.92	Quarts (liq.)
Cubic feet/minute	472.0	Cubic cms./sec.
" " / "	0.1247	Gallons/sec.
" " / "	0.4720	Liters/sec.
" " / "	62.43	Pounds of water/min.
Cubic feet/second	0.646317	Million gals./day
" " / "	448.831	Gallons/min.
Cubic inches	16.39	Cubic centimeters
" "	5.787×10^{-4}	Cubic feet
" "	1.639×10^{-5}	Cubic meters
" "	2.143×10^{-5}	Cubic yards
" "	4.329×10^{-3}	Gallons
" "	1.639×10^{-2}	Liters
" "	0.03463	Pints (liq.)
" "	0.01732	Quarts (liq.)

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Cubic meters	10^{6}	Cubic centimeters
" "	35.31	Cubic feet
" "	61,023	Cubic inches
" "	1.308	Cubic yards
" "	264.2	Gallons
Cubic meters	10^{3}	Liters
" "	2113	Pints (liq.)
" "	1057	Quarts (liq.)
Cubic yards	7.646×10^{5}	Cubic centimeters
" "	27	Cubic feet
" "	46,656	Cubic inches
" "	0.7646	Cubic meters
" "	202.0	Gallons
" "	764.6	Liters
" "	1616	Pints (liq.)
" "	807.9	Quarts (liq.)
Cubic yards/min	0.45	Cubic feet/sec.
" " / "	3.367	Gallons/sec.
" " / "	12.74	Liters/sec.
Decigrams	0.1	Grams
Deciliters	0.1	Liters
Decimeters	0.1	Meters
Degrees (angle)	60	Minutes
" "	0.01745	Radians
" "	3600	Seconds
Degrees/sec.	0.01745	Radians/sec.
" / "	0.1667	Revolutions/min.
" / "	0.002778	Revolutions/sec.
Dekagrams	10	Grams
Dekaliters	10	Liters
Dekameters	10	Meters
Drams	27.34375	Grains
"	0.0625	Ounces
"	1.771845	Grams
Fathoms	6	Feet
Feet	30.48	Centimeters
"	12	Inches
"	0.3048	Meters
"	1/3	Yards

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Feet of water	0.02950	Atmospheres
" " "	0.8826	Inches of mercury
" " "	304.8	Kgs./sq.meter
" " "	62.43	Lbs./sq.ft.
" " "	0.4335	Lbs./sq.inch
Feet/min.	0.5080	Centimeters/sec.
" / "	0.01667	Feet/sec.
" / "	0.01829	Kilometers/hr.
" / "	0.3048	Meters/min.
" / "	0.01136	Miles/hr.
Feet/sec.	30.48	Centimeters/sec.
" / "	1.097	Kilometers/hr.
" / "	0.5921	Knots
" / "	18.29	Meters/min.
" / "	0.6818	Miles/hr.
" / "	0.01136	Miles/min.
Feet/sec./sec	30.48	Cms./sec./sec.
" / " / "	0.3048	Meters/sec./sec.
Foot-pounds	1.286×10^{-3}	British Thermal Units
" "	5.050×10^{-7}	Horse-power-hrs.
" "	3.241×10^{-4}	Kilogram-calories
" "	0.1383	Kilogram-meters
" "	3.766×10^{-7}	Kilowatt-hrs.
Foot-pounds/min.	1.286×10^{-3}	B. T. Units/min.
" " / "	0.01667	Foot-pounds/sec.
" " / "	3.030×10^{-5}	Horse-power
" " / "	3.241×10^{-4}	Kg.-calories/min.
" " / "	2.260×10^{-5}	Kilowatts
Foot-pounds/sec.	7.717×10^{-2}	B. T. Units/min.
" " / "	1.818×10^{-3}	Horse-power
" " / "	1.945×10^{-2}	Kg.-calories/min.
" " / "	1.356×10^{-3}	Kilowatts
Gallons	3785	Cubic centimeters
"	0.1337	Cubic feet
"	231	Cubic inches
"	3.785×10^{-3}	Cubic meters
"	4.951×10^{-3}	Cubic yards
"	3.785	Liters
"	8	Pints (liq.)
"	4	Quarts (liq.)

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Gallons, Imperial	1.20095	U.S. gallons
" U.S.	0.83267	Imperial gallons
Gallons water	8.3453	Pounds of water
Gallons/min.	2.228×10^{-3}	Cubic feet/sec.
" / "	0.06308	Liters/sec.
" / "	8.0208	Cu. ft./hr.
" / "	8.0208 / Area (sq. ft.)	Overflow rate (ft./hr.)
Gallons water/min.	6.0086	Tons water/24 hrs.
Grains (troy)	1	Grains (avoir.)
" "	0.06480	Grams
" "	0.04167	Pennyweights (troy)
" "	2.0833×10^{-2}	Ounces (troy)
Grains/U.S. gal.	17.118	Parts/million
" /U.S. gal.	142.86	Lbs./million gal.
" /Imp. gal.	14.286	Parts/million
Grams	980.7	Dynes
"	15.43	Grains
"	10^{-3}	Kilograms
"	10^{3}	Milligrams
"	0.03527	Ounces
"	0.03215	Ounces (troy)
"	2.205×10^{-3}	Pounds
Grams/cm.	5.600×10^{-3}	Pounds/inch
Grams/cu. cm.	62.43	Pounds/cubic foot
" / " "	0.03613	Pounds/cubic inch
Grams/liter	58.417	Grains/gal.
" / "	8.345	Pounds/1000 gals.
" / "	0.062427	Pounds/cubic foot
" / "	1000	Parts/million
Hectares	2.471	Acres
"	1.076×10^{5}	Square feet
Hectograms	100	Grams
Hectoliters	100	Liters
Hectometers	100	Meters
Hectowatts	100	Watts

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Horse-power	42.44	B.T. Units/min.
" "	33,000	Foot-lbs. min.
" "	550	Foot-lbs. sec.
" "	1.014	Horse-power (metric)
" "	10.70	Kg.-calories/min.
" "	0.7457	Kilowatts
" "	745.7	Watts
Horse-power (boiler)	33.479	B.T.U./hr.
" " "	9.803	Kilowatts
Horse-power-hours	2547	British Thermal Units
" " "	1.98×10^6	Foot-lbs.
" " "	641.7	Kilogram-calories
" " "	2.737×10^5	Kilogram-meters
" " "	0.7457	Kilowatt-hours
Inches	2.540	Centimeters
Inches of mercury	0.03342	Atmospheres
" " "	1.133	Feet of water
" " "	345.3	Kgs./sq. meter
" " "	70.73	Lbs. sq. ft.
" " "	0.4912	Lbs. sq. inch
Inches of water	0.002458	Atmospheres
" " "	0.07355	Inches of mercury
" " "	25.40	Kgs./sq. meter
" " "	0.5781	Ounces, sq. inch
" " "	5.202	Lbs./sq. foot
" " "	0.03613	Lbs./sq. inch
Kilograms	980,665	Dynes
"	2.205	Lbs.
"	1.102×10^{-3}	Tons (short)
"	10^3	Grams
Kilograms-calories	3.968	British Thermal Unit
" "	3086	Foot-pounds
" "	1.558×10^{-3}	Horse-power-hours
" "	1.162×10^{-3}	Kilowatt-hours
Kilogram-calories/min.	51.43	Foot-pounds/sec.
" " / "	0.09351	Horse-power
" " / "	0.06972	Kilowatts
Kgs./meter	0.6720	Lbs./foot

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Kgs./sq. meter	9.678×10^{-5}	Atmospheres
" " "	3.281×10^{-3}	Feet of water
" " "	2.896×10^{-3}	Inches of mercury
" " "	0.2048	Lbs. sq. foot
" " "	1.422×10^{-3}	Lbs. sq. inch
Kgs./sq. millimeter	10^6	Kgs./sq. meter
Kiloliters	10^3	Liters
Kilometers	10^5	Centimeters
"	3281	Feet
"	10^3	Meters
"	0.6214	Miles
"	1094	Yards
Kilometers/hr.	27.78	Centimeters/sec.
" / "	54.68	Feet/min.
" / "	0.9113	Feet/sec.
" / "	0.5396	Knots
" / "	16.67	Meters/min.
" / "	0.6214	Miles/hr.
Kms./hr./sec.	27.78	Cms./sec./sec.
" / " / "	0.9113	Ft./sec./sec.
" / " / "	0.2778	Meters/sec./sec.
Kilowatts	56.92	B.T. Units/min.
"	4.425×10^4	Foot-lbs./min.
"	737.6	Foot-lbs./sec.
"	1.341	Horse-power
"	14.34	Kg.-calories/min.
"	10^3	Watts
Kilowatt-hours	3415	British Thermal Units
" "	2.655×10^6	Foot-lbs.
" "	1.341	Horse-power-hrs.
" "	860.5	Kilogram-calories
" "	3.671×10^5	Kilogram-meters
Liters	10^3	Cubic centimeters
"	0.03531	Cubic feet
"	61.02	Cubic inches
"	10^{-3}	Cubic meters
"	1.308×10^{-3}	Cubic yards
"	0.2642	Gallons
"	2.113	Pints (liq.)
"	1.057	Quarts (liq.)

L/sec. 0.0228 M.G.D.

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Liters/min.	5.886×10^{-4}	Cubic ft.-sec.
" / "	4.403×10^{-3}	Gals./sec.
Lumber $\frac{\text{Width (in.)} \times \text{Thickness (in.)}}{12}$	Length (ft)	Board Feet
Meters	100	Centimeters
"	3.281	Feet
"	39.37	Inches
"	10^{-3}	Kilometers
"	10^{3}	Millimeters
"	1.094	Yards
Meters/min.	1.667	Centimeters/sec.
" / "	3.281	Feet/min.
" / "	0.05468	Feet/sec.
" / "	0.06	Kilometers/hr.
" / "	0.03728	Miles/hr.
Meters/sec.	196.8	Feet/min.
" / "	3.281	Feet/sec.
" / "	3.6	Kilometers/hr.
" / "	0.06	Kilometers/min.
" / "	2.237	Miles/hr.
" / "	0.03728	Miles/min.
Microns	10^{-6}	Meters
Miles	1.609×10^{5}	Centimeters
"	5280	Feet
"	1.609	Kilometers
"	1760	Yards
Miles/hr.	44.70	Centimeters/sec.
" / "	88	Feet/min.
" / "	1.467	Feet/sec.
" / "	1.609	Kilometers/hr.
" / "	0.8684	Knots
" / "	26.82	Meters/min.
Miles/min.	2682	Centimeters/sec.
" / "	88	Feet/sec.
" / "	1.609	Kilometers/min.
" / "	60	Miles/hr.
Milliers	10^{3}	Kilograms
Milligrams	10^{-3}	Grams
Milliliters	10^{-3}	Liters

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Millimeters	0.1	Centimeters
"	0.03937	Inches
Milligrams/liter	1	Parts/million
Million gals./day	1.54723	Cubic ft./sec.
Miner's inches	1.5	Cubic ft./min.
Minutes (angle)	2.909×10^{-4}	Radians
Ounces	16	Drams
"	437.5	Grains
"	0.0625	Pounds
"	28.349527	Grams
"	0.9115	Ounces (troy)
"	2.790×10^{-5}	Tons (long)
"	2.835×10^{-5}	Tons (metric)
Ounces, troy	480	Grains
" "	20	Pennyweights (troy)
" "	0.08333	Pounds (troy)
" "	31.103481	Grams
" "	1.09714	Ounces, avoir.
Ounces (fluid)	1.805	Cubic inches
" "	0.02957	Liters
Ounces/sq. inch	0.0625	Lbs./sq. inch
Overflow rate (ft./hr.)	0.12468 x area (sq. ft.)	Gals./min.
$\frac{1}{\text{Overflow rate (ft./hr.)}}$	8.0208	Sq. ft./gal./min.
Parts/million	0.0584	Grains/U.S. gal.
" / "	0.07016	Grains/Imp. gal.
" / "	8.345	Lbs./million gal.
Pennyweights (troy)	24	Grains
" "	1.55517	Grams
" "	0.05	Ounces (troy)
" "	4.1667×10^{-3}	Pounds (troy)
Pounds	16	Ounces
"	256	Drams
"	7000	Grains
"	0.0005	Tons (short)
"	453.5924	Grams
"	1.21528	Pounds (troy)
"	14.5833	Ounces (troy)

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Pounds (troy)	5760	Grains
" "	240	Pennyweights (troy)
" "	12	Ounces (troy)
" "	373.24177	Grams
" "	0.822857	Pounds (avoir.)
" "	13.1657	Ounces (avoir.)
" "	3.6735×10^{-4}	Tons (long)
" "	4.1143×10^{-4}	Tons (short)
" "	3.7324×10^{-4}	Tons (metric)
Pounds of water	0.01602	Cubic feet
" " "	27.68	Cubic inches
" " "	0.1198	Gallons
Pounds of water/min.	2.670×10^{-4}	Cubic ft./sec.
Pounds/cubic foot	0.01602	Grams/cubic cm.
" / " "	16.02	Kgs./cubic meter
" / " "	5.787×10^{-4}	Lbs./cubic inch
Pounds/cubic inch	27.68	Grams/cubic cm.
" / " "	2.768×10^{4}	Kgs./cubic meter
" / " "	1728	Lbs./cubic foot
Pounds/foot	1.488	Kgs./meter
Pounds/inch	178.6	Grams/cm.
Pounds/sq. foot	0.01602	Feet of water
" / " "	4.883	Kgs./sq. meter
" / " "	6.945×10^{-3}	Pounds/sq. inch
Pounds/sq. inch	0.06804	Atmospheres
" / " "	2.307	Feet of water
" / " "	2.036	Inches of mercury
" / " "	703.1	Kgs./sq. meter
Quadrants (angle)	90	Degrees
" "	5400	Minutes
" "	1.571	Radians
Quarts (dry)	67.20	Cubic inches
Quarts (liq.)	57.75	Cubic inches
Quintal, Argentine	101.28	Pounds
" Brazil	129.54	Pounds
" Castile, Peru	101.43	Pounds
" Chile	101.41	Pounds
" Mexico	101.47	Pounds
" Metric	220.46	Pounds

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Quires	25	Sheets
Radians	57.30	Degrees
"	3438	Minutes
"	0.637	Quadrants
Radians/sec.	57.30	Degrees/sec.
" / "	0.1592	Revolutions/sec.
" / "	9.549	Revolutions/min.
Radians/sec./sec.	573.0	Revolutions/min/min.
" / " / "	0.1592	Revolutions/sec./sec.
Reams	500	Sheets
Revolutions	360	Degrees
"	4	Quadrants
"	6.283	Radians
Revolutions/min.	6	Degrees/sec.
" / "	0.1047	Radians/sec.
" / "	0.01667	Revolutions/sec.
Revolutions/min./min.	1.745×10^{-3}	Rads./sec./sec.
" / " / "	2.778×10^{-4}	Revs./sec./sec.
Revolutions/sec.	360	Degrees/sec.
" / "	6.283	Radians/sec.
" / "	60	Revolutions/min.
Revolutions/sec./sec.	6.283	Radians/sec./sec.
" / " / "	3600	Revolutions/min/min.
Seconds (angle)	4.848×10^{-6}	Radians
Square centimeters	1.076×10^{-3}	Square feet
" "	0.1550	Square inches
" "	10^{-4}	Square meters
" "	100	Square millimeters
Square feet	2.296×10^{-5}	Acres
" "	929.0	Square centimeters
" "	144	Square inches
" "	0.09290	Square meters
" "	3.587×10^{-8}	Square miles
" "	1/9	Square yards
$\frac{1}{\text{Sq. ft./gal./min.}}$	8.0208	Overflow rate (ft./hr.)

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Square inches	6.452	Square centimeters
" "	6.944×10^{-3}	Square feet
" "	645.2	Square millimeters
Square kilometers	247.1	Acres
" "	10.76×10^{6}	Square feet
" "	10^{6}	Square meters
" "	0.3861	Square miles
" "	1.196×10^{6}	Square yards
Square meters	2.471×10^{-4}	Acres
" "	10.76	Square feet
" "	3.861×10^{-7}	Square miles
" "	1.196	Square yards
Square miles	640	Acres
" "	27.88×10^{6}	Square feet
" "	2.590	Square kilometers
" "	3.098×10^{6}	Square yards
Square millimeters	0.01	Square centimeters
" "	1.550×10^{-3}	Square inches
Square yards	2.066×10^{-4}	Acres
" "	9	Square feet
" "	0.8361	Square meters
" "	3.228×10^{-7}	Square miles
Temp. (°C.) + 273	1	Abs. temp. (°C.)
" " + 17.78	1.8	Temp. (°F.)
" (°F.) + 460	1	Abs. temp. (°F.)
" " − 32	5/9	Temp. (°C.)
Tons (long)	1016	Kilograms
" "	2240	Pounds
" "	1.12000	Tons (short)
Tons (metric)	10^{3}	Kilograms
" "	2205	Pounds
Tons (short)	2000	Pounds
"	32000	Ounces
" "	907.18486	Kilograms

CONVERSION FACTORS

Multiply	*By*	*To Obtain*
Tons (short)	2430.56	Pounds (troy)
" "	0.89287	Tons (long)
" "	29166.66	Ounces (troy)
" "	0.90718	Tons (metric)
1 / Area (sq. ft.)		Sq.ft./ton/24 hrs.
Tons dry solids/24 hrs.		
Tons of water/24 hrs.	83.333	Pounds water/hour
" " " / "	0.16643	Gallons/min.
" " " / "	1.3349	Cu. ft./hr.
Watts	0.05692	B. T. Units/min.
"	44.26	Foot-pounds/min.
"	0.7376	Foot-pounds/sec.
"	1.341×10^{-3}	Horse-power
"	0.01434	Kg.-calories/min.
"	10^{-3}	Kilowatts
Watt-hours	3.415	British Thermal Units
"	2655	Foot-pounds
"	1.341×10^{-3}	Horse-power-hours
"	0.8605	Kilogram-calories
"	367.1	Kilogram-meters
"	10^{-3}	Kilowatt-hours
Yards	91.44	Centimeters
"	3	Feet
"	36	Inches
"	0.9144	Meters

Quick Diagnosis of Motor Ailments

INSPECTION at regular intervals and full use of testing instruments are chapter and verse of efficient motor maintenance.

And *between* inspections, alertness to the first signs of motor ailments can nip a great deal of trouble in the bud. Common trouble symptoms—for which it pays to be on the lookout—are listed below.

Remember, if you lack the time or facilities to handle your own inspection and service properly—or if your motors fail to respond to your own servicing—it is best to consult a reputable motor service shop.

It is cheaper to take care of your motors than to replace them.

SYMPTOMS YOU CAN *SEE*

Symptom	Possible Causes	Cure
1. Excessive sparking or flashing at brushes. Blackened commutator.	Rough commutator.	Sand or turn down, depending on depth of surface roughness.
	Low bar on commutator.	Grind or turn down balance of commutator.
	High bar on commutator.	If extreme, lower with mallet . . . tightening clamping ring. Grind true.
	High mica.	Undercut.

Symptom	Possible Causes	Cure
Continued 1. Excessive sparking or flashing at brushes. Blackened commutator.	Brushes too short.	Replace—with harder grade — if worn too soon . . . and not by rough commutator. (Sometimes *under-loaded* brushes wear abnormally fast.) Ordinarily, set should last for a minimum of 2,500 hours.
	Insufficient brush tension.	Adjust.
	Weak brush springs.	Replace.
	Brushes sticking in holders.	Free them. Clean brushes and holders.
	Dirt or oil on commutator.	Wipe off. Clean brushes if glazed.
	Water dripping on commutator.	Plug source — or rig shield.
	Shorted armature winding.	Test for short—after removing metallic contact between commutator bars. Repair armature.
2. Intermittent sparking at brushes.	Open armature winding.	Locate and replace bad coil—or repair defective joint.
3. Fine dust under coupling employing rubber buffers or pins.	Misalignment.	Realign set.
4. Smoke, charred insulation, or solder "whiskers" extending from armature.	See item 12, page 23. But if evidence is of *past* over-heating, check for loose soldered connections that might cause future trouble.	

Symptom	Possible Causes	Cure
5. Motor won't start.	Usually line trouble—single-phasing at starter.	Correct. Check source of power supply. *DON'T merely try to make it go — while motor sits there and "fries"!*
	Load too heavy. Disconnect motor to see if it starts without load.	Reduce load — or replace motor with unit of greater capacity.
SYMPTOMS YOU CAN HEAR		
6. Excessive hum.	Uneven air gap. Measure with feelers.	Replace bearings — *before* introduction of scraping noise indicates rotor is rubbing against stator.
	Unbalanced rotor. Check on parallel bars.	Balance with solder on band — or weight attached by cap screw and lock washer.
7. Regular clicking.	Foreign matter in air gap.	Take out rotor; remove matter.
8. Rapid knocking.	Misalignment — probably causing shoulder of shaft to pound periodically against bearing end.	Realign set until knocking disappears.
9. Brush "chatter."	Extreme motor vibration.	See items 10 and 11, below.
SYMPTOMS YOU CAN FEEL		
10. Vibration.	Misalignment.	Realign set.
	Vibration in driven machine. Run motor disconnected for check.	Eliminate source in machine, if possible. Or change to a flexible belt drive may be in order

Symptom	Possible Causes	Cure
11. Vibration — *following motor repair.*	Rotor out of balance, due to holes drilled or weights shifted new rotor coil or coils.	Balance rotor.
12. Motor over-heating. (Check with thermometer—don't depend on hand).	Overload. Measure load; compare with nameplate rating.	Check for excessive friction in motor, drive or machine. Reduce load, or replace motor with unit of greater capacity.
	Dirt in motor. Check flow of ventilating air.	Blow out motor. Use solvent on wound section if necessary.
	Rotor rubbing on stator.	Replace bearings.
	Shorted stator windings.	Test with wattmeter and correct.
	Ground.	Locate with test lamp or growler and repair.
13. Bearing over-heating.	Misalignment.	Realign set. And in this — as in all cases of bearings over-heating— *keep shaft turning* until bearing is cooled . . . to prevent "freezing."
	Too much tension in chain or belt drive.	Reduce tension to point of adequacy.
	Excessive end thrust.	Reduce thrust from drive or machine. (Shaft should be permitted reasonable "axial" float.) Or if motor is off level, shim-up lower end to take thrust off its bearing.

Symptom	Possible Causes	Cure
Continued 13. Bearing over-heating.	Too much grease (ball or roller bearing).	Relieve supply to point set by manufacturer.
	Sticking oil ring (sleeve bearing).	Clean, repair, or replace—as necessary.
	Insufficient lubricant.	Add—up to point set by manufacturer.
14. Commutator hot.	Incorrect grade of brushes.	Replace with proper grade — as specified by manufacturer, unless otherwise indicated.
	Excessive brush pressure.	Decrease brush spring tension.

LUBRICANT FOR GEAR-MOTORS ON PRIMARY AND FINAL CLARIFIERS

SLO-SPEED GEAR MOTORS
RECOMMENDED OILS

GENERAL OIL SPECIFICATIONS

The following oils (or equivalent) are recommended by the respective oil companies They meet the specifications as shown on the decals (Page 3) and serve as a guide in se ecting the proper lubricant for best performance.

OIL FOR STERLING HELICAL GEAR REDUCERS		
MANUFACTURER		FOR OPERATION AT +40°F to +120°F*
ALEMITE CO.		Alemite SR-90
ATLANTIC RICHFIELD OIL CO.		Hytherm Oil H
CHEVRON OIL CO. OF CALIF.		OC Turbin Oil 24
CITIES SERVICE OIL CO.		CITGO Pacemaker
CONTINENTAL OIL CO.		Dectol 76 R & O
FISKE BROS. REF. CO.		Lubriplate No. 4
GULF OIL CO.		Gulf Harmony 69
HOUGHTON & CO.		Hydro-Drive MIH-
HUMBLE OIL & REFINING CO.		Teresstic 65
MOBIL OIL CO.		Mobil Dte Oil BE
PENNZOIL CO.		Pennbell #5
PHILLIPS PETROLEUM CO.		Magnus Oil 700
SHELL OIL CO.		Turbo Oil 41
TEXACO, INC.		Regal Oil G R&O
UNION OIL CO.		Redline Turbine Oil 650

**Approximate SAE equivalent- 30 thru 50 weight

LUBRICANT FOR TRICKLING FILTER DISTRIBUTOR

SIZE	OIL COMPANY	LOWER SEAL AND BEARING	UPPER BEARING
8" or 10" or 15"	Sinclair	Lith. Industrial 2	Lith. Industrial 2
	Mobil	Mobil Grease Special	Mobile Grease Special
	American	Rykon 2	Rykon 2
	Shell	Darina Grease 2	Darina Grease 2

NOTE: ABOVE RECOMMENDED GREASES AND OILS CAN BE SUBSTITUTED WITH OTHERS OF EQUIVALENT CHARACTERISTICS.

LUBRICANTS FOR SPUR AND WORM GEARS FOR PRIMARY AND FINAL CLARIFIERS	SERVICE MANUAL	ISSUED DEC 76
PRODUCT CIRCULAR COLLECTOR DRIVES	LUBRICATION	SUPERSEDES JUN 74

OIL CAPACITY TABLE

TYPE DRIVE	GEAR SIZE	OIL CAPACITY SPUR GEAR HOUSING	OIL CAPACITY WORM GEAR HOUSING
Spur Gear	42" C.I.	8 Qts.	5 Qts.
	60" C.I.	12 Qts.	12 Qts.
If double pinion - double worm gear capacity	80" C.I.	14 Qts.	12 Qts.
	100" C.I.	20 Qts.	18 Qts.
	42" D.I.	8 Qts.	12 Qts.
	60" D.I.	12 Qts.	18 Qts.
	80" D.I.	14 Qts.	18 Qts.
	100" D.I.	20 Qts.	12 Qts.
Worm Gear	14"		2-1/2 Pts.
	16"		12 Qts.
	28"		12 Qts.
	41"		40 Qts.
	72"		72 Qts.

OIL SELECTION TABLE

AMBIENT TEMP. °F		51 to 110	
Walker Spur Gear AGMA #		6EP	
Walker Worm Gear AGMA #		6EP	

OIL DESCRIPTION

AGMA NO.		6EP (Min. °F)	
AMERICAN		Amo Gear EP3	
FISKE (LUBRIPLATE)		*APG 140 (0°F)	
MOBIL		*Mobilube HD 140 (5°F)	
MOBIL (LEAD FREE)		Gear Oil 634 (20°F)	
ARCO		*Gear Oil 140 (0°F)	
SHELL		Omala 75 (10°F)	

Those oils denoted (*) contain lead base additives.

LUBRICANT FOR GRIT COLLECTOR WORM GEAR

WORM GEAR REDUCERS

51 to 110° F
225°
125 to 190
3 to 10% Acidless Tallow or E. P. base
#8 Compound
Trojan Compound L-4
Lubriplate #8
E. P. Lubricant #145
Valvata Oil #J 78
Superheat Valve Oil
WG-B Oil
Sunep #1150
Mobil Cyl. Oil #600 W
Vanguard 620

Tabla No. 17

Dosis de cloro para el tratamiento de aguas.

Objeto de la cloración	Dosis en ppm.	Tiempo de contacto en mín.	Cloro residual	
			tipo	ppm
Desinfección:		Requisitos fijados por las autoridades sanitarias locales.		
Con Cl_2 residual combinado.	1.0 - 5			
Con Cl_2 residual libre.	1.0 - 10			
Eliminación de amoníaco como N de NH_3	10 X ($N-NH_3$) existente.	20	Libre	0.1
Control de sabor y olor	10 X ($N-NH_3$) más 1-5 ppm	20	Libre	1.0
Eliminación de ácido sulfhídrico (H_2S)	2.22 X contenido de S para obtener S libre. 8.9 X contenido de S para obtener sulfatos.	Instantáneo.	Libre ó combinado.	0.1
Eliminación de fierro.* (Fe)	0.64 X contenido de Fe	Instantáneo.	Combinado.	0.1
Eliminación de manganeso.* (Mn)	1.3 X contenido de Mn.	Variable.	Libre	0.5
Eliminación de color.	1.0 - 10	15	Libre ó combinado.	0.1
Control de algas.	1.0 - 10	Variable.	Libre	0.5
Control de lama.	1.0 - 10	Se necesita Cl_2 residual através de todo el sistema.	Libre	0.5
Control de bacterias del azufre y fierro.	1.0 - 10		Libre	0.5
Ayuda de coagulación para la preparación de: sílice activada	187 g de Cl_2 X litro de Na_2SiO_3	No es aplicable.		
Cloración de sulfato de fierro.	Una parte de Cl_2 X 7.8 partes de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$			

* También se necesita filtración.

(24)

Tabla No. 18

Dosis de cloro para el tratamiento de aguas negras.

Objeto de la cloración	Dosis en ppm	cloro residual en ppm
Desinfección de:		
Agua negra reciente	6-12	las necesidades son determinadas por las autoridades de salubridad ó por reglamentaciones estatales.
Agua negra séptica.	12-25	
Agua negra recien asentada	5-10	
Agua negra séptica asentada	12-40	
Precipitación química del efluente.	3-10	
Efluente del filtro de goteo.	3-10	
Efluente tratado con lodos activados.	3-8	
Efluente del filtro de arena.	1-5	
Control de olores.		
En alcantarillas.	1-5 - 10	0
En plantas de tratamiento.	5 - 10	0
Operación de lodos activados.		
Control del espesamiento del lodo.	2-8	0
Aumento de la viscosidad, aparente del lodo.	Variable.	1.0
Operación filtro de goteo.		
Control de olor.	2-6	0
Control de la mosca en el filtro.	3-10	0.1
Reducción de la demanda biológica de oxígeno (D.B.O.)	6-12	0.2 - 0.5
Tanque Imhoff.	3-15	0
Digestor sobrenadante.	20-80	0 ó trazas

En estos casos no es necesario el tiempo de contacto a excepción hecha para desinfección donde el tiempo es recomendado por las autoridades sanitarias.

Las cifras son para cloro residual combinado.

Tabla 20

Selección del método de control

Tipo de gasto y agua a tratar	Método de control recomendado.
Control manual Gasto y demanda de agua constante.	Manual.- La dosificación así como la puesta en marcha y paro se ajustan y efectuan manualmente.
Control programado	Control automático programado.
a) Gasto de agua uniforme pero de operación intermitente, controlado por un flotador o un interruptor de presión, demanda de cloro fija.	a) Control automático intermitente. La dosificación se ajusta manualmente pero la operación de arranque y paro es automático de acuerdo a un circuito de control.
b) Gasto de agua variable por pasos, tal como el bombeo automático realizado por una serie de bombas de diferentes capacidades controladas unas, otras ó ambas por interruptores de flujo, demanda de cloro constante.	b) Control automático por pasos, el equipo selecciona automáticamente los intervalos de dosificación de acuerdo al circuito de control del arranque y paro de las bombas. Cada intervalo de dosificación se ajusta previamente para cada bomba.
c) Gasto de agua y demanda de cloro variables, en función de un programa de tiempo, tal como una secuencia conocida de diferentes gastos o cambios en la demanda de cloro en función del tiempo.	c) Control automático programado, el equipo ajusta automáticamente la dosificación de acuerdo al programa de tiempo.
Control proporcional	Control automático proporcional.
a) Gasto de agua variable y demanda de cloro relativamente constante como el caso de un suministro de agua por gravedad o que es bombeado con bombas de capacidad variable.	a) Control automático proporcional, el equipo es completamente automático con relación al gasto y la dosis de cloro permanece constante a pesar de los cambios de gasto. El control se obtiene de un medidor primario de flujo.
b) Gasto de agua y demanda de cloro variables.	b) Control automático en circuito combinado, el equipo dosifica automáticamente en función de las dos variables, recibiendo señales de la medición de flujo de agua y de cloro residual.

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

" MANUAL PARA OPERADORES "

Septiembre,1978.

BIBLIOGRAFIA

LIME - HANDLING APPLICATION AN STORAGE
Dr. W. Rudolfs - Bulletin 213
National Lime Association - Washington D. C.

LABORATORY CONTROL OF WATER PURIFICATION
Ch. Cox. - Case Shepperd Mann Pub. Corp. - New York

QUIMICA Y MICROBIOLOGIA DEL AGUA
Dr. J. Hurtado
Inst. Nacional Obras Sanitarias - Caracas

WATER QUALITY AND TREATMENT
American Water Works Ass. - New York

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND SEWAGE
A.P.H.A. - A.W.W.A. - New York

INTRODUCCION

La Facultad de Ingeniería y Agrimensura de la Universidad de la República, con la colaboración de la Oficina Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud y de la Administración de las Obras Sanitarias del Estado (O.S.E.), ha organizado un Curso de Operadores de Abastecimientos de Agua Potable.

Esta iniciativa es parte del programa amplio de adiestramiento de personal sanitario, promovido en el Continente por la Oficina Sanitaria Panamericana, la cual, siguiendo el criterio adoptado en los cursos similares anteriores —Guatemala (1955) — México (1956) — Trinidad (1958) — Cuba (1959) — ha proporcionado, para su realización, asistencia técnica y equipos.

Este Manual ha sido preparado por el suscrito aprovechando parte del material didáctico que elaboró para los cursos de operadores promovidos por la Oficina Sanitaria Panamericana en México y Cuba, donde contó con la cooperación de los consultores Dr. J. R. Hurtado e Ing. P. J. Caballero.

En la parte dedicada a Química Sanitaria y Microbiología, se obtuvo la invalorable colaboración del Dr. Francisco A. Alciaturi, en la corrección y redacción de ese capítulo.

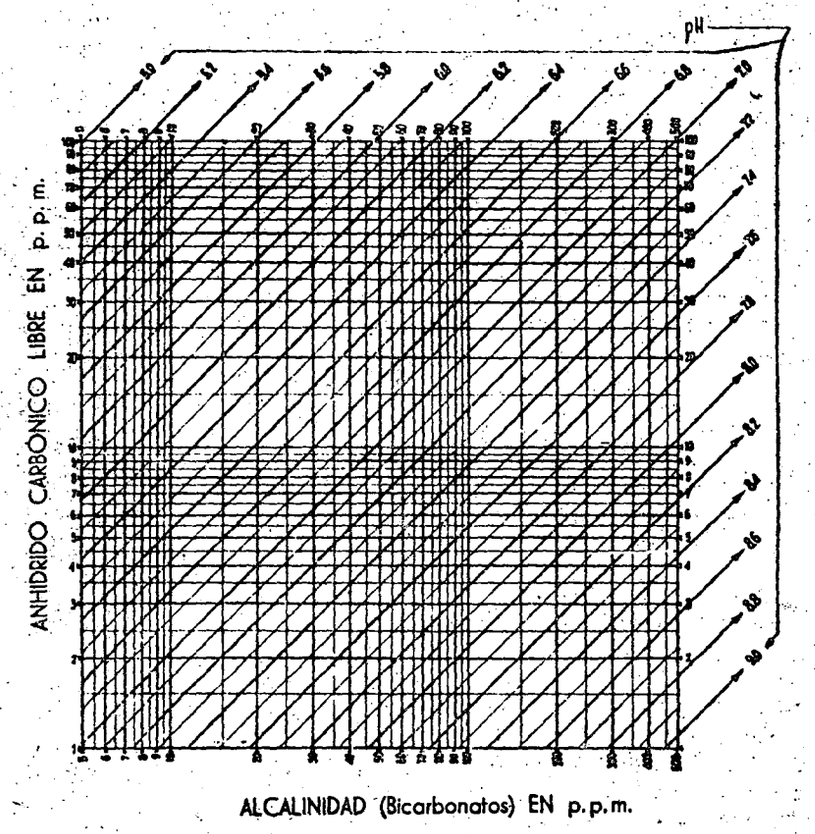
El contenido de este Manual servirá de texto de consulta a los alumnos de este curso y de otros futuros que organice la Facultad, abrigándose la esperanza de que también sea útil en algunos aspectos a los funcionarios responsables de la operación de servicios de abastecimientos de agua.

La publicación de este trabajo ha sido posible gracias a la cooperación financiera de la Oficina Sanitaria Panamericana que ha reconocido su utilidad para cursos de este tipo que se lleven a cabo en éste y otros países.

El autor agradece a los fabricantes de equipos mencionados en el Manual, la autorización para utilizar diversos datos y referencias, así como queda reconocido a la cooperación del Sr. Jorge Cirio en la ejecución de los dibujos que ilustran el texto.

Ing. WALTER A. CASTAGNINO

DIAGRAMA QUE RELACIONA LOS VALORES DE ALCALINID, pH Y CO_2



Nomograma correspondiente al Tema 13 del Capítulo XVI (pág. 110)

ERRATA: Pág. 60, Especificaciones para construcción. Donde dice Alimentación ordenada, debe decir Alineación adecuada.

El agua - Distintos tipos - Impurezas

El agua pura, tal como se obtiene en el laboratorio, es un líquido incoloro, inodoro e insípido, y constituye el solvente más universal. La fórmula química del agua es H2O (o HOH) y está compuesta de dos volúmenes de hidrógeno y un volumen de oxígeno, combinados químicamente.

El agua al precipitar en forma de lluvia, puede considerarse relativamente pura en las capas superiores de la atmósfera, pero a medida que desciende disuelve los gases normalmente presentes en la atmósfera tales como el oxígeno, el nitrógeno y el anhidrido carbónico. También se apodera de partículas de polvo, bacterias y esporas de microorganismos que flotan en el aire.

A medida que el agua escurre por la superficie del suelo o en las capas subterráneas se apodera de impurezas que se presentan en tres estados de finura:

A) En suspensión.
B) En estado coloidal .
C) En solución.

Cada uno de estos tres estados le proporciona al agua un carácter específico el cual determina el proceso de tratamiento a seguir para su purificación.

La suspensión está formada por partículas sólidas, lo suficientemente grandes para permitir removerlas, ya sea por procedimientos de sedimentación simple o filtración.

El estado coloidal está constituído por una dispersión en medio acuoso de partículas tan finas que no pueden ser eliminadas por simple sedimentación o filtración, requiriéndose procesos especiales de coagulación y sedimentación o filtración subsiguiente.

La solución es una dispersión molecular u iónica. Las aguas conteniendo estas impurezas requieren procesos de tratamiento que envuelven reacciones químicas.

Las varias fuentes de agua de que puede disponer el hombre pueden clasificarse así:

Fuentes superficiales: Ríos, Riachuelos, Arroyos, Lagos, Lagunas y Embalses.

Fuentes subterráneas: Manantiales, Aljibes y Pozos profundos.

El agua proveniente de fuentes superficiales generalmente contiene turbiedad y color, sobre todo en la época lluviosa, y además está expuesta a la contaminación de los animales y seres humanos así como también a las descargas cloacales y residuos industriales. Las aguas subterráneas generalmente están libres de turbiedad y color, pero a veces pueden contener altas cantidades de hierro y manganeso o ser muy mineralizadas de acuerdo con la constitución de las formaciones subterráneas que atraviesan.

De lo expuesto se desprende que las fuentes de agua tal como se presentan en la Naturaleza no llenan los requerimientos necesarios, tanto para el consumo humano como para fines industriales, siendo necesario recurrir a los procedimientos de purificación para potabilizarla o hacerla apta para otros usos.

El agua para el consumo humano debe llenar en lo posible los siguientes requisitos:

1) Debe ser clara y brillante.
2) Debe estar libre de microorganismos patógenos.
3) Los elementos deletéreos que pueda contener deben estar por debajo de los límites que ofrezcan algún peligro para el sistema humano.
4) No debe ser muy mineralizada.
5) Debe estar libre de sabores y olores.

Co l del Laboratorio:

s diferentes análisis y exámenes efectuados en el laboratorio de una planta de tratamiento de agua se efectúan con el fin de garantir la calidad del agua suministrada al público y también para controlar las diferentes etapas en el proceso de purificación. Estas pruebas nos permiten juzgar la bondad de los procesos de tratamiento aplicados y efectuar a tiempo las correcciones necesarias. Estos récords deben tabularse y archivarse cuidadosamente, pues son de gran valor para indicarnos los cambios estacionales que experimenta el agua cruda, así como también las correspondientes dosis óptimas de sustancias químicas aplicadas a cada circunstancia.

PROCESOS PRIMARIOS

SEDIMENTACION SIMPLE:

Sedimentación simple es el proceso de asentamiento de las partículas sólidas suspendidas en un líquido, por la simple acción de la gravedad. El fin perseguido con la sedimentación simple es la clarificación del agua al efectuarse la correspondiente reducción en la turbiedad. Este proceso es de utilidad en la remoción de partículas de rápido asentamiento. Cuando se aplica este proceso también tiene lugar la remoción de cierto porcentaje de bacterias. Teniendo en cuenta una gran variedad de factores, la reducción de la turbiedad y del tenor bacteriano por el proceso de sedimentación simple, puede variar entre un 30 % a un 80 %. Todas las partículas más pesadas que el agua poseen la tendencia a sedimentar por efecto de la gravedad. El tiempo requerido para la sedimentación depende de varios factores, tales como el peso, tamaño y forma de la partícula, así como también la viscosidad y resistencia a la fricción que ofrezca la masa de agua; para ilustrar el efecto que tiene el tamaño de las partículas damos a continuación la siguiente tabla:

Diámerto de Partículas mm.	Orden de Magnitud	Velocidad de Asentamiento mm. seg.	Tiempo para Sedimentar 1 metro
10	Gravilla	1.000	1 Segundo
1	Arena gruesa	100	10 Segundos
0.1	Arena fina	8	2 Minutos
0.01	Cieno	0.147	2 Horas
0.001	Bacterias	0.00154	7.5 Días
0.0001	Partículas Arcilla	0.0000154	2 Años
0.00001	Coloides	0.000000154	206 Años

Estudiando la tabla de velocidades de asentamiento de las partículas, sacamos en conclusión que para propósitos prácticos, el límite de remoción corresponde a partículas mayores de 0.01 mm. de diámetro. Partículas por debajo de esta cifra tienen una razón de asentamiento tan baja que el tiempo requerido es prohibitivo. Sin embargo en los grandes embalses, con períodos de retención de semanas o meses, es posible efectuar la remoción de partículas por debajo de 0.01 mm. de diámetro. Aguas con turbiedad debida a partículas relativamente grandes o sólidos suspendidos de alta densidad, como es el caso de los desarenadores, pueden ser clarificadas económicamente por medio de la sedimentación simple.

COAGULACION Y SEDIMENTACION SUBSIGUIENTE:

Los sólidos suspendidos de baja densidad o aquellas partículas finamente divididas, no pueden ser removidas dentro de un período de tiempo razonable. En estos casos la aplicación de ciertas substancias químicas produce el fenómeno llamado **coagulación,** mediante el cual se aglutinan las partículas, aumentan de tamaño y precipitan dentro de un período de tiempo razonable. Se denominan **coagulantes,** las substancias capaces de remover las impurezas coloidales del agua y **coagulación** el proceso mediante el cual tiene lugar esa remoción. Para penetrar en el mecanismo de la coagulación es indispensable examinar la naturaleza y propiedades de los coloides.

La fase coloidal se refiere a cualquier forma de materia en cierto estado de subdivisión o en otras palabras, a partículas dentro de ciertos límites de tamaño. La unidad a usarse es la m ıa de micra igual a una millonésima de milímetro (0.000001 m. y se abrevia m μ. Las partículas coloidales están comprendidas entre 1 m μ y 100 m μ. Una suspensión de partículas coloidales en un líquido se denomina un suspensoide; cuando las partículas son líquidas y están dispersas en otro líquido, se denomina un **emulsoide.** Ambos son coloides. En muchos respectos los coloides parecen verdaderas soluciones, a la luz ordinaria son claros y transparentes, no sedimentan en un tiempo razonable y pueden ser filtrados sin remover la materia coloidal. Bajo ciertas condiciones un rayo de luz al atravesar una solución coloidal produce el llamado **efecto de Tyndall,** el cual resulta de la reflexión de parte de la luz transmitida por las partículas coloidales. Bajo el ultramicroscopio, las partículas coloidales se presentan en continuo movimiento, conocido bajo el nombre de **movimiento browniano,** el cual resulta del bombardeamiento de las pequeñas partículas coloidales, por las moléculas en rápido movimiento del líquido en el cual están dispersas. El punto de ebullición, el punto de congelación, la presión de vapor y la presión osmótica de la fase coloidal son idénticas a los del solvente o líquido en el cual están dispersas las partículas coloidales.

Los coloides pueden ser clasificados de varias maneras. En primer lugar tenemos los soles y los geles. Un sol es un coloide con apariencia de una verdadera solución, tal como una infusión de té. Un gel es un coloide con apariencia gelatinosa.

Los coloides pueden clasificarse como **reversibles o irreversibles.** Como ejemplo de coloide reversible tenemos la **pasta de almidón o engrudo.** Si cierta cantidad de almidón es agregada a una cantidad de agua y se hierve por algunos minutos, resulta una solución clara y azulada; cuando se enfría se forma el engrudo o pasta de almidón. Sin embargo, si se calienta vuelve a tomar la apariencia de solución. La albúmina o blanco del huevo es un excelente ejemplo de coloide no reversible. Una pequeña cantidad del blanco del huevo agregada a una cantidad de agua y agitada por un momento resulta algo semejante a una verdadera solución. Luego, si esta mezcla se hierve, el blanco del huevo coagula y no puede volver a su estado primitivo porque ha tenido lugar un cambio permanente.

Los coloides pueden ser clasificados como **liófilos y liófobos.** Esta clasificación se refiere a la afinidad del coloide con el medio dispersante. Si la atracción entre el coloide y el medio dispersante es grande, el coloide se llama **liófilo.** Si la atracción es pequeña, el coloide será **liófobo.** En tratamiento de agua, la generalidad de las veces tratamos con coloides liófobos.

Por último, la clasificación más importante de los coloides bajo el punto de vista de tratamiento de aguas es en **positivos y negativos**

Existen varias teorías para explicar el origen de estas cargas positivas o negativas, pero al presente sólo nos interesa saber que las partículas de ciertos coloides están cargadas positivamente, mientras que las de otros están cargadas negativamente. También interesa saber que los coloides pueden cambiar sus cargas de positivas en negativas y viceversa como resultado de cambio o cambios en las condiciones externas.

METODOS USADOS EN LA PRECIPITACION DE LOS COLOIDES:

Los coloides pueden ser precipitados de varias maneras. Mencionaremos los procesos que han encontrado aplicación en materia de tratamiento de agua.

1º) Los coloides pueden ser precipitados por otros coloides de signo contrario. Es interesante observar que las impurezas encontradas en el agua, como son la turbiedad y el color, generalmente están presentes como coloides negativos.

2º) Los coloides pueden ser precipitados también por iones de cargas opuestas. Por ejemplo, si a una solución de cloruro férrico estabilizada, se le agregan unas gotas de ácido clorhídrico, el sol positivo de cloruro férrico será precipitado por los iones negativos Cl^-, presentes en el ácido clorhídrico.

El efecto de los iones que tienen carga de igual signo que el co-, debe tenerse en cuenta en el proceso de la coagulación, ya muchas veces tienen propiedades estabilizadoras. La cantidad de coagulante que debe añadirse tiene también importancia ya que una dosis escasa no basta para descargar todas las partículas coloidales, y una dosis elevada hace que las partículas absorban iones y queden cargadas con electricidad del signo contrario al que tenían antes.

En la purificación de las aguas, especialmente aguas turbias y coloreadas, el proceso de la coagulación es de importancia capital.

Las condiciones ideales de la coagulación serían aquellas en que todas las impurezas fueran convertidas en partículas de tamaño y densidad suficiente para que depositen en forma rápida y llegue a los filtros solamente una pequeña cantidad de ellas de tal consistencia y tamaño que hagan imposible su paso a través del material que constituye el filtro.

El uso de productos químicos apropiados para cada caso y el adelanto de la técnica en el proceso de la coagulación, han hecho que estas condiciones ideales puedan ser logradas prácticamente.

Hoy día se obtienen aguas decantadas, superiores en calidad a las aguas filtradas de otros tiempos.

Impurezas tales como bacterias y productos que dan olores o sabores desagradables al agua, son eliminadas parcialmente por la coagulación, siendo necesario recurrir a otros procesos para la obtención de un agua realmente potable.

CAPITULO II

Mecanismo de la Floculación

FORMACION DEL FLOCULO

Cuando un coagulante se añade al agua para remoción del color o la turbiedad, tienen lugar tres acciones complementarias definidas que explicaremos a continuación:

1) A medida que el coagulante se disuelve y los iones trivalentes de aluminio o férricos hacen acto de presencia, comienzan a neutralizar las partículas de color y turbiedad cargadas negativamente. En la opinión de muchas autoridades en la materia, esta fase de la coagulación es la más importante y tiene lugar mucho antes de que aparezca alguna partícula visible de flóculo. Esta acción es más eficiente si se dispone de medios para una rápida y completa dispersión del coagulante en la masa del agua a tratar. De aquí viene el uso de mezcladores rápidos como primer paso en el uso de la coagulación.

2) Cuando los iones positivos férricos o de aluminio han neutralizado una gran porción de las partículas de color y turbiedad cargadas negativamente, las partículas resultantes podemos llamarlas "microflóculos", puesto que todavía son demasiado pequeñas para ser notadas a simple vista y para sedimentar por efecto de la gravedad. Puesto que la mayoría de las coagulaciones se efectúan en el rango ácido, estos "microflóculos", debido a la adsorción de iones de hidrógeno de la solución, pueden retener cargas positivas y continuar neutralizando partículas negativas de color y turbiedad, constituyendo la segunda fase en el proceso de coagulación.

3) Durante las dos fases descritas todavía no se han formado flóculos visibles. A partir de este punto, el tratamiento es puramente mecánico y consiste en una agitación lenta o acondicionamiento del flóculo, para que los pequeños microflóculos se aglutinen, crezcan y estén en condiciones de sedimentar rápidamente por efecto de la gravedad. Durante esta etapa de crecimiento del flóculo tiene efecto la

tercera fase, o sea la adsorción superficial. Está fuera del alcance de esta discusión el considerar las diferentes y complejas fuerzas que intervienen en el proceso de adsorción superficial; sólo nos limitaremos a decir que la superficie expuesta por las innumerables partículas que constituyen los flóculos es muy grande y que las impurezas contenidas en el agua pueden ser adsorbidas por estas superficies activas. Debe tenerse en cuenta que un flóculo grande, bien formado y compacto, si bien es importante bajo el punto de vista de la sedimentación, no puede tomarse como criterio suficiente para juzgar el éxito de la coagulación; puesto que la función más importante del coagulante ha tenido lugar, como hemos dicho, mucho antes de que el flóculo alcance tamaño visible. Hacemos hincapié sobre este punto porque muchas veces, al tratar de remover color y turbiedad, podemos lograr un buen flóculo, pero el color y la turbiedad puede que no hayan sido reducidos por debajo de los límites admisibles.

Flóculo de color:

Tan pronto un operador empieza a operar una planta de tratamiento de agua, se dará cuenta de que en el proceso de coagulación muchas veces es posible añadir una dosis considerable de sulfato de aluminio con pequeñas reducciones en la alcalinidad. Esto se interpreta a base del hecho de que una gran cantidad de los iones de aluminio reaccionan directamente con las partículas coloidales de color y turbiedad negativamente cargadas.

En el caso de que haya color orgánico presente en el agua, el flóculo formado se denomina "flóculo de color", y es muy diferente en propiedades y apariencia al flóculo gelatinoso de hidróxido de aluminio formado por la reacción del sulfato de aluminio con la alcalinidad del agua. Al presente no hay fórmula alguna que permita predecir qué cantidad de coagulante se requiere para reducir el color de un agua hasta cierto límite, la única manera que podemos llegar a dichas cantidades es experimentalmente, por medio de las pruebas de coagulación.

CAPITULO III

Coagulantes y Ayudantes a la Coagulación

USADOS EN TRATAMIENTOS DE AGUAS

Los coagulantes más comúnmente usados en el tratamiento de aguas pueden agruparse en tres grupos:

a) Los constituídos por sales de aluminio.
b) Los constituídos por sales de hierro.
c) Mencionaremos un tercer grupo constituído por ciertas substancias que favorecen la coagulación y la obtención de un flóculo pesado.

a) **Coagulantes constituídos por sales de aluminio.**

De este grupo, el **sulfato de aluminio** (filter alum), constituye el coagulante más conocido y generalizado en el tratamiento de aguas. El sulfato de aluminio comercial $(Al)_2 (SO4)_3$ (18H20), contiene un poco menos del agua de cristalización indicada por la fórmula anterior y en realidad corresponde a la fórmula $(Al)_2 (SO4)_3$ (14H20). Este material se especifica a base de 17 % en contenido de óxido de aluminio (Al_2O_3).

El sulfato de aluminio reacciona teóricamente con la alcalinidad natural o agregada al agua para producir un flóculo de hidróxido de aluminio (Al(OH)3), como indicamos a continuación:

Al2(SO4)3 + 3 Ca (HCO3)2 = 2 Al(OH)3 + CaSO4 + 6CO2
Al2SO4)3 + 3 Na2CO3 + 3H20 = 2Al(OH)3 + Na2SO4 + 3CO2
Al2(SO4)3 + 3 Ca(OH)2 = 2 Al(OH)3 + CaSO4

estas ecuaciones se deduce que teóricamente se requiere 0.45 ppm. de alcalinidad expresada en términos de $CaCO_3$ para reaccionar con 1 ppm. de sulfato de aluminio con fórmula teórica de $Al_2(SO_4)_3$ (18 H_2O). Estas cifras sólo sirven para guiar los experimentos de coagulación, pues en la práctica la alcalinidad requerida en un agua dada para reaccionar con cierta cantidad de sulfato de aluminio debido a la variedad de factores que intervienen en la reacción, tiene que ser determinada experimentalmente por las pruebas de coagulación (jartest).

Otros coagulantes de sales de aluminio, usados en casos especiales de tratamiento de agua, son el **aluminato de sodio** y el **sulfato doble de aluminio y amonio** (ammonium alum sulphate). El primero se usa sólo o conjuntamente con el sulfato de aluminio. También tiene mucha aplicación en el proceso de suavización con cal - soda. El sulfato doble de aluminio y amonio se usa a veces en pequeñas instalaciones en conexión con dosificadores a presión (alumpot). El sulfato doble de aluminio y amonio es útil en los casos de tratamientos a base de cloroamoníaco (cloraminas) eliminando la necesidad de una fuente separada de amoníaco.

El llamado **alumbre activado** es una marca comercial de sulfato de aluminio conteniendo aproximadamente un 15 % de silicatos insolubles que sirven como núcleos en el proceso de coagulación, sobre todo en el caso de aguas de poca turbiedad.

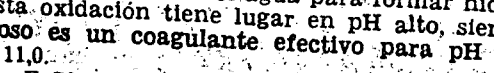
El **"Black alum"** es una mezcla de sulfato de aluminio y carbón activado, usado en el caso de necesitarse coagulación, y a la vez la acción del carbón activado para el tratamiento de olores y sabores.

b) **Coagulantes constituídos por Sales de Hierro:**

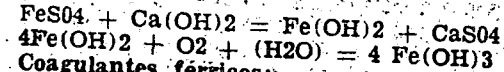
Este grupo de coagulantes ha venido usándose en ciertos casos, aunque siempre en mucho menor escala que el sulfato de aluminio.

Sulfato Ferroso $FeSO_4$ ($7H_2O$) (Copperas):

En muchos casos la alcalinidad natural de las aguas a tratar no es suficiente para reaccionar con el sulfato ferroso, requiriéndose la adición de un álcali, generalmente cal, para producir el flóculo de hidróxido férrico. La primera reacción con la cal produce hidróxido ferroso ($Fe(OH)_2$), el cual, a su vez es oxidado por el oxígeno disuelto contenido en el agua para formar hidróxido férrico ($Fe(OH)_3$). Esta oxidación tiene lugar en pH alto, siendo así que el sulfato ferroso es un coagulante efectivo para pH comprendidos entre 8, 5 y 11,0.



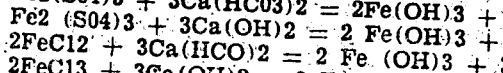
$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4$$



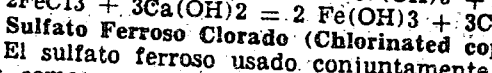
$$4Fe(OH)_2 + O_2 + (H_2O) = 4\ Fe(OH)_3$$

Coagulantes férricos:

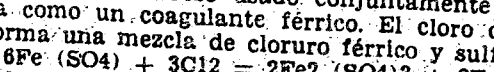
Los coagulantes férricos tales como el **sulfato férrico** ($Fe_2(SO_4)_3$ y el **cloruro férrico** ($FeCl_3$), actúan para producir hidróxido férrico como en el caso del sulfato ferroso y, sin embargo, como el hierro se encuentra ya en estado férrico, no se requiere el oxígeno disuelto en el agua. Las reacciones teóricas que tienen lugar las indicamos a continuación:



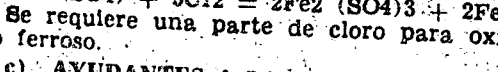
$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 2Fe(OH)_3 + 3CaSO_4 + 6CO_2$$



$$Fe_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2\ Fe(OH)_3 + 3CaSO_4$$



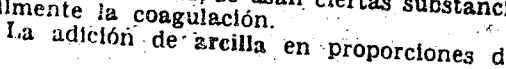
$$2FeCl_2 + 3Ca(HCO)_2 = 2\ Fe\ (OH)_3 + 3CaCl_2 + 2CO_2$$



$$2FeCl_3 + 3Ca(OH)_2 = 2\ Fe(OH)_3 + 3CaCl_2$$

Sulfato Ferroso Clorado (Chlorinated copperas):

El sulfato ferroso usado conjuntamente con el cloro se considera como un coagulante férrico. El cloro oxida el sulfato ferroso y forma una mezcla de cloruro férrico y sulfato férrico.



$$6Fe\ (SO_4) + 3Cl_2 = 2Fe_2\ (SO_4)_3 + 2FeCl_3 + 7H_2O$$

Se requiere una parte de cloro para oxidar 7,9 partes de sulfato ferroso.

c) **AYUDANTES A LA COAGULACION:**

En ciertos casos difíciles y aún para efectuar reducciones en las dosis de coagulantes, se usan ciertas substancias para conseguir más fácilmente la coagulación.

La adición de arcilla en proporciones determinadas hace que el coágulo sea más denso, dando resultados muy buenos en ciertos casos, aunque tiene la desventaja de aumentar el sedimento de los sedimentadores.

Actualmente se está generalizando mucho el uso de **sílice activada** como un coagulante en ciertos casos y como un ayudante en la coagulación conjuntamente con el sulfato de aluminio o los coagulantes férricos. La sílice activada, usada por primera vez por Baylis en la planta del Distrito Sur de Chicago, se prepara a base de una solución de silicato de sodio activado con ácido sulfúrico o con un sulfato de amonio. También pueden utilizarse según sea conveniente las siguientes substancias: sulfato de aluminio, bicarbonato de sodio, anhidrido carbónico y cloro. El objeto es liberar la sílice bajo la forma de un sol, donde las partículas coloidales posiblemente bajo la forma de —SiO_2— conservan cargas fuertemente negativas. Tanto en el lado ácido como en el básico tiende a promover una mejor coagulación y a producir un flóculo más pesado.

ELECCION DEL COAGULANTE:

La elección del coagulante apropiado debe efectuarse a base de que con las sales de aluminio la zona de precipitación máxima del hidróxido de aluminio, o sea también la zona en que se tiene menos aluminio residual, se encuentra entre pH 5,8 y 6,8 mientras que los compuestos de hierro tienen una zona mucho más amplia, o sea pH 3,5 y 13 habiendo una zona comprendida entre pH 6,5 y 8,5 en que la precipitación se efectúa en forma más lenta y a veces incompleta.

Lo primero que se debe determinar para la elección del coagulante es hallar la zona óptima de coagulación del agua a tratar. Esto se hace por medio de ensayos de laboratorio utilizando diferentes coagulantes. La zona óptima de coagulación se conoce cuando se obtiene un coágulo adecuado y fácilmente sedimentable. Entonces se observará si el color y la turbiedad han sido eliminados en forma satisfactoria.

Generalmente la eliminación del color a pH elevado no se efectúa bien; al contrario, frecuentemente se fija o estabiliza ese color. La dificultad de eliminar el color a pH elevado se explica porque el hidróxido de aluminio o el del hierro adquieren cargas negativas por acción de los iones hidróxidos, no pudiendo efectuarse en dicho caso la coagulación de un coloide negativo como es generalmente el color. La eliminación del color con sales de hierro a pH elevado es aún más difícil, puesto que, según algunos investigadores, se forman verdaderas combinaciones químicas entre las sales de hierro y el color aumentando éste en vez de disminuir.

EXPERIMENTOS DE COAGULACION PARA DETERMINAR LAS DOSIS OPTIMAS DE COAGULANTE:

El medio más eficaz de que dispone el operador de una planta de tratamiento para hallar las dosis de coagulantes es la máquina para efectuar las pruebas de coagulación. Solamente con estas pruebas de coagulación se puede llegar a las dosis más efectivas y económicas de coagulantes. Conjuntamente con las pruebas de coagulación es necesario efectuar determinaciones periódicas tales como la alcalinidad, pH, color, turbiedad, hierro, manganeso, dureza, etc.; en fin, las pruebas necesarias que aseguren el buen funcionamiento para lo cual fué específicamente construída la planta.

Equipo:

1) Máquina de coagulación (Jar Test).
2) Cubetas de 1 ó 2 litros de capacidad.
3) Pipetas.
4) Embudos y papel de filtro.
5) Soluciones de coagulante. Estas soluciones se preparan disolviendo 10 gramos del coagulante en 1 litro de agua destilada. Un centímetro cúbico de estas soluciones en 1 litro de agua es igual a 10 mg./litro o sean 10 ppm.

DOSIS APROXIMADA DE COAGULANTE:

Ya hemos dicho que sólo los experimentos de coagulación cuidadosamente efectuados pueden indicarnos las dosis más convenientes para la coagulación de un agua dada. Sin embargo es conveniente, para ahorrar tiempo, partir de los datos que nos suministra el análisis del agua cruda y escoger una dosificación que nos sirva como punto de partida. Por ejemplo, si de acuerdo con los datos de análisis vemos que la dosis más conveniente de coagulante son 50 ppm, fijaremos para el experimento de coagulación 30, 40, 45, 50, 55, 65 partes por millón de coagulante. Vamos a dar dos criterios que nos guíen para seleccionar la dosis que nos sirva como punto de partida: uno en función de la alcalinidad y otro en función de la turbiedad del agua a coagular.

Criterio en función de la alcalinidad:

1º) Encontrar la alcalinidad total.

2º) Sustraer 1/3 de la alcalinidad total y multiplicar el resultado por 2.

Ejemplo:

Alcalinidad total	60 ppm.
Menos 1/3 de 60	—20
Resultado	40
Multiplicado por 2	x2
	80 ppm. de coagulante dosis aprox. de partida

Dosificación en función de la turbiedad:

Damos a continuación la siguiente tabla para la selección de la dosis de coagulante en función de la turbiedad del agua a tratar:

Turbiedad	Dosis aproximada de sulfato de alumnio en ppm.
0 a 20	10
50	10 a 15
100	15 a 20
150	20 a 30
200	30 a 40
300	30 a 50
500	30 a 80

Procedimiento:

1) Coloque muestras de 1 o 2 litros en las cubetas.
2) Agregue las cantidades de coagulante a cada cubeta.
3) Efectúe la mezcla rápida de acuerdo al tiempo que se disponga en el mezclador rápido de la planta, generalmente ese tiempo está comprendido entre 0,5 y 3 minutos. Esta agitación se efectúa a más de 80 revoluciones por minuto.
4) Después agite de 10 a 20 minutos a unas 20 o 30 revoluciones por minuto y más convenientemente al tiempo de retención en los floculadores de la planta.
5) Observe el tiempo en que apareció el floculo en cada cuba, la apariencia al cabo de 30 minutos de sedimentación y anote como ha sido la sedimentación en cada cuba. También conviene anotar la alcalinidad, el pH y el sulfato de aluminio residual en cada cuba, así como también el hierro y manganeso, sobre todo en el caso de que estos constituyentes estén por encima de los límites permisibles en el agua cruda.

INTERPRETACION:

La cuba que sedimenta más rápidamente, dejando un agua relativamente clara y brillante en la parte superior, nos da una indicación de la dosis óptima de coagulante. Debe tenerse en cuenta que las pruebas de coagulación no son una duplicación exacta de los resultados que se obtienen en la planta de tratamiento, son simplemente una guía para la mejor operación de la planta.

CAPITULO IV

Olores y Sabores

Casi todas las aguas tienen algún sabor u olor característico que sólo puede ser notado por una persona especializada en estos reconocimientos, cuando aquellos son tan débiles que pasan desapercibidos para la mayoría de los consumidores de agua.

Aunque estos sabores y olores no tienen en general ningún significado sobre las condiciones higiénicas del agua, algunas veces son tan intensos y desagradables que es necesario prevenirlos o eliminarlos, lo cual trae consigo problemas difíciles de resolver. Además parecería haber por parte de la técnica sanitaria moderna, una tendencia a la eliminación de los sabores y olores; aun los poco perceptibles, dado que las mayores exigencias de la población que consume el agua, obliga a un mejoramiento de la misma.

Las posibles causas que pueden originar estos olores y gustos desagradables pueden variar y ser muy distintas, como por ejemplo: materia orgánica en descomposición, gases disueltos, residuos industriales, el mismo cloro usado en la desinfección, y especialmente las substancias producidas por ciertos microorganismos. Entre los olores causados por estos últimos, se pueden distinguir tres grupos característicos:

1) **Aromático**, causado principalmente por las Diatomeas y en parte por los Protozoarios.
2) **Olor a pasto**, causado principalmente por las Cianofíceas y un poco por las Clorofíceas.
3) **Olor a pescado**, causado por Diatomeas, Clorofíceas, y principalmente por los Protozarios.

Los más comunes de las Diatomeas que producen olor son la Asterionella y la Tabellaria. El primer olor característico que producen es un olor a tierra húmeda. Cuando el número de Diatomeas es de 500 a 1.000 unidades standard, producen un olor ligeramente aromático; con más de 1.000 unidades, el olor se parece al del geranio, y cuando hay varios millares, producen un olor característico del pescado. Las Cianofíceas, como es la Anabaena, Aphanizomenen, Coelosphaerium, Clathrocystis y Microcystis, entre 500 y 1.000 unidades producen olor a pasto recientemente cortado; en número mayor el olor se torna picante, y finalmente cuando mueren, dan un olor a chiquero.

Entre los Protozoos, la Uroglanea y la Synura son los más molestos. La primera produce un sabor aceitoso y olor a pescado; cuando se la encuentra en gran cantidad aquel es desagradable, pareciéndose al del aceite de hígado de bacalao.

La Synura causa inconveniente en cualquier número que se encuentre, incrementándose principalmente con la cloración, dejando un gusto amargo persistente en la lengua, que se nota más rápidamente cuando perece el microorganismo.

Cuando el número de los microorganismos aquí citados llega a 500 ó 1.000 unidades standad, las personas particularmente sensibles elevan quejas de contínuo. Estas aumentan cuando el número de unidades llega a 2.000 y cuando este número es sobrepasado el olor o sabor son notados por cualquier persona.

El cloro refuerza el olor y el sabor, bastando a veces 500 unidades para que las quejas por el mal gusto del agua sean generales. La Synura produce con el cloro un gusto desagradable e intenso que es posible reconocerlo antes que la presencia de aquella sea notada al microscopio.

METODOS PARA EVITAR LOS MALOS GUSTOS Y OLORES

Los métodos para evitar el mal gusto y olor en las aguas, se pueden dividir en:

1) Métodos preventivos.
2) Métodos para eliminarlos una vez producidos.

Entre los primeros citaremos las medidas que se deben tomar para evitar que líquidos industriales contaminen el agua que se utiliza como fuente de previsión. Esto es tarea difícil y debe ser estudiado especialmente en cada caso, para ver si conviene diluir, tratar, almacenar, etc., dichos líquidos.

El crecimiento de organismos microscópicos del tipo de las algas es, como ya se ha dicho, la fuente productora más común de los olores y sabores desagradables en las aguas, por lo tanto nos ocuparemos más detalladamente del contralor de su desarrollo.

La algas proliferan fácilmente en las aguas, principalmente en las superficiales, puesto que necesitan anhídrido carbónico, y luz solar para su desarrollo; este último factor hace que el crecimiento sea mucho mayor en verano, por lo que conviene efectuar antes de esta época exámenes de la fuente de agua, para evitar que el desarrollo de estos organismos llegue a causar serios inconvenientes.

El tratamiento alguicida debe efectuarse reconociendo las especies de algas y qué número de unidades standard contiene el agua a tratar, ya que según la especie y la cantidad de unidades debe variarse la dosis del alguicida.

El alguicida más comunmente usado es el sulfato de cobre, y su dosificación varía entre 1 y 2 ppm.

En consecuencia, lo primero que se debe hacer es examinar el agua en varios sitios y a distintas profundidades, si se trata de un embalse, y efectuar su análisis microscópico dentro de las 8 horas siguientes a la extracción de las muestras. Si la cantidad de organismos microscópicos es elevada, el exámen se puede hacer directamente sobre la muestra de agua; en caso contrario, es necesario concentrar el plankton ya sea por filtración o por centrifugación. El método de concentración por filtración de Sedgwich - Rafter es el más usado y conjuntamente con el exámen microscópico se describen con detalle en la parte de "Química y Microbiología del Agua".

METODOS PARA ELIMINAR EL MAL GUSTO U OLOR UNA VEZ PRODUCIDOS:

Como los métodos preventivos no son siempre eficientes, es necesario recurrir a sistemas correctivos, tales como:

1) Aereación.
2) Precloración.
3) Supercloración.
4) Carbón activo.
5) Ozono.

La **aereación** es efectiva en muy pocos casos, y se utiliza solamente cuando, por ensayos previos, se ve que el mal olor o gusto puede ser eliminado, (y también como factor psicológico, ya que muchas personas creen que el agua aereada es mejor).

La **precloración** o cloración antes de la filtración, en ciertos casos da buenos resultados, pero muchas veces refuerza el mal gusto del agua. Debe, pues, recurrirse a la precloración después de haber estudiado bien los efectos que produce.

La **supercloración**, que es una precloración a dosis elevadas (en general del orden de 4 ppm.) seguida de decloración con hiposulfitos, anhídrido sulfuroso, carbón activo, etc., da buenos resultados con aquellas aguas en las cuales dosis menores de cloro dejan gusto a clorofenol. Finalmente el **carbón activo** es el que mejor resultado da para cualquier clase de olor o sabor. Como su utilización es muy grande, dedicaremos un poco más de espacio para él.

El carbón activo se encuentra en el Comercio en dos tipos, uno granulado y otro pulverizado; el primero se utiliza en los filtros exclusivamente, y el pulverizado puede ser aplicado en distintas etapas de la purificación, según convenga como se verá enseguida.

El sitio en que debe ser aplicado el carbón activo es un problema que merece un estudio en cada caso, para obtener la máxima eficiencia y economía.

Los factores principales que deben tenerse en cuenta son:

a) Las características del agua.
b) La intensidad del gusto u olor.
c) Si el olor es periódico o contínuo.
d) La distribución de la planta de purificación.

Por ensayos de laboratorio y efectuando determinaciones del olor del agua natural y decantada se puede llegar a determinar en donde es mejor aplicar el carbón activo, pero hay que tener presentes también, las dificultades mecánicas o de otra índole que pueden entorpecer —en la práctica— su aplicación en el punto determinado en el laboratorio.

Los puntos de aplicación del carbón activo pueden ser divididos en dos grupos:

1º) Antes de la decantación.
2º) Después de la decantación.

En forma breve trataremos de las ventajas e inconvenientes de aplicación del carbón en cada uno de estos puntos.

1º) El carbón activo puede aplicarse antes de la decantación, ya sea en el agua natural o en las cámaras de mezcla, junto o separado del coagulante. Estos sitios de aplicación se adaptan mejor para aquellas aguas que necesitan un tiempo grande de contacto con el carbón para eliminar el olor completamente. Además tiene las siguientes ventajas:

a) La enorme cantidad de partículas de carbón actúan como núcleo en la formación del coágulo haciendo que este se forme más fácilmente sea de tamaño mayor y sedimente más rápido.

b) Parte del carbón activo, ocluído en el coágulo evita que este entre en descomposición una vez sedimentado, eliminando también de este modo una de las causas del mal gusto y olor en las aguas y hace que la limpieza de los decantadores se efectúe a intérvalos mayores.

c) Al mejorar la coagulación y ayudar a la eliminación del color, la cantidad de coagulante inyectado es menor, por lo tanto hay una economía de éste, lo mismo que de cloro, ya que evitando que los barros entren en descomposición la cantidad de materia orgánica disuelta es menor y por consiguiente también lo será la demanda de cloro.

2º) Cuando el olor o el sabor de un agua no es fuerte o persistente, o cuando no es necesaria la aplicación del carbón antes de la decantación porque las ventajas antes enunciadas no son de utilidad para el caso, este puede ser agregado a la salida de los decantadores o directamente en el filtro. En muchos establecimientos de purificación de aguas, el carbón activo se agrega parte antes y parte después de la decantación, y según los jefes de estas plantas el método tiene sus ventajas, puesto que reúne las de ambos tratamientos. La cantidad de carbón activado que se agrega a las aguas para la eliminación de color, olor y sabor, varía enormemente, desde 0.1 ppm. hasta 130 ppm. pero en la mayoría de los casos de 3 a 5 ppm. son suficientes.

CAPITULO V

Sistemas y Equipos Dosificadores

Los métodos de almacenamiento, maniobra y dosificación de productos químicos para el tratamiento del agua deben ser objeto de estudio por el operador de una planta porque la eficiencia de la misma depende, en alto grado, de su adecuada elección y funcionamiento.

Al final de este capítulo se presentan cuadros y tablas relativas al almacenamiento y maniobra de diversos materiales usados normalmente en plantas de tratamiento.

EC OS DOSIFICADORES.

En los comienzos del desarrollo de la técnica de purificación, fue norma corriente preparar soluciones de productos químicos y agregar cada solución más o menos continuamente al líquido a tratar, por medio de dispositivos adecuados.

Este método, llamado **"DOSIFICACION EN SOLUCION"**, exige 2 mediciones:

a) Hacer la solución de una determinada concentración.
b) Alimentar esa solución a una razón predeterminada.

Aun cuando en plantas de pequeña magnitud es un método aconsejable, deben considerarse las siguientes situaciones:

1) El material es gomoso o adherente, pero soluble como por ejemplo: el cloruro férrico.
2) Dos productos químicos pueden ser mezclados y agregados por el mismo dosificador: por ejemplo: ceniza de soda e hipoclorito de calcio.
3) La distancia a la cual se deben preparar las soluciones exige el empleo de bombas hasta el dosificador o el punto de aplicación.

La preparación de la solución debe ser adecuadamente realizada, para evitar que la solución tenga concentración diferente a la especificada. Además esa concentración debe ser mantenida, ya sea por agitación conveniente o por agregado, a intérvalos, de material bien dosificado según los casos.

La necesidad de disminuir la mano de obra que exigen los dosificadores en solución y hacer el proceso continuo, adaptable a automatismos, hizo surgir el **"DOSIFICADOR EN SECO"**.

Los dosificadores en seco consisten esencialmente, de:

1) Una tolva de almacenamiento cuya garganta inferior permite el pasaje por gravedad al alimentador.
2) Un alimentador, ajustable a diferentes razones de alimentación, del producto químico seco.
3) Un mezclador, donde el producto químico se mezcla con agua, y esa solución o suspensión se envía por gravedad o bombeo al punto de aplicación.

Los dosificadores en seco pueden ser de dos tipos fundamentales, según que el alimentador suministre un peso constante del producto o un volúmen constante del mismo. En el primer caso, el dosificador es del tipo **Gravimétrico** y en el segundo, del tipo **Volumétrico.** El tipo Gravimétrico es de mayor costo que el Volumétrico. No obstante, presenta las siguientes ventajas: a) No es necesario calibrarlo. b) Mayor exactitud de dosaje. c) Facilidad de adaptar un totalizador. d) Facilidad de adaptar automatismos para proporcionalidad de dosis al caudal tratado. e) Facilidad de intalar alarma eléctrica para avisar al operador, en caso de tolvas vacías o dificultades que impidan la llegada del material al alimentador..

DOSIFICADORES EN SOLUCION.

DEPOSITOS DE SOLUCION

El operador debe tener en cuenta que el material debe ser adecuadamente solubilizado o mantenido en la suspensión especifi cada para que la dosificación no sea alterada.

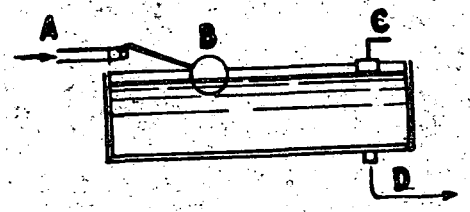
En consecuencia, a menos que la planta no trabaje continuamente poseer depósitos en duplicado para preparar la solución en uno de ellos mientras el otro está en operación.

Las dimensiones de los depósitos deberán estar de acuerdo con la solubilidad del producto químico y con la razón de solución a agregar. La tabla de solubilidades que se expone al final de este capítulo ayudará a sopesar las facilidades o dificultades de la operación, y a determinar el método de operación más adecuado.

Los depósitos deben tener facilidades para acceso y descarga del producto, evitar la propagación de polvo en esa tarea y asegurar que los dispositivos de agitación mantienen su buen estado de funcionamiento.

Los dispositivos de agitación tienen partes sumergid n una solución que puede ser muy corrosiva. Se recomienda el no de cojinetes de alineación sumergidos, el empleo de palo santo o maderas duras adecuadas para ejes y empaletados, y el uso de motores a prueba de polvo y salpicaduras. En ciertos casos se pueden emplear turbinas movidas por el agua a presión disponible en la planta, lo cual evita el uso de dispositivos eléctricos en un ambiente húmedo, lo que no es aconsejable.

ALIMENTADORES DE SOLUCIONES



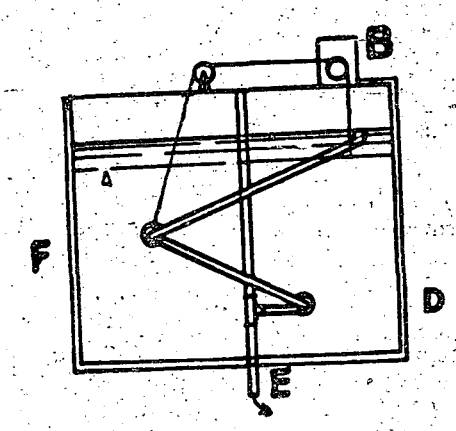
1) **De orificio.**

No requieren dispositivos mecánicos o eléctricos, pero se basan en una altura constante en su caja de solución.

El esquema indica:

(A) Entrada de la solución.
(B) Válvula de flotador que mantiene el nivel constante en la caja.
(C) Ajuste variable del orificio de salida.
(D) Salida de la solución.

Si manejan soluciones corrosivas deben tener revestimientos adecuados. No son aconsejables para suspensiones concentradas o bajas razones de alimentación.

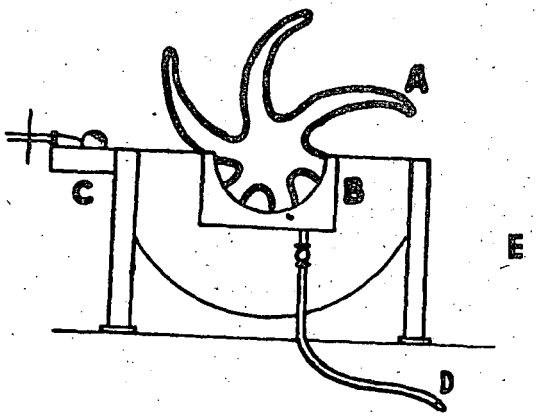


2) **De tubo acodado.**

(A) Tubo acodado.
(B) Equipo de comando del cable o cadena (C) que desciende a intervalos fijos. La magnitud del descenso es variable a voluntad.
(D) Tubo flexible.
(E) Salida.
(F) Depósito.

Al descender la cadena, el tubo acodado baja una cierta magnitud, lo que hace introducir una cierta cantidad de solución al agua a tratar.

Por lo tanto el dosaje es intermitente.



3) **De Rueda de Arquímedes.**
(A) Rueda de canjilones con descarga a la caja de recepción de solución.
(B) La caja de nivel constante.
(C) ésta comunicada con la caja.
(E) de solución, donde se cargan los canjilones.
La salida (D) está alimentada por la caja de recepción (B).
La velocidad variable de la rueda, permite variar el dosaje.

4) **Bombas de diafragma.**
Son bombas reciprocantes cuyo elemento impulsor termina en un diafragma que separa el líquido del cuerpo de la bomba. Las válvulas son generalmente pequeñas y se presentan problemas en maniobra de suspensiones por esta causa.
La presión máxima de operación restringe su uso.

5) **Bombas de émbolo rígido.**
Son muy usadas actualmente, por la variedad de materiales disponibles.
A los efectos de discernir los materiales usados, damos a continuación una tabla de recomendaciones.

TABLA

Solución de dosaje	Materiales recomendados		
	Pistón	Camisas	Válvulas
Sulfato de Al.	Cerámica	SS - 316 o Plio-Tuf	Empaque de Teflón
Soluciones alcalinas	Acero o fundición	Idem	Idem
Hexametafosfato de sodio	Acero inoxidable	Idem	Idem
Cloruro Férrico	Cerámica	Plio-Tuf	Empaque de Teflón

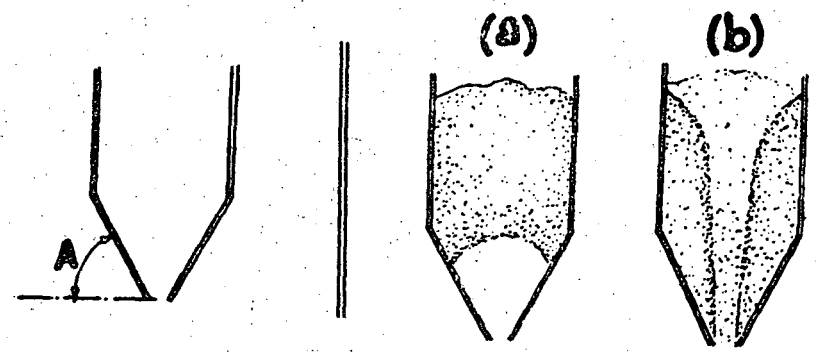
DOSIFICADORES EN SECO

TOLVAS DE ALMACENAMIENTO.

Un equipo dosificador "en seco" no funciona regularmente si el diseño o la operación de la tolva de almacenamiento no son correctos. Las tolvas de almacenamiento son cilindros o prismas con una especie de embudo o cono inferior.

El ángulo A es generalmente de unos 70º, con objeto de que sea superior al ángulo de reposo de los materiales granulados o pulverizados alimentados por el equipo dosificador.

Los inconvenientes que pueden surgir en la operación de una tolva se pueden ennumerar así: 1) **Formación de bóvedas; 2) Adherencias; 3) Sobreflujo.**



El abovedamiento impide el flujo de material según fig. (a). En (b) se observa el fenómeno de adherencia, creándose una zona más o menos estacionaria en contacto con las paredes mientras material segregado más fino descarga por la abertura inferior.

Los materiales que demuestren tendencia al abovedamiento son: ceniza de soda de bajo peso aparente, carbón activado, arcilla y cal hidratada. La tendencia está ligada a propiedades de molienda y a la humedad. Es conveniente que el material tenga un tamaño mayor a 1 m/m. ya que en ese caso la tendencia citada es menor que en material en forma de polvo fino.

Para combatir el abovedamiento se ha empleado el aire comprimido.

Este remedio puede provocar el Sobreflujo que es el arrastre incontrolado de material súbitamente, el cual es explicado como arrastre de aire y fluidización del material.

Es preferible que se empleen agitadores, para que la bóveda tenga base móvil y no pueda mantenerse. También pueden haber paletas que giran uniformemente y evitan la formación de la bóveda.

Sin embargo, cuando el alimentador no funcione, la agitación de la tolva conduce a la compactación del material lo que es menester evitar, así como efectuar una vibración exagerada provoca el mismo inconveniente.

Capacidad de tolvas.

Las tolvas deben ser suficientes para almacenar material para 8 horas de trabajo a la máxima alimentación prevista, excepto en plantas pequeñas donde conviene almacenar para 12 horas a dicha razón de alimentación.

ALIMENTADORES EN SECO VOLUMETRICOS.

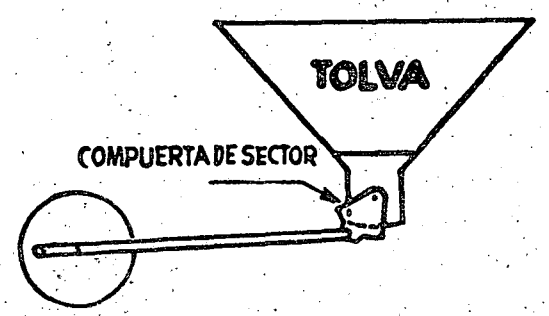
Pueden ser reconocidos 11 tipos diferentes de acuerdo a la selección efectuada por Baldwin y Rudolfs. En las figuras adjuntas se numeran los diversos tipos que se comentan a continuación:

El tipo I se usa en material de grano muy fino y preferiblemente para alimentación intermitente. La variación se logra mediante ajuste de la biela o del excéntrico. El tipo II es también intermitente pero maniobra material más grueso, el que cae cuando se inclina

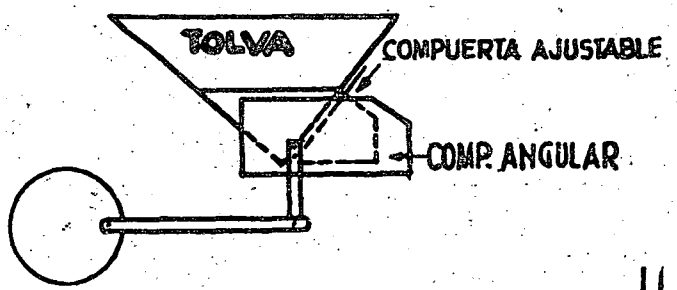
la compuerta en cada revolución del mecanismo. En el tipo III existe dificultades al cabo de un tiempo en razón del número de partes m. .es y del empastado del material en el tornillo. El tipo IV se usa para manejo de materiales gruesos, necesitando amplio volumen de instalación.

El tipo V adolece de falta de exactitud, pero evita el sobreflujo y puede ser aconsejable para plantas pequeñas en el manejo de materiales como cal hidratada, ceniza de soda y carbón activado.

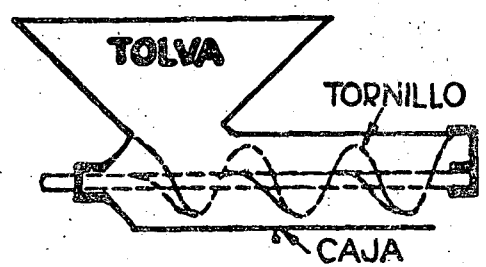
El tipo VI es de un diseño en boga hace 25 años. Sus mayores inconvenientes son falta de exactitud y de limpieza debidos a su operación.



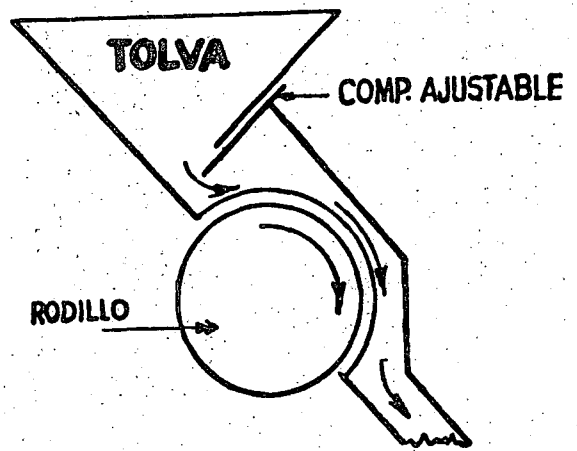
I



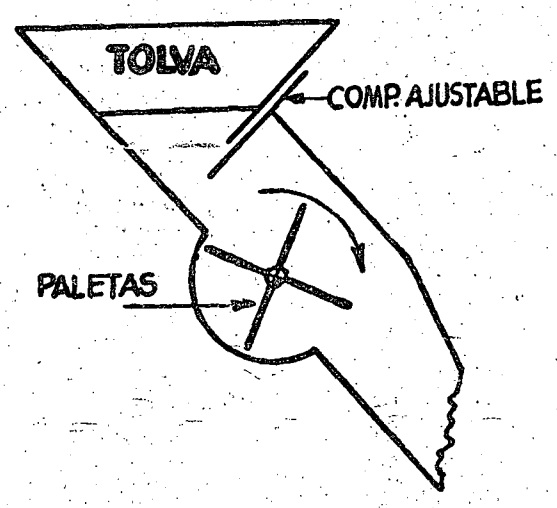
II



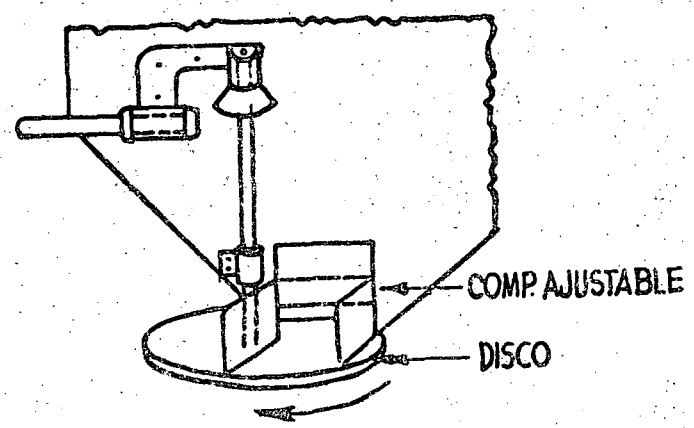
III



IV



V



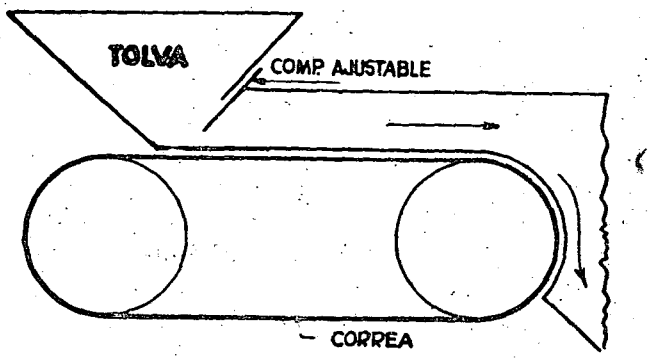
VI

autor ha encontrado errores de 15 % luego de 1 hora de habe stado su alimentación en la planta de Melo (Uruguay).

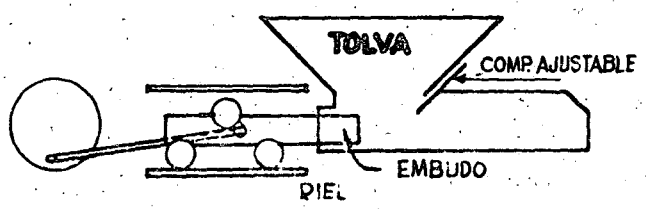
En cambio el tipo VII es de fácil ajuste y de amplio alcance, desde que la correa puede ser de varios materiales y de longitudes. Su uso es más recomendable que el tipo anterior.

Tanto los tipos VIII como IX adolecen de ser difícilmente ajustables y de ser difíciles de limpiar. En el tipo IX el movimiento del plato es alternativo y puede ser variado por el Nº de revoluciones o por el recorrido. El tipo X es llamado de bandeja vibrante. Tiene ventajas por ser de limpieza automática y de fácil ajuste ya que se controla la vibración por el amperaje del electromagneto, lo cual regula la magnitud del recorrido de la bandeja.

VII



VIII



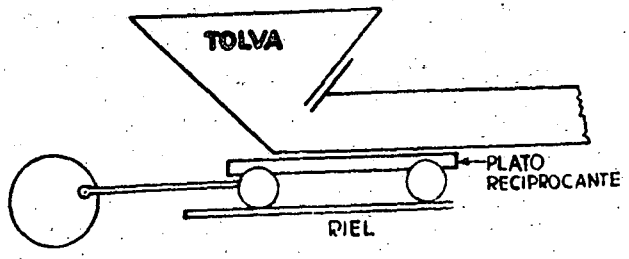
Se pueden maniobrar materiales de todas clases y tamaños, desde menos de 0,1 m/m. hasta de 1 mt. de diámetro.

El tipo XI es el de cabezal oscilante, el más usado actualmente para plantas medianas y pequeñas, teniendo modelos disponibles las compañías manufactureras más importantes.

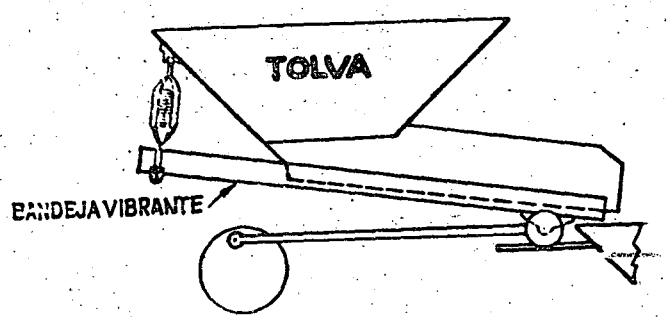
El cabezal oscila en el extremo de la tolva, acompañando el movimiento una caja raspadora que descansa en la bandeja fija inferior. Se produce así una banda de material que cae hacia el mezclador. La capacidad esta fijada por el recorrido que puede ser variado por un tornillo micrométrico.

Un ajuste ulterior es posible realizarlo por el cambio del espacio existente entre el cabezal y la bandeja fija, la que puede ser bajada o levantada.

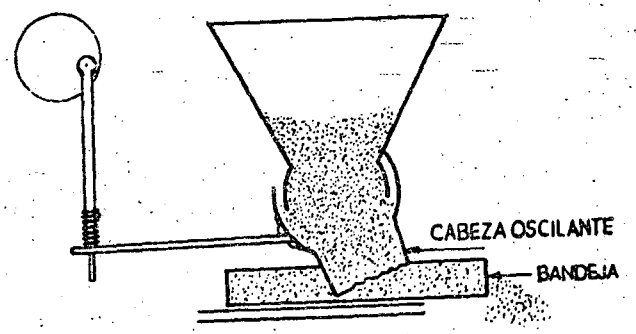
IX



X



XI

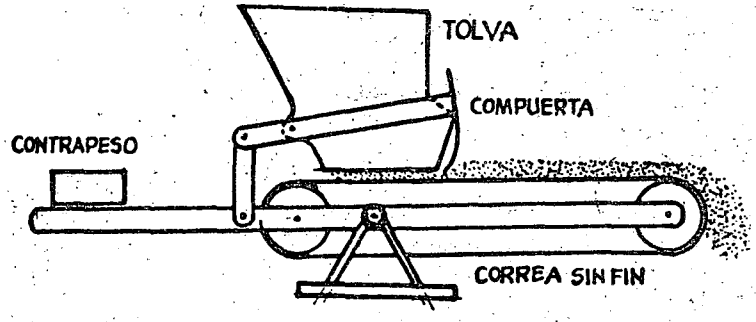


ALIMENTADORES EN SECO GRAVIMETRICOS.

La más importante característica de los alimentadores gravimétricos es que, en realidad, no pesan cierta cantidad de material y luego lo agregan sino que, por el contrario, agregan cierta porción de material y entonces corrigen y ajustan de tal modo que mantienen el flujo preestablecido de material.

Los alimentadores gravimétricos pueden ser de 3 tipos:

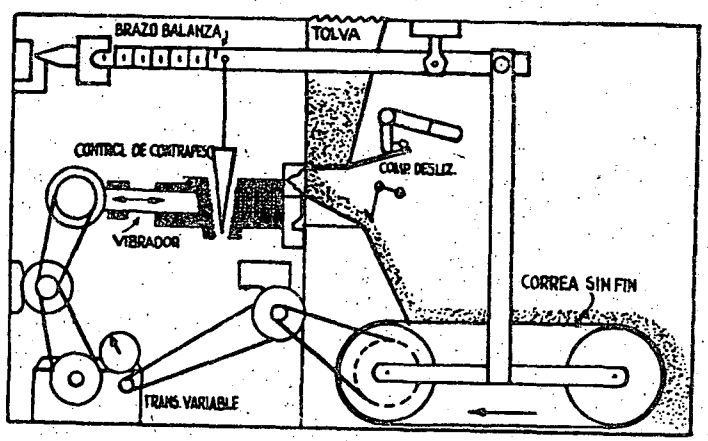
(A) Tipo de Correa-Pivot.
(B) Tipo de Correa rígida.
(C) Tipo de Tolva Suspendida.



XII

El tipo (A) consiste en una tolva cuya salida se controla por una compuerta o por la amplitud de las vibraciones de un vibrador. Este control es accionado por el brazo de palanca de un contrapeso, que equilibra el peso de una correa sin fin sobre la cual se desliza el material alimentado.

La figura XII explica la operación de la clase a compuerta. En el tipo (B) la correa está montada rígidamente sobre un bastidor, pero éste está suspendido de un brazo de una balanza. Del otro brazo de la balanza pende una cuña de goma que recibe de un lado las vibraciones de un vibrador y las trasmite a la bandeja inferior de la tolva. Si hay poco peso en la correa, lo que indica decrecimiento



XIII

en la alimentación, el brazo de la palanca sube, lo que hace bajar la cuña. Al bajar la cuña, aumenta la amplitud de la vibración, lo que corrige la alimentación pues aumenta la cantidad de material que pasa a la correa. En la figura XIII se observa este tipo.

El alimentador (C) de tolva suspendida, sustituye la correa del tipo B por una tolva que pende de un brazo de la balanza. Del otro brazo hace equilibrio un contrapeso, cuya posición en dicho brazo es variable por un mecanismo accionado por un motor síncrono. Cuando el material es alimentado, la pérdida de peso hace inclinar el brazo correspondiente a la tolva hacia arriba, lo cual provocaría

un aumento en la oscilación por un mecanismo de cuña igual al señalado en el tipo B. Pero como al mismo tiempo el cor eso se mueve en el brazo correspondiente de la palanca, solame si este movimiento no corresponde con el peso de material alimentado se provocaría un aumento de vibración. El resultado es que hay un flujo de peso uniforme y que, además, la posición del contrapeso indica en todo momento el peso de material que hay en la tolva.

CAPACIDAD DE ALIMENTADORES.

Los alimentadores volumétricos generalmente tienen el siguiente rango de operación correcta, aún cuando sean capaces de funcionar a rangos mayores con menor exactitud:

Carbón activado	12: 1
Cal hidratada	40: 1
Ceniza de soda	75: 1
Sulfato de Alúmina	100: 1
Sulfato Ferroso	85: 1

El error generalmente aceptado es de ± 5 %.

Los alimentadores gravimétricos pueden ser operados en el rango 100:1 excepto los que son especialmente diseñados para operar en altas capacidades, mayores a 50 kg/hora (límite inferior).

La exactitud puede, en el caso de los gravimétricos, ser del orden de 2 %.

El tipo (C) se recomienda en los siguientes casos:

a) En plantas cuyo dosaje vaya desde 100 gramos/hora.
b) Para maniobra de carbón activado, por el polvo confinado.
c) En grandes plantas, donde el costo adicional es compensado por menor mantenimiento.

Los tipos (A) o (B) son recomendados para plantas de magnitud, que alimentan 10 kg/horas en adelante, o cuando se trabaje con apagadores de cal o en conjunción con grandes tolvas de almacenamiento.

MEZCLADORES.

El material dosificado por el alimentador debe pasar a un recipiente donde se mezcla con agua disolviéndose o alcanzando una suspensión determinada.

Si esta solución o suspensión no se produce correctamente, entonces de nada valen la propia y correcta operación de los equipos mencionados anteriormente.

Las figuras adjuntas explican por sí solas las operaciones de cada tipo de mezclador usado. (ver pagina 28)

Es fundamental que la capacidad de cada mezclador sea adecuada al tipo de producto maniobrado. Eso tendrá en cuenta la solución o suspensión adecuada, para lo cual se expone la tabla que se encuentra al final de este capítulo, y el período de retención, que varía con cada producto químico empleado. Cuando se emplea agitación de agua, es imprescindible que exista una presión mínima de salida que asegure la agitación buscada, la cual no será menor de 3 kg/cm².

A los efectos señalados, se advierte que el sulfato de alúmina, el sulfato de amonio y el sulfato ferroso necesitan 5 minutos de detención, la cal hidratada 6 minutos, la ceniza de soda y el sulfato férrico, 20 minutos.

Los revestimientos de los mezcladores deben ser adecuados a la solución o suspensión que maniobra. Se recomienda usar acero o chapa, solamente para cal o ceniza de soda, mientras que es necesario revestir con goma, chapa de plomo o asfalto y madera, para ciertos otros materiales de reacción ácida como el cloruro férrico o el sulfato de alúmina.

TABLA DE PROPIEDADES

Producto Químico y fórmula	Peso aperente Kg/m³ (o bien º Bé)	Disolución Recomendada (máxima)	Solubilidad gr. 100/ml. 0ºC 20ºC	Materiales adecuados de maniobra
Carbón Activado (C)	192 (polvo)	120 grs/lt.	Insoluble Suspensión máx. 120 grs./lt.	Seco: Hierro, acero Húmedo: Acero inox. goma, Eductores de bronce.
Silice Activada (SiO_2)	1000 (líquido)	Preparada activando el silicilato de sodio	Insoluble	Hierro, goma, aceros en gri.
Sulfato de Alúmina $Al_2(SO_4)_3$ $14 H_2O$, (aprox.)	960 a 1200 (granulado)	60 grs/lt.	60 — 71	Seco: Hierro, acero, hormigon. Húmedo: Plomo, goma, asfalto, ciprés, acero inox. 316, plásticos.
Sulfato de Aluminio líquido $Al_2(SO_4)_3 \times H_2O$	Solución de — 27º Bé — 32.2º Bé — 36.4º Bé	3 %	Completamente mezclable	Tanques revestidos de plomo, goma. Conductos de ebonita o plásticos.
Amoníaco Anhidro (NH_3)	———	———	47,3 — 34,6	Hierro, acero, vidrio, níquel, metal monel.
Sulfato de amonio $[(NH_4)_2SO_4]$	960	Aparatos en seco: 60 grs. lt. Aparatos en solución: 120 grs. lt.	70,6 — 75,5	Seco: Hierro, acero. Húmedo: Acero inox. goma, plásticos, cerámico.
Cal hidratada $[Ca(OH)_2]$	650	Aparatos en seco: 60 grs. lt. Aparatos en solución: 80 grs. lt.	0,18 — 0,16	Hierro, acero, goma, etc. No usar plomo.
Carbonato de sodio $[Na_2CO_3]$	Desde 650 a 1000	Aparatos en seco: 60 grs./lt. Aparatos en solución: 120 grs./lt.	7.0 — 21,5	Hierro, acero, conductos de goma, plásticos.
Sulfato ferroso $[FeSO_4 7H_2O]$	1000	120 grs./lt.	28,7 — 48,5	Seco: Hierro, acero, hormigón. Húmedo: Hierro, plomo, goma, asfalto, ciprés, plásticos, acero inox.
Sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3 3H_2O$	1140	240 grs. lt.	Muy soluble	Acero inox. 316, goma, plomo, cerámicas.
Hexametafosfato de sodio $(NaPO_3)_6$	800	120 grs./lt.	Muy soluble	Acero inox., goma, plásticos, cerámicas, revestidos de asfalto.

CAPITULO VI

Sedimentación

Una vez formados los flóculos o coágulos de dimensiones convenientes, de tal modo que el líquido entre los mismos sea claro y excento de color, la operación subsiguiente consiste en lograr la separación de dichos flóculos del resto del agua. Puede decirse que, en general, las plantas de purificación de agua obtienen el resultado que se busca mediante una reducción de la velocidad media del agua que se desplaza.

Es evidente que la reducción de velocidad se logrará mediante un incremento de la sección de pasaje del agua, lo que conduce a estructuras o unidades de dimensiones importantes .

Estas unidades, al proveer las facilidades para disminuir la velocidad media del líquido, reducen al propio tiempo las fuerzas de arrastre que el mismo líquido ejerce sobre las partículas.

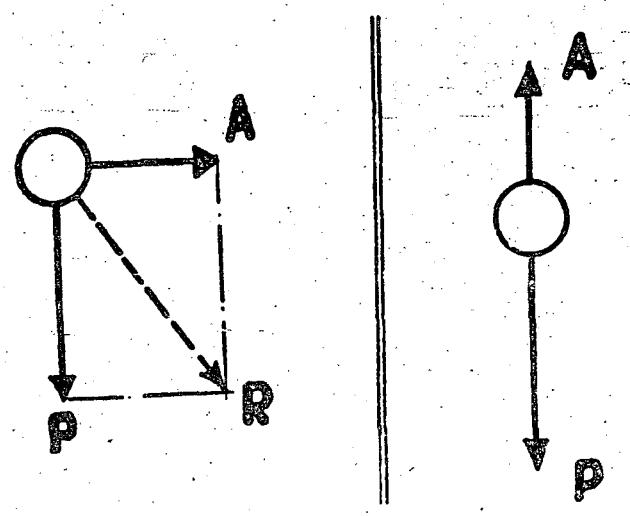
En consecuencia, la partícula o coágulo queda sometida a la acción preponderante de su peso y por lo tanto, la sedimentación será más rápida, a igualdad de otras condiciones.

Los sedimentadores pueden ser: a) **de flujo horizontal** y b) **de flujo vertical.**

Pertenecen a la clase a) aquellos sedimentadores convencionales en los cuales la corriente líquida o filetes son sensiblemente horizontales.

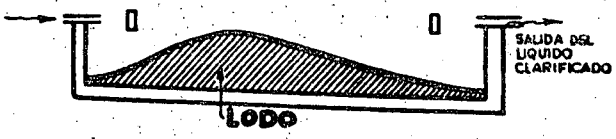
Los de la clase b) tienen el flujo vertical de líquido ascendente, lo que se logra por medio de cambios de dirección del agua utilizando artificios hidráulicos o mecánicos.

A los efectos de ilustrar mediante un esquema la acción que se ejerce en cada partícula, en las dos clases de sedimentadores, representamos con vertores o flechas las fuerzas actuantes:



Caso (a) Caso (b)

En el caso (a) la resultante R de la fuerza de arrastre de la corriente A y del peso P, es una fuerza orientada en diagonal hacia abajo, la que explica que el lodo que se deposita en los sedimentadores del tipo (a) no se acumule inmediatamente contiguo a la entrada a los mismos, sino que adopte una disposición como la siguiente:



En el caso (b), la fuerza resultante resulta inmediatamente de restar de la fuerza P (peso) la fuerza A (arrastre), lo que da una fuerza del mismo sentido que P o sea orientada verticalmente hacia abajo.

Es evidente, en ambos casos, que si la fuerza de arrastre es menor (lo que sucede cuanto menor sea la velocidad) entonces la resultante R producirá los resultados deseados más rápidamente.

Sin embargo, no es únicamente la velocidad lo que interviene como variable influenciando la sedimentación. Es comprensible que las características del flóculo o partícula, la temperatura y la estructura en sí del sedimentador sean también factores importantes en la operación de este último.

EFICIENCIA DE SEDIMENTADORES.

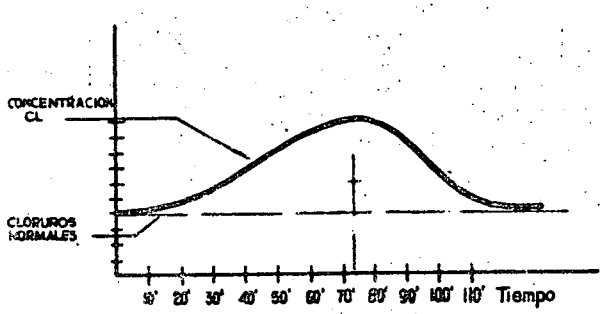
Se denomina período de retención de un sedimentador al tiempo teórico que resulta de dividir el volumen de líquido albergado por el gasto o caudal. Así, por ejemplo, si un sedimentador tiene un volumen de 2.000 m.³ y el caudal es de 400 m3/hora el período teórico de retención es de 5 horas.

Este período que sería el tiempo que cada gota de agua tardaría en recorrer el sedimentador, teóricamente, se cumple solamente para una pequeña porción del volumen de agua que entra a la unidad sedimentadora.

El resto se aparta del período teórico en razón de cortocircuitos de flujo dentro del sedimentador. Esos cortocircuitos son verdaderas corrientes que pueden reducir, el período de retención de parte del agua que llega al sedimentador, a una fracción del teórico.

El operador puede determinar la eficiencia de su sedimentador mediante el siguiente procedimiento.

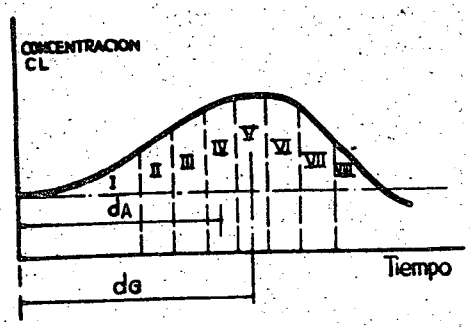
Se agrega a la entrada de la unidad una cierta cantidad de sal común disuelta, de modo de obtener una concentración de 500 ppm. de cloruro de sodio (sal común) en el agua, en forma instantánea. Inmediatamente se comienza a determinar la concentración de cloruros, por el método que se elija, en el efluente del sedimentador. Si se cumpliera el período de retención teórico T, se obtendría al cabo de un tiempo T un concentración de cloruros de 300 ppm. como Cl⁻ sobre los cloruros normales del agua. En cambio, en razón de los cortocircuitos, se obtendrá una curva como la siguiente:



El período de retención práctico corresponde al del centro de gravedad del área encerrada entre la curva y la recta horizontal de cloruros normales.

La determinación de dicho centro de gravedad se puede efectuar fácilmente mediante el siguiente procedimiento:

Multiplíquese el área encerrada entre la curva, la horizontal de cloruros normales y 2 verticales sucesivas por la distancia entre de las concentraciones.



Si llamo A_{IV} al área de IV y d_4 a la distancia al eje, tendré:

$$\Sigma\ Aidi = A_I dj + A_{II} d2 + A_{III} d3 + A_{IV} d4 + A_V d5 + A_{VI} d6 + \ldots + A_{VIII} d8$$

Si además

$$Si = A_I + A_{II} + A_{III} + \ldots\ldots\ldots\ldots + A_{VIII}$$

resulta que la distancia al eje de las concentraciones del centro de gravedad será:

$$d_G = \frac{\Sigma\ Aidi}{Si}$$

Esa distancia determina, por lo tanto, el período práctico de retención.

Es deseable, en general, que el período práctico de retención sea, por lo menos, en 30 % del período de retención teórico.

Conviene mencionar aquí que: aún con un período de retención adecuado, la eficiencia del equipo puede ser baja, porque la cantidad de coágulos o partículas en el efluente sea alta. En ese caso, el operador debe buscar la corrección de las deficiencias en la floculación, ya sea mediante cambio de sodificación, cambio de punto de aplicación de coagulantes, cambio de coagulante empleado, ayudas de coagulación, modificación de velocidades de mezcla y acondicionamiento o, en casos especiales, retorno de lodos.

SEDIMENTADORES A CARPETA FLOTANTE O DE CONTACTO DE LODOS.

Estos equipos, procedentes de diferentes casas comerciales, están basados en ciertos principios de diseño cuyo ajuste se efectúa de acuerdo al tipo de agua a tratar y a los resultados buscados.

Esos principios son:

1) El agua bruta o ya con el agregado y mezcla de coagulantes, estará en contacto íntimo, durante un intervalo definido de tiempo, con los lodos previamente formados.
2) La velocidad del flujo vertical, en la salida de las unidades, debe ser tal que no provoque arrastre de materia coagulada o partículas en suspensión por encima de una cifra de turbiedad adecuada (por ej. 10 o 20 ppm.).
3) El nivel máximo de la carpeta de lodos no deberá exceder determinada magnitud, lo cual es variable con el agua a tratar y su caudal.

La operación de estas unidades es normalmente más complicada que la de los equipos convencionales y se recomienda seguir las instrucciones de la casa instaladora.

s importante señalar ciertas ventajas e inconvenientes de estos e os, de carácter general, para que el operador sepa a qué atenerse respecto a su alcance y eficiencia.

En razón del contacto íntimo con precipitados ya formados y a causa de la ley de actividades (acción de masas) son de gran eficiencia en reacciones de ablandamiento por método de cal y soda u otros de la misma índole.

Con ciertos tipos de agua y para ciertos usos de la misma, el ahorro de espacio y de estructura para lograr el mismo propósito, representa un considerable ahorro en costo de primera instalación.

El operador debe cuidar los cambios de agua bruta y/o de tratamiento.

Las unidades no responden a cargas de choque súbitas con la misma tolerancia que los equipos convencionales y el retorno al funcionamiento normal puede ser más prolongado y dificultoso.

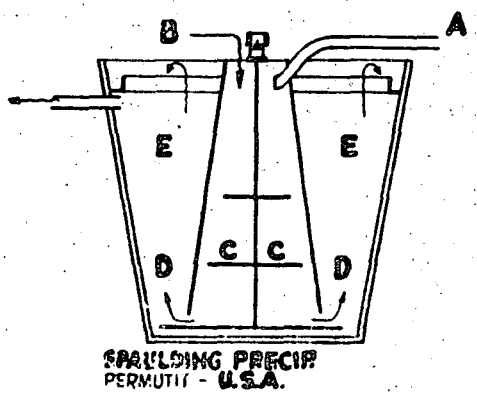
El operador deberá siempre cuidar 2 aspectos de la operación: a) el nivel máximo de los lodos y b) la concentración de los lodos en diferentes alturas. Para ello puede obrar, generalmente, de 3 modos:

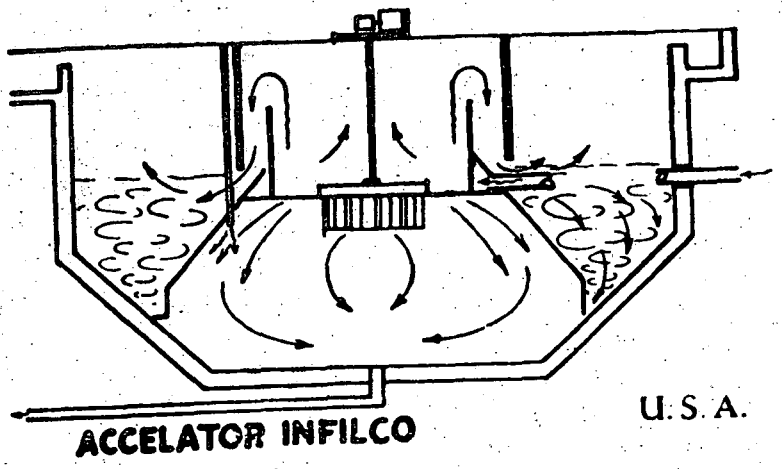
1) Cambiando la dosificación de productos químicos o su naturaleza.
2) Incrementando o disminuyendo la agitación de los lodos.
3) Incrementando o disminuyendo el retiro de los lodos.

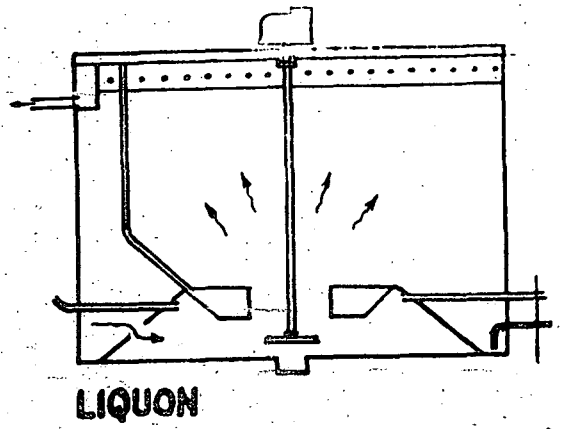
El retiro de lodos puede ser efectuado manualmente, determinado, mediante observaciones directas del operador, o automáticamente, ya sea teniendo en cuenta una variable en la operación de la planta (por ej.: el caudal de agua bruta) o con control fotoeléctrico. En este último caso se tiene en cuenta también el total de sólidos precipitados mediante el control de nivel de la carpeta. Para realizarlo se deriva un film delgado contínuo desde una cierta zona de la carpeta de lodos, el que pasa a ser analizado en sus propiedades de transmisión de luz por una célula fotoeléctrica la cual comanda la válvula de drenaje de lodos. En general se cree conveniente que el operador controle manualmente la descarga de lodos, aún cuando el equipo posea dispositivos automáticos como el citado, los que quedarían como elementos de seguridad.

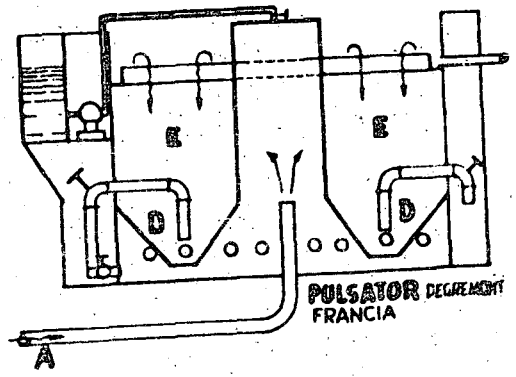
La siguiente es una revisión esquemática de distintos tipos de equipos patentados que se ofrecen en el mercado.

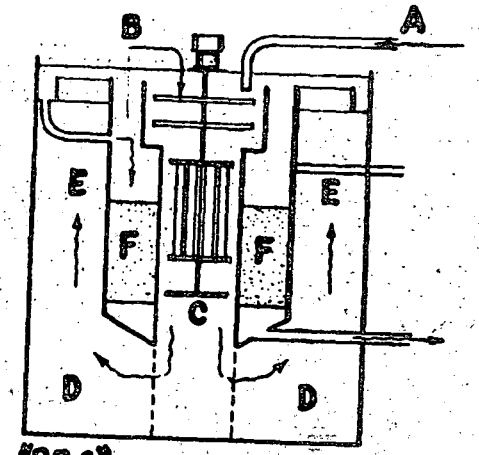
E — Zona de Clarificación. B — Dosificación de productos químicos.
C — Zona de contacto. D — Zona de carpeta.
A — Entrada de agua bruta. F — Filtro rápido.



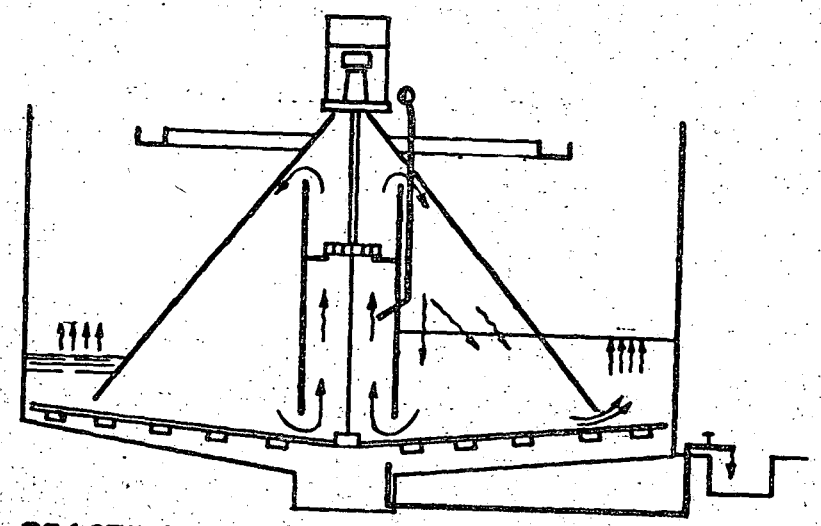








"P.B.C." P.B.C. INGENIEROS URUGUAY.



REACTIVATOR - GRAVER W. Cond. Co. U. S. A.

TIPOS DE MEZCLADORES

VER PAGINA 21

CAPITULO VII

Filtración

La filtración es el proceso por el cual se separan del agua materiales en suspensión cuando atraviesa un lecho poroso de material granulado, generalmente arena.

Hay 2 tipos de lechos filtrantes:

1) Lentos (A.) A gravedad

2) Rápidos (B.) A presión

1) FILTROS LENTOS.

En este caso el agua se pasa a baja velocidad a través de un lecho relativamente profundo de arena fina (Arena de tamaño efectivo 0.3 con profundidad de 60 cm. a 1 m.) Un recubrimiento gelatinoso o "zooglea" se forma sobre el lecho y entre los gránulos de las primeras capas superiores a la arena, por acumulación de ese material en suspensión mencionado; lo que es llamado "maduración del lecho". La remoción de las impurezas es efectuada parcialmente por floculación y efectos hidromecánicos (una especie de cribado) y parte por el proceso coloidal de absorción. Al continuar pasando el agua, las capas superiores de la arena que contienen la mayor parte de la materia suspendida que ha sido eliminada del agua, se incrementan hasta un espesor tal que interpone una resistencia muy grande al flujo de agua. Llegado a ese punto (en promedio cada 25 días) el filtro debe ponerse fuera de servicio y limpiado. La limpieza puede hacerse de varios modos, el más antiguo y general es removiendo la capa superior de la arena. Existen también sistemas de limpieza en una base continua por eyectores que descargan en tolvas con baffles o aún por máquinas especiales que recorren la superficie de la arena.

2) FILTROS RAPIDOS.

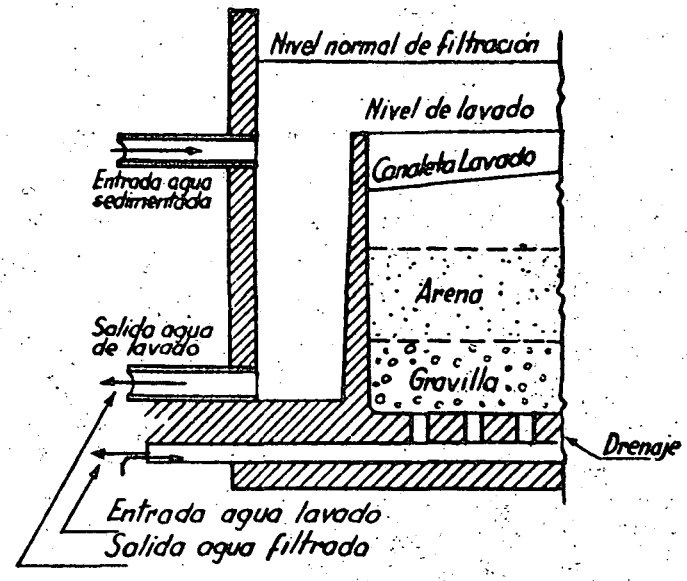
Por contraposición a los filtros lentos que reciben aguas sin tratamiento previo o con un ligero proceso de purificación, los filtros rápidos exigen una coagulación previa de tal modo que flóculos de pequeño tamaño lleguen al filtro con el agua a filtrar. Cuando el filtro rápido se coloca en operación, el flóculo y materias en suspensión que puedan aún quedar en el agua luego del tratamiento previo, penetran en los poros de las capas superiores de la arena donde se alojan y contribuyen a una acción ulterior de coagulación y cribado. Lo mismo que antes se dijo, al acumularse mayor cantidad de materia en las capas superiores se produce una mayor resistencia (pérdida de carga) al pasaje de agua; así como la mayor velocidad en los poros del material filtrante provoca una mayor penetración de los flóculos. Se llega a un punto en que la eficiencia del filtro (ya sea la relativa a la eliminación de turbiedad o bacterias; o bien la cantidad de agua que pasa) se hace inferior a la admisible y por tanto se procede a una regeneración del filtro por el proceso del lavado.

ELEMENTOS DE FILTROS RAPIDOS DE GRAVEDAD.

A los efectos de conocer la estructura general de un filtro rápido, conviene considerar el siguiente esquema que representa un corte longitudinal de un filtro tipo:

Las partes esenciales de un filtro rápido son:

a) La caja del filtro;
b) Tuberías y Sistemas de distribución y recolección;
c) Sistema de drenaje;
d) Medio filtrante (arena y gravilla);
e) Reguladores y controladores de filtración;
f) Sistema de llaves o válvulas de operación;



a) **La Caja de Filtro.**

Es casi universalmente construida de hormigón (concreto) armado. La forma no es importante con relación a la eficiencia de la filtración en sí, pero tiene ingerencia en la distribución del agua y en el diseño del sistema del drenaje.

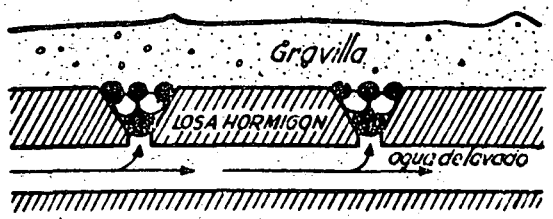
b) **Entrada y Sistemas de Distribución y Recolección.**

La tubería principal de salida del sedimentador se bifurca para entrar en los filtros para lo cual el proyectista ha tenido en cuenta las velocidades máximas tolerables evitando así rupturas de flóculos. El canal que se observa en el esquema, ayuda a la distribución del agua sedimentada así como lo hacen las canaletas de agua de lavado. Es esencial que esas canaletas estén propiamente espaciadas de modo de distribuir el agua sedimentada y de recolectar el agua de lavado adecuadamente. Se comprende asimismo la importancia de que los vertederos de dichas canaletas estén a la misma altura, para evitar (durante el lavado) corrientes que perturban los lechos filtrantes. (La máxima diferencia admisible son 3 m/m.) Las canaletas deben estar a una distancia tal sobre la superficie de la arena que no pueda haber arrastre de arena en el lavado cuando éste se efectúa.

c) **Sistema de drenaje.**

El sistema de drenaje tiene doble misión: 1) Recoger el agua filtrada, y 2) Distribuir el agua de lavado adecuadamente sobre la entera área filtrante. Hay dos tipos generales de sistemas de drenaje: el primero de ellos admite el agua a través de conductos y obtiene una distribución adecuada del agua de lavado pasando el agua al lecho filtrante a través de orificios restringidos; mientras que el segundo tipo admite el agua sin restricción a toda la parte inferior del lecho mientras la distribución se obtiene por orificios pequeños que acceden a unas piezas o conos con elementos que difunden el agua adecuadamente. Un representante típico del primer sistema es el llamado de múltiple y laterales. El múltiple es el tubo central y perpendicularmente a él se conectan tubos laterales los cuales tienen perforaciones que apuntan a un ángulo de unos 30º del eje vertical del lateral (hacia el fondo del filtro). A veces existen colocados unos difusores en lugar de las perforaciones con el objeto de uniformizar más aún la salida del agua de lavado.

Del segundo tipo de sistema de drenaje cabe citar el llamado Wheeler que responde al esquema:



El agua es difundida por las bolas de porcelana de cada cono.

d) **Medio Filtrante.**

En el esquema del filtro se observa que el medio filtrante está compuesto de la arena y la gravilla o grava. La misión fundamental de la arena ya se ha visto; la gravilla tiene como rol servir de soporte a la arena (por su graduación) y distribuir finalmente el agua de lavado cuando se efectúa ese proceso. Al elegir las características del medio filtrante, el proyectista ha tenido en cuenta los siguientes factores:

1) El tipo de sistema de drenaje;
2) La eficiencia y costo del lavado;
3) La "Carrera de filtración";
4) El tipo de arena disponible;
5) El tratamiento del agua previo a filtración.

Aún cuando estos factores limitativos deben tenerse presentes, existen algunas reglas y consideraciones prácticas que adicionalmente deben conocerse. Toda arena, luego de una adecuada extracción de una muestra representativa, puede someterse a un ensayo de tamizado que nos indica su composición granulométrica. Para eso se usan series de tamices, cuyas aberturas están comprendidas entre 0.2 y 1.65 milímetros; y se procede a efectuar el ensayo tal cual se realiza en la clase práctica.

Se entiende por "tamaño efectivo" la magnitud del grano de la arena tal que el 90 % en peso es mayor que esa magnitud (o sea el 10 % en peso es menor).

El coeficiente de uniformidad expresa la relación entre un tamaño de grano tal que el 60 % en peso de la arena es mas fino que él, y el tamaño efectivo.

Así si tenemos:

10 % en peso más fino que 0.6 milímetros
60 % en peso más fino que 0.9 milímetros

El coeficiente de uniformidad será $\frac{0.9}{0.6} = 1.5$

En razón de que los tamices no separan la arena en fracciones que responden a porcentajes exactos, es necesario proceder a establecer gráficamente los resultados obtenidos. Lo mejor es efectuar la gráfica en papel probabilidad-logarítmico, pero puede efectuarse en papel semilogarítmico si el anterior no está disponible. Un ejemplo de la gráfica se adjunta, así como el análisis de arena correspondiente.

Conviene establecer ahora que la carrera de filtración es el intervalo de tiempo entre 2 lavados consecutivos, supuesto que la filtración es continua en dicho intervalo. El lavado que se efectúa en sentido contrario a la filtración, es la admisión de agua a los efectos de limpiar la arena por agitación y raspaje.

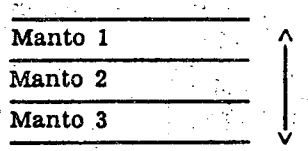
Aún cuando se insistirá más adelante sobre estos temas se comprende desde ya que los tamaños de arena seleccionados serán tales de obtener una carrera de filtración tan larga como sea posible con

el ti de tratamiento previo usado, siendo la tendencia actual a mej en lo posible el tratamiento, usando así arenas de mayor tamaño efectivo.

Sin embargo, a mayor tamaño efectivo se necesita mayor velocidad de agua de lavado y de consiguiente un sistema de drenaje apropiado así como estructuras o equipos que permitan efectuar ese lavado de mayor capacidad. Es por otra parte casi evidente que con arenas mas gruesas habrá una mayor penetración del flóculo por lo que se necesitará en general, un manto filtrante de mayor espesor. A los efectos de guía en la selección y corrección de arenas, conviene seguir las siguientes especificaciones, salvo que se prefiera usar el método de Allan que se expone más adelante.

1) La magnitud que establece que el 1 % en peso es menor que ella no debe ser menor que la mitad del tamaño efectivo.
2) El coeficiente de uniformidad no debe exceder 1.7.
3) La magnitud que establecen que el 99 % en peso es menor que ella no debe exceder la menor de estas dos magnitudes; 2 milímetros o cuatro veces el tamaño efectivo.

La arena debe ser un material de granos duros, libre de arcilla, limo, polvo o materia orgánica. Si la arena recibe aguas de pH menor que 8, se deberá hacer un ensayo de solubilidad en HC1 (ácido clorhídrico) del modo siguiente: Se inmerge la muestra en una solución de HC1 al 28.5 % en volúmen (4 partes de HC1 concentrado en 10 de agua destilada) por un período de 24 horas a temperatura ambiente. La muestra es de 10 gramos lavada en agua destilada, secada y pesada. Al cabo de las 24 horas se enjuaga la muestra con agua destilada, se seca y se pesa. El porcentaje de solubilidad está dado por el cociente de la pérdida de peso sobre el original y multiplicando por 100. En las arenas aceptables no puede pasar del 5 %. El **método de Allan** se basa en lo que se llama **profundidad crítica** de una arena; que se define como el espesor de un manto de arena uniforme que demuestre una pérdida de carga de 8 pies al exhibir el efluente una turbiedad de O.1 p.p.m. Si se admite que la profundidad de cada tamaño de arena en el filtro es proporcional al porcentaje en peso de ese tamaño dado en el análisis granulométrico (lo cual es evidente si se observa que en el lavado del filtro la arena se estratifica de acuerdo a su peso) y además se concibe que la capacidad de filtración de cada tamaño es inversamente proporcional a su profundidad crítica, tenemos: llamando PC1, PC2, PC3, etc. a los porcentajes de la altura total dm del filtro, que:



siendo C la profundidad crítica de cada manto.

$$d1 = \frac{PC1 \times dm}{100 \times C1}$$

$$\sum \frac{PCi \times dm}{100 \times Ci} = \frac{PC1 \times dm}{100 \times C1} + \frac{PC2 \times dm}{100 \times C2} + \frac{PC3 \times dm}{100 \times C3} + \ldots$$

Esa suma tiene que ser igual a 1 si queremos que dm sea la profundidad crítica del manto compuesto, pues $\frac{\sum PCi \times dm}{100 \times Ci} = 1$

Entonces de ahí se extrae: $dm = \frac{100}{\sum PCi/ci}$

o sea

$$dm = \frac{100}{\frac{PCi}{C1} + \frac{PC2}{C2} + \frac{PC3}{C3} + \ldots}$$

En un ejemplo veremos cómo la complicada apariencia de la fórmula, es en realidad de sencilla aplicación.

E J E M P L O

TAMAÑO DEL TAMIZ Nº	m/m.	PROFUNDIDAD CRITICA Ci. (pulgadas)	PORCENTAJE PCi	PCi/Ci
35	.60	9	7.08	0.79
30	.75	11	52.97	4.81
24	.95	16	23.08	1.44
20	1.17	24	7.80	0.33
16	1.75	47	9.07	0.19

Entonces:

$$dm = \frac{100}{0.79 + 4.81 + 1.44 + 0.33 + 0.19}$$

$$\text{o sea: } dm = \frac{100}{7.56} = 13.2$$

El manto mínimo tiene pues 13.2 pulgadas de espesor.

Es evidente que la arena cuyo análisis se muestra en el ejemplo está ya seleccionada. Para ver la manera de seleccionar esa misma arena, daremos también un ejemplo:

Tamaño del Tamiz Nº	M/M.	Ensayo granulométrico		
Queda		.86		
100		.04		
80		.04		
60		.12		
50	37	.36		
45	43	2.08		
40	50	10.06		
35	60		5.36	
30	75	Rechazada por	40.06	
24	95	muy fina	17.46	
20	1.17		5.90	
16	1.75		6.86	
10	2.50			
8	3.75		Elegida	5.42
				5.38
				Rechazada por muy gruesa

El total de las rechazadas y elegidas son 100 gramos, pero 5.36 + 40.06 + 17.46 + 5.90 + 6.86 = 75.64 grs.

Entonces cada tamaño lo obtenemos por proporción del siguiente modo:

$$\frac{5.36}{75.64} = \frac{x}{100} \quad \text{o sea} \quad x = 7.08$$

$$\frac{40.06}{75.64} = \frac{x}{100} \quad \text{o sea} \quad x = 52.97$$

$$\frac{17.46}{75.64} = \frac{x}{100} \quad \text{o sea} \quad x = 23.08$$

y así sucesivamente.

observa que los porcentajes así obtenidos son los PCi que anteriormente se tomaron para la arena seleccionada, sobre los cuales calculamos el espesor del manto dm. No debemos olvidar por último que es necesario colocar un espesor 25 % mayor de arena por razones de seguridad.

La gravilla debe ser tal que los vacíos o poros en cada manto sean menores que las partículas en el manto superior considerado. En particular, el mínimo tamaño de gravilla está fijado por el máximo tamaño de arena (a veces llamado arena torpedo). La capa tope consistirá en gravilla no más fina que 1.6 m/m. ni mayor que 4.8 m/m. La capa inferior consistirá de grava de un tamaño de 19 m/m. o mayor.

Para los espesores de la capa se impondrán las siguientes condiciones:

a) La altura de una capa de grava no será menor que 50 m/m. ni menor que 2 veces el mayor tamaño de grava de esa capa cualquiera sea ese tamaño.

b) La altura total de la grava sobre los drenes no será menor que 30 cms.

En cuanto a las condiciones físicas a cumplir por la grava se tienen las siguientes:

a) Debe ser obtenida de una fuente que suministre piedras duras, redondeadas con un peso específico no menor de 3.5 (no mas de 1 % puede tener menos de 2.25 de peso específico). La grava no deberá contener mas de 2 % en peso de piedras chatas, alargadas o finas en las que la mayor dimensión exceda en 3 veces la menor dimensión. Deberá estar libre de arcilla, mica, arena, limo, o impurezas orgánicas de cualquier clase. Para aguas de pH debajo de 8 se ensayará su solubilidad en HCl, imponiendo como límites 10 % para grava de tamaño 9 m/m. en adelante y 5 % para tamaño menor. En cuanto a la técnica de operación es la misma que la expuesta al hablar de arenas. La porosidad de cada camada debe estar entre 35 y 45 %. — En cuanto a colocación del manto filtrante deben seguirse las siguientes recomendaciones: la camada de fondo de grava debe ser colocada cuidadosamente a mano, el correcto espesor de cada manto será marcado al costado del filtro y la comprobación se hará subiendo el nivel del agua hasta la marca. En todo material menor de 13 m/m. no se debe pisar directamente por el obrero.

La profundidad de la arena será medida después que se ha lavado el filtro 3 veces con un caudal de lavado que dé un 30 % de expansión. El cierre de la válvula desde la abertura que dá el 10 % de expansión, no debe producirse antes de haber transcurrido 30 segundos.

e) f) **Lavado del filtro. — Reguladores y Controladores de filtración.**
Sistema de llaves.

Se dijo antes que el lavado es el pasaje de agua a contracorriente, de modo que haya una acción de arrastre de cada grano y que al mismo tiempo produzca el desprendimiento de la materia acumulada por raspaje. Cada grano de arena será arrastrado de modo que esa acción se equilibre con su peso, notándose que la eficacia del lavado no se incrementa al aumentar la razón de lavado una vez que la arena está en suspensión. — El grado de expansión de un lecho de arena, que es la altura máxima a la que llega la arena durante el lavado, se usa para control de este proceso. — Debe tenerse en cuenta que no debe permitirse que el lavado produzca la pérdida de arena al ser arrastrada hasta la canaleta.

Si al cambiar una arena se coloca una arena más gruesa (por ejemplo para reducir bolas de barro o para obtener carreras más largas) habrá necesidad de mayor razón de lavado, pero ese puede requerir tuberías y válvulas mayores (y aún mayores canaletas de lavado). Si el cambio no es grande, se puede lograr el mayor caudal de lavado elevando los tanques de agua de lavado o bien poniendo las bombas de lavado en paralelo.

El siguiente cuadro puede ayudar a conocer las razones de agua de lavado, en arenas de distinto tamaño efectivo:

— T.E. — m/m.	— Razón de lavado — (centímetros/minuto)
0.25 a 0.35	60
0.35 a 0.65	72
0.65 a 0.95	84
0.95 a 1.35	96

Es conveniente dejar establecido aquí que las razones de filtración normales son mucho menores que las razones de lavado (en general la séptima parte).

Para mantener esa razón de filtración hasta que sea el momento de lavar el filtro es necesario usar los **reguladores de filtración.**

Recordemos aquí que a medida que progresa la filtración la resistencia opuesta al pasaje del agua es cada vez mayor. Como la altura de agua en el filtro es más o menos constante, la presión a la salida irá constantemente disminuyendo. Eso significa que si la abertura de pasaje no varía, el caudal o flujo de agua irá disminuyendo también. Para que el caudal (o sea la razón de filtración) sea siempre la misma, el regulador de filtración regula la abertura de salida; siendo esta abertura pequeña en las primeras horas de la carrera y mayor en el final de la misma.

Los reguladores de filtración más comunes se basan en un tubo venturi, de modo que la diferencia entre la presión del cuello o estrechamiento del venturi y la presión de la salida provoquen una fuerza al aplicarse a un diafragma de goma (en el cuerpo del aparato).

Esa fuerza es balanceada generalmente por un brazo de palanca con una pesa cuya posición fija el caudal. Es así que al modificarse el caudal, se modifica la posición del sistema diafragma-contrapeso de modo de variar la abertura de salida y volver a obtener el caudal primitivo.

Los **controladores de filtración** son aparatos destinados a medir la resistencia (pérdida de carga) opuesta al pasaje del agua a través del filtro y también (separada o conjuntamente) a medir directamente el caudal de filtración. La pérdida de carga es fácilmente obtenida por diferencias de altura de agua antes y después de atravesar la arena. El caudal de filtración puede medirse también utilizando un tubo venturi por medio de adecuado registro de las presiones y velocidades en el cuello y la entrada del venturi. Existen dispositivos hidromecánicos (y aún neumáticos) de lectura y registro de los datos obtenidos, los cuales pueden ser adquiridos en casas especializadas y que se recomienda mantener en adecuado funcionamiento.

Cada filtro requiere 5 válvulas para operar correctamente, pero solo cuatro de ellas serán operadas con frecuencia, las cuales son:

1) Válvula de entrada de agua sedimentada
2) " de salida de agua filtrada
3) " de entrada de agua de lavado
4) " de salida de agua de lavado

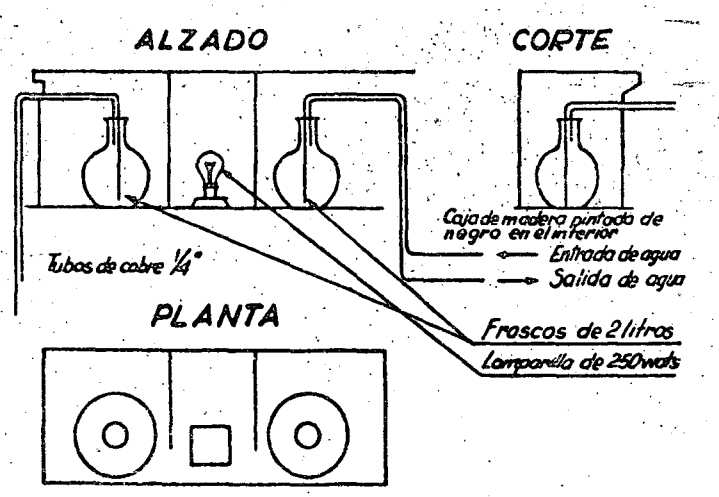
La 5ª válvula llamada de "filtrado al desague" se usa sólo ocasionalmente, pero es necesario operarla cuando se efectúan operaciones manuales o de reparación en el filtro o cuando se efectúa algún tratamiento de la arena; ya que si no existiera esta válvula la única salida del agua que hubiera en el filtro sería la del agua filtrada y pudiera haber una contaminación de dicha agua. Salvo en pequeñas plantas donde se operan a mano, las válvulas (con excepción de la última nombrada) son operadas hidráulicamente o con motores eléctricos acoplados. — Es importante observar que el movimiento de válvulas hidráulicas se hace mediante cilindros acoplados, siendo los pistones generalmente con cueros semiblandos que

deben tener perímetros de forma tal que el agua los comprima firmente contra las paredes del cilindro para evitar fugas de agua. Los cilindros hidráulicos son generalmente de fundición con camisas de bronce sin costura. — Es deseable que todas las válvulas estén montadas en bronce recomendándose en general los asientos de los discos paralelos en lugar de discos de ángulo, debido al problema de atascamiento que se produce a veces en estos últimos.

OPERACION DE FILTROS

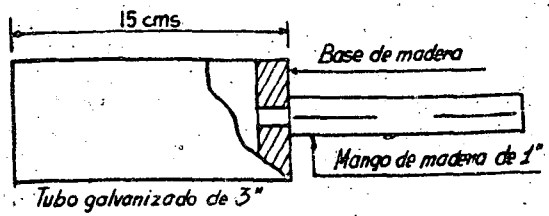
Los filtros rápidos a gravedad operan normalmente a una razón de filtración de 5 metros/hora o sea que por cada metro cuadrado habrá pasado en una hora cinco metros cúbicos de agua. Para ensayar mayores razones de filtración habrá que estudiar el tratamiento previo, la eficiencia bacteriológica que se logra y si la arena es adecuada. En general será mejor operar a una razón de filtración menor en forma contínua que operar a la razón de proyecto (pero deteniendo la planta a determinada hora).

Para determinar la **RAZON DE FILTRACION** y observar si funciona correctamente los indicadores de caudal, se efectúa un ensayo cerrando la entrada al filtro y observando la velocidad de caída del nivel de agua mediante cronómetro. Una varilla de madera sujeta al filtro con 2 clavos separados a unos 10 cms. dará puntos de observación adecuados. — Si hay una buena distribución de agua de lavado y un material filtrante bien graduado, casi todos los problemas que puedan surgir son provocados por la deficiencia del lavado en desalojar todo el material que ha sido filtrado. Este se va acumulando y provocando lo que ha dado en llamarse bolas de barro. Estas bolas de barro pesan menos que la arena a igualdad de volumen pero como son mas grandes, el agua de lavado no las arrastra. Cuando son suficientemente grandes ya no quedan en la superficie de la arena después del lavado, sino que penetran en la arena aún hasta la grava. — Cuando un filtro se coloca en operación la pérdida de carga variará entre 15 y 40 centímetros de columna de agua. La máxima pérdida de carga admisible estará fijada por ensayos bacteriológicos o por el **DETECTOR DE COAGULOS**, el cual responde al esquema siguiente:



Conectado a la salida de filtros descubre la presencia de flóculos en el efluente del filtro. En general la pérdida de carga máxima será alrededor de 2m.50 de columna de agua, luego de alcanzar la cual habrá que lavar el fitiro. Habíamos expresado que para controlar la razón de lavado convenía medir la **EXPANSION DEL LECHO DE ARENA**. Una forma de efectuarla es mediante un dispositivo que en síntesis es una varilla calibrada en centímetros, que en su extremidad tiene un bulbo o lamparilla eléctrica. El dispositivo se baja cuando el filtro se está lavando hasta que los granos de arena expandida obscurecen la luz del bulbo. Las calibraciones pe[illegible]ten saber la altura a la cual llega la arena y calcular la exp[illegible]ón. Así por ejemplo si un lecho tiene 60 cms. de arena y hay una expansión de 24 cms., entonces la expansión será de: $\frac{24}{60} = 40\,\%$.

Se recomienda operar con expansiones de 30 % por lo menos. Cabe citar por último que cuando la carrera de filtración es más corta que lo normal los hechos deben ser cuidadosamente observados respecto a si existen depresiones o cráteres en ciertos lugares o bien si la arena se ha desprendido de las paredes de los filtros. Eso es provocado por razones algo diferentes a las que producen las bolas de barro, ya que generalmente es debido a deficiencias en el material filtrante o sistemas de drenaje aunque los lavados insuficientes y bolas de barro resultantes contribuyen a agravar la situación. El desprendimiento desde las paredes o las grietas contribuyen a que parte del agua no pase a través de las porciones de la arena fina y por tanto provoquen una carrera de filtración de corta duración. El aparato que se muestra en el esquema es útil para determinar el porcentaje de bolas de barro:



Se lava el filtro y se drena el agua hasta unos 30 cms. debajo de la superficie de la arena. Se baja el tubo unos 15 cms. verticalmente y entonces con un movimiento de volteo se coloca el mango horizontal y se retira la muestra. Con muestras de 4 lugares distintos del filtro se hace una muestra compuesta y se lava la arena a través de un tamíz de malla 2.5 m|m, levantando y bajando suavemente el tamíz en un recipiente con agua. El volúmen de las bolas de barro se mide en un cilindro graduado. Si el porcentaje excede del 0.2 % será necesario proceder a instalar alguna mejora en el lavado. Para mejorar el sistema de lavado puede instalarse lo que se llama un lavado superficial, el cual puede ser del tipo de casquillos colocados a unos 70 cms. entre sí en el extremo de tubos verticales. Esos casquillos están agujereados con cinco orificios de unos 6 m|m de diámetro. Cuatro de ellos envían agua con un ángulo de unos 30º y el quinto rectamente hacia abajo. Se necesita una presión de alrededor de 1 kg/cm2 en cada casquillo, los cuales están a unos 10 cms. por encima de la arena. La cantidad de agua a usar es del orden de la razón de filtración (unos 80 litros /m2/ minuto). Otro tipo es el llamado Palmer, que es un brazo giratorio con toberas que provocan el movimiento por reacción.

También existen sistemas de lavados mixtos a aire y agua, habiendo 3 tipos:

1) El que impulsa aire primero promoviendo agitación y luego se efectúa el lavado con agua. La cantidad de aire es de unos 80 litros /m2/ minuto, y la de agua, unos 450 litros /m2/ minuto. (Se usan los mismos conductos).
2) El que impulsa aire y agua, al mismo tiempo, a través de conductos, en las mismas razones anteriores.
3) Un tipo por medio del cual se utiliza un sistema de drenaje especial y arena uniforme, con acción conjunta de aire y agua.

Antes de adoptar cualquiera de estos sistemas, es imperioso una ıada consulta y estudio.

FILTROS A PRESION:

Consisten en cilindros de acero en los cuales se filtra el agua bajo presión, y por lo demás, no tienen diferencias esenciales con los filtros de gravedad. Tienen la ventaja de poder eliminar las bombas elevadoras de agua filtrada pero 2 desventajas considerables:

a) El operador no puede inspeccionar el medio filtrante sin detener la filtración (o durante el lavado).

b) Los disturbios que pueden ser causados en el medio filtrante si la presión de la tubería de descarga baja rápidamente.

Algunas autoridades prohiben su uso, excepto en piscinas de natación (albercas) o establecimientos industriales.

LIMPIEZA DE LA ARENA

A pesar de que si hay adecuado tratamiento del agua previo a la filtración y un lavado efectivo, la arena quedará en buena condición: si la arena necesita un lavado se recomienda el siguiente método:

Se lava el lecho por el procedimiento corriente y luego se baja el nivel del agua en el filtro hasta unos 30 cms. sobre la arena. Se disuelven entonces 5 kilos de soda cáustica por cada metro cuadrado de lecho. Se abre entonces la válvula de filtrado al desagüe hasta que el nivel del agua quede a unos 2 centímetros sobre la arena.

Al cabo de 12 horas se lava el lecho por el procedimiento corriente, y se coloca nuevamente en operación el filtro.

CAPITULO VIII

Cloración

La desinfección de agua es la aplicación de un agente químico (generalmente) a los efectos de que inhiba la reproducción de microorganismos patógenos y aun ataque directamente los microorganismos existentes.

Fundamentalmente el agente químico empleado es el cloro o alguna sustancia química derivada como son los hipocloritos de calcio o de sodio. Todos ellos son desinfectantes enérgicos, que actúan directamente sobre el metabolismo (mecanismo de alimentación y crecimiento) del microorganismo considerado.

Existen, sin embargo, sistemas de desinfección por ozono (una forma especial de oxígeno) o por rayos ultravioletas, cuyo uso es limitado, especialmente debido al hecho de que no permiten, como los compuestos clorados, una acción residual que proteja el sistema de abastecimiento contra contaminaciones ulteriores.

PROPIEDADES DEL CLORO:

El gas de cloro es aproximadamente dos veces y media más pesado que el aire, (temperatura y presión normales) por lo que si se escapa buscará alojarse en lugares bajos. No es explosivo ni inflamable, y si no está en presencia de humedad, no ataca al hierro, cobre o plomo. Sin embargo puede atacarlos si la temperatura pasa de 90º (centígrados). En contacto con agua o humedad es particularmente corrosivo, siendo resistentes a su ataque algunos metales, ciertas aleaciones o ciertos plásticos.

APLICACIONES DE LA CLORACION:

La desinfección en sus diversos tipos de aplicación, no es la única aplicación del cloro o sus derivados. El cloro puede ser usado para oxidar hierro o manganeso, de tal modo que puedan ser precipitados en ausencia del oxígeno. Puede también el cloro o sus derivados coagular materia orgánica, mejorar el color o actuar como

alguicida en la purificación de agua. Por último pueden e narse gustos y olores, en ciertos casos con dosis grandes tales o las que se usan en la llamada supercloración.

COMPUESTOS DE CLORO USADOS:

Además del gas cloro, que se adquiere en recipientes de acero donde parte del gas está licuado a presión, se usan normalmente también soluciones de hipoclorito de calcio y en abastecimientos pequeños o en otras aplicaciones como lavandería y desinfecciones locales, el hipoclorito de sodio. El hipoclorito de calcio fue desarrollado hace relativamente poco tiempo y debido a la circunstancia de que el cloro (por su fórmula) debe reducirse doblemente, contiene hasta 70 % de cloro disponible. Se puede asumir que el cloro disponible es la cantidad de cloro equivalente a cloro gas que contiene el compuesto. El hipoclorito de sodio viene en soluciones con un 10 a 14 % de cloro disponible.

Aunque el hipoclorito de calcio es menos soluble que el hipoclorito de sodio para preparar soluciones de menor concentración, ambos son fácilmente solubles. Es sin embargo aconsejable diluir con agua blanda, para evitar precipitados que interfieren con la aplicación si se usan aguas duras para dilución. Si sólo se dispone de aguas duras es conveniente agregar un compuesto fosfatado para evitar dichos precipitados. Esos compuestos (Calgón, Nalco, 18, etc) se agregan de acuerdo a la siguiente proporción:

6,5 gramos por cada ppm de dureza (expresada en $CaCO_3$) para preparar 1000 litros de solución.

Supongamos un agua de 100 ppm de dureza, y que quiero preparar 200 litros de solución:

Para preparar 1000 litros necesito $100 \times 6.5 = 650$ gramos. Entonces para 200 litros resulta un valor X tal que:

$$\frac{X}{200} = \frac{650}{1000} \text{ o sea } X = \frac{200 \times 650}{1000}$$

Resulta $X = 130$ gramos lo necesario.

RECIPIENTES DE CLORO: SU MANIPULACION

Tal como se expiden los recipientes de cloro a presión, el cloro líquido ocupa una porción tal a la temperatura normal, que cuando se eleva la temperatura a unos 67º centígrados el cilindro queda completamente lleno de líquido debido a la expansión de ese líquido.

Como los líquidos son prácticamente incompresibles, si se sigue elevando la temperatura se producirían tremendas presiones. Por eso van provistos de fusibles que se ablandan a temperaturas altas y evitan la explosión al dejar pasaje al líquido. Es pues conveniente evitar cualquier calentamiento directo (ya sea por llama, vapor o electricidad).

Un cilindro de cloro frío tiene una presión menor que otro más caliente, si tienen la misma cantidad de cloro líquido. Si se conectan entre sí pasará gas del cilindro más caliente al otro, y si luego se cierra la válvula del cilindro frío y se calienta pueden surgir inconvenientes por estar sobrecargado. Nunca deben cargarse cilindros vacíos sin supervisión técnica.

Al quitarse gas de un cilindro la presión interior disminuye. En el caso que se quiera mantener la presión debería calentarse el cilindro tan rápidamente como se saque el gas, pero con las precauciones citadas. Se ve así que si hay escape de cloro conviene enfriar el cilindro porque así baja la presión. (Preferentemente con hielo seco). Un cilindro de cloro a la temperatura ambiente, puede suministrar cada día hasta una quinta parte en peso de su capacidad. Pudiera aumentarse esa razón de gas haciendo circular aire caliente.

Deben evitarse por todos los medios, los golpes en los recipientes de cloro. Las piezas donde estén los recipientes almacenados o en operación deben tener una salida al nivel del piso y un ventilador para forzar aire hacia adentro de modo que la circulación haga que

el ... e salga por esa abertura inferior y, eventualmente, lo haga también cualquier escape de cloro. Las máscaras deben usarse aún para los ligeros escapes. Estos se detectan con agua amoniacal. Nunca se emplee la máscara cuando se sospeche que no hay oxígeno disponible.

EQUIPOS DE CLORACION:

Los alimentadores de hipoclorito de sodio o de calcio se llaman **hipocloradores**. Existen muy diversos tipos, aun cuando los más usados son bombas de diafragma que son accionados hidráulicamente o con motores eléctricos, con la ventaja de que su uso facilita el tratamiento de agua bajo presión y su regulación es sencilla. Los **CLORADORES** son los aparatos dosificadores de cloro, el que puede aplicarse al agua mediante difusores como cloro gas o bien a través de solución que es inyectada usando eyectores. De este último tipo se pueden distinguir los **cloradores a presión** (en los cuales el gas circula en el aparato a presión disminuída) o bien los **cloradores al vacío** en los que se utiliza la succión del eyector para mantener un vacío moderado en la circulación del cloro gas y por tanto son mucho más seguros que los anteriores.

SELECCION DEL TIPO DE APARATO.

En primer lugar se deberá determinar el dosaje de cloro a usar lo cual dependerá del propósito de la cloración.

La siguiente tabla, algunas de cuyas expresiones se explican más adelante, ayudará a determinar la capacidad del equipo.

Propósito de la Cloración	Dosaje ppm.	Tiempo de Contacto Minutos	Residual Recomendado Tipo	ppm.
Desinfección. Con residual combinado Con residual libre	1.0 - 5.0 1.0 - 10.0	Requerimientos determinados por las autoridades de salud.		
Remoción de amoniacales	10 x ($N H_3$)	20	Libre	0.1
Control Gusto y Olores	10 x ($N H_3$) + 1 a 5 ppm	20	Libre	1.0
Remoción de H_2S	2.22 x (S)	Instantáneo	Libre o combinado	0.1
Remoción de Fe	0.64 x (Fe)	Instantáneo	Combinado	0.1
Remoción de Mn	0.65 x (Mn)	Variable	Libre	0.5
Control de algas	1.0 - 3.0	Variable	Libre	0.5
Remoción de color	1.0 - 10.0	15	Libre o combinado	0.1
Control de desarrollos bacterianos	1.0 - 10.0	Residual necesario en todo el sistema	Libre	1.0

Una vez conocido el rango de capacidades que debe tener el equipo, se elegirá si se pueden usar hipocloradores (los cuales son sólo aplicables a pequeños abastecimientos) o cloradores que usen cloro gas.

Si los hipocloradores son insuficientes o se prefiere usar cloro gas por razones técnicas o económicas, la selección del tipo de clorador, conocido su capacidad, deberá tener en cuenta los siguientes factores:

1) El método de alimentación del cloro.
2) El método de control del clorador.
3) Los requerimentos de instalación.

En todos los casos, el aparato clorador o hipoclorador a usar debe cumplir, inexorablemente, con tres condiciones:

a) Debe medir la cantidad de cloro o solución usada.
b) Debe mantener la dosis fijada.
c) Debe producir una mezcla adecuada con el agua a tratar.

Veamos los factores que hemos citado, en detalle:

1) METODO DE ALIMENTACION DE CLORO

Los aparatos que usan cloro gas pueden ser los llamados de alimentación directa o de alimentación en solución.

Los aparatos de alimentación directa inyectan el cloro gas directamente al agua a tratar y se deben cumplir los siguientes requerimientos para que puedan ser usados:

I) La presión en el punto de aplicación no puede exceder a 1.5 kg.; cm2 o sea aproximadamente 1 atmósfera y media.
II) El punto de aplicación no debe estar más lejos que unos 7 metros desde el clorador.
III) El punto de aplicación no debe estar cerca de bombas, válvulas, etc., para evitar el ataque de esas piezas o equipos.

Los aparatos de alimentación en solución, disuelven el gas cloro en agua antes de su inyección al agua a tratar y se debe tener en cuenta los siguientes requerimentos para su adecuada instalación:

I) La presión en el punto de aplicación no debe exceder de 7 kg.; cm2 o sea unas 7 atmosferas. Si la presión es mayor se deben usar bombas especiales de inyección.
II) Debe disponerse de agua de buena calidad, para solución a una presión mínima de 0.7 kg.; cm2.
III) Debe disponerse de agua limpia a una presión tres veces superior a la del punto de aplicación, para la operación del inyector.
IV) Si el clorador tiene una capacidad mayor o igual a 1000 libras de cloro en 24 horas, se debería disponer de un suministro de aire comprimido a una presión de unos 2 kg.; cm2 y a un flujo de 1 pie cúbico por minuto. Este aire se necesita generalmente para el sistema de control.

Los aparatos de alimentación en solución pueden tener el sistema medidor de la cantidad de cloro aplicada, a presión o bajo un vacío. Los de alimentación directa sólo lo tienen a presión. Debe destacarse que los aparatos de alimentación directa sólo se usan como equipos de emergencia o cuando no se dispone de agua para efectuar la operación correcta de los aparatos de alimentación en solución.

Hay aparatos de este último tipo que pueden agregar hasta unas cuatro toneladas de cloro en 24 horas, mientras que los de alimentación directa alcanzan a unos 30 kg./24 horas en tuberías y hasta unos 150 kg./24 horas en canales o tanques.

Cabe mencionar que los aparatos de alimentación en solución pueden ser del tipo de diafragma de agua (que es ventajoso por su duración, falta de fricción y buen ajuste) o del tipo de diafragma mecánico (en los cuales el flujo de cloro es controlado por válvulas de diafragma con resortes).

2) METODOS DE CONTROL DEL CLORADOR

Es evidente que la cantidad de agua a tratar puede ser variable o que las dosis necesarias sean diferentes a distintas horas del día. En ambos casos la cantidad de cloro a agregar es variable y debe ser ajustada para que el tratamiento previsto sea cumplido.

El necesario control del clorador, puede ser manual o de diversas complicaciones en automaticidad.

El sistema manual es adecuado cuando el caudal y la cantidad del agua es constante.

La primera forma de control automático es aquella en que algún "Switch" pone en marcha el clorador a una razón previamente determinada cuando, por ejemplo comienza a accionar una bomba.

Más [illegible]rado es el método de proveer un circuito de control accionado [illegible] un dispositivo de tiempo o "timer" que pueda ordenar diferentes flujos de cloro de acuerdo a un programa o secuencia previstas.

Siguiendo en la escala ascendente de automaticidad, el aparato obedece a las señales de un medidor de caudales, mediante un dispositivo que obra en el sistema del vacío que produce el inyector. De este modo, aunque el caudal varíe si la demanda es constante en cada M3. la dosis se puede mantener automáticamente. Es pues un sistema automático proporcional al caudal y sirve siempre que la demanda de cloro del agua en si no varíe.

La etapa final consiste en un aparato que sea capaz de tener en cuenta no sólo las variaciones de caudal imprevistas, como el anterior, sino que además pueda controlar las variaciones de demanda de cloro del agua en sí, al variar la calidad. Dicho aparato tiene, adicionalmente al anterior o como sustitutivo un equipo basado en el potencial de oxidación - reducción que calcula la dosis adecuada, sin menoscabo de controlar las variaciones del caudal.

3) REQUERIMIENTOS DE INSTALACION

Las tuberías que pueden usarse para conducir ya sea gas cloro como cloro líquido difieren de las que se pueden utilizar con soluciones cloradas porque el ataque de estas últimas es muy severo a la mayoría de los materiales comunes.

Para gas cloro o cloro líquido (este caso cuando se usan evaporadores) es recomendable usar tuberías de hierro negro reforzadas, con juntas roscadas tomadas con litargirio y glicerina.

Estos materiales, en cambio, no pueden ser usados para las tuberías que conducen a la solución clorada desde el clorador hasta el punto de aplicación.

Veamos las particularidades recomendables de cada instalación.

a) Tuberías que conducen gas cloro.

Los conductos deben siempre estar a mayor temperatura (unos 3 a 5ºc.) que los cilindros de gas - líquido; para evitar que el gas pueda licuarse en dichos conductos. Es por ello conveniente que esta clase de línea esté elevada en lugar de colocarla en el piso o sótanos. Si la diferencia en temperatura no puede lograrse, conviene colocar una válvula reductora de presión cercana al cilindro de cloro, lo cual produce un efecto similar ya que asegura la gasificación.

b) Tuberías de cloro líquido.

Este caso es el reverso del anterior, pues conviene evitar la vaporización. Si las líneas son largas, se recomienda instalar cámaras de expansión, lo cual se logra colocando cilindros vacíos en forma invertida y sobre la línea de cloro líquido, unidos a ella mediante una te normal.

En estos casos, deben evitarse las válvulas en lo posible pues si dos válvulas en la línea se cierran por inadvertencia o por necesidad, una elevación de temperatura provocaría vaporización y un gran aumento de presión con los peligros consiguientes:

c) Tuberías de gas cloro desde aparatos de alimentación directa hasta el punto de aplicación.

Desde el momento que puede haber humedad que provenga del punto de aplicación, los materiales deben ser resistentes al ataque de gas cloro húmedo.

El material más adecuado es el tubo de plata de diámetros 4.5 a 6 m/m (3/16" a ¼") dada la capacidad de este tipo de clorador.

Los difusores recomendados son los de piedra porosa. En cuanto a la capacidad máxima ya se dijo que alcanza a 30 kg./24 horas cada difusor; pudiéndose usar 6 difusores por aparato, en canales o tanques, con una sumergencia mínima de 1m.20.

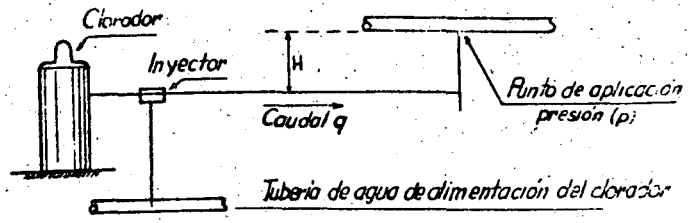
d) Tuberías de conducción de soluciones cloradas.

El diámetro de la tubería debe ser elegido de tal modo que la pérdida de carga no exceda de 3 mts. de columna de agua (aproximadamente 5 libras por pulgada cuadrada o 1/3 de atmósfera). El método de efectuar este cálculo es el siguiente: (Ver el diagrama [illegible]plicativo adjunto).

Habiendo determinado la máxima cantidad de cloro a agregar en 24 horas, el paso siguiente es calcular la contrapresión con la que debe operar el inyector. Esa contrapresión es:

C. P. = p + Pérdida de carga + H

Conviene trabajar siempre en metros de columna de agua. Se hace notar que H es negativa si el punto de aplicación está por debajo del inyector.



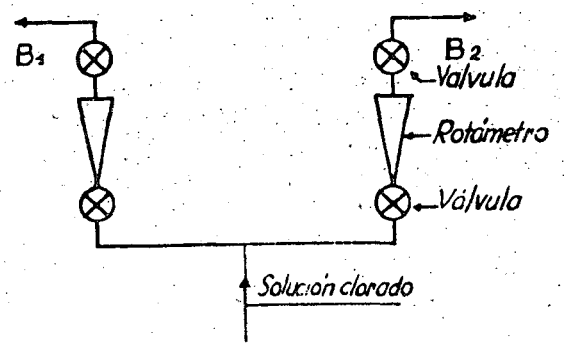
Con el valor de la contrapresión (la pérdida de carga se asume por ahora igual a 3 mts.) se busca en el catálogo del clorador elegido la cantidad de agua de descarga (q) y la presión de operación del inyector P1, que corresponden a la contrapresión C. P. calculada.

La tubería de agua de alimentación del clorador debe ser capaz de suministrar ese caudal (q) a la presión P1 Si la presión disponible en el agua de alimentación del clorador no alcanza a la necesaria P1 se deben buscar bombas adecuadas para lograrla y suministrar el caudal (q) que requiere el inyector.

Basta ahora buscar el diámetro del conducto de tal modo que la pérdida de carga no sea mayor de 3 mts. C. A. Eso se logra en tablas y gráficas adecuadas, que se aplican en la forma que se explica en el capítulo de Hidráulica.

Es menester llamar la atención que no sólo está incluida la fricción en la línea, en la pérdida de carga máxima de 3 mts. C. A., sino también las pérdidas en los distribuidores y en los difusores.

Los distribuidores se usan en instalaciones donde es necesario suministrar la solución clorada desde uno o más cloradores a distintos puntos de aplicación. Un esquema de distribuidor es el siguiente:



La solución entra en A y se distribuye a las salidas B1 y B2 de acuerdo a la cantidad necesaria en cada una. Para medir estan los Rotámetros que son medidores en forma de cono con flotador y las válvulas sirven de control y cierre.

Las pérdidas de carga en distribuidores se descomponen en las pérdidas en las válvulas, en las piezas especiales (tes, curvas, etc.) y en los Rotámetros.

Los difusores son los encargados de mezclar adecuadamente la

solución en el flujo a tratar. Además de cumplir esta función, deben ser de robusto diseño, no interferir con el flujo más de lo necesario, y, preferiblemente, de forma y dimensiones tales que puedan colocarse y quitarse sin interrumpir el flujo principal.

En conductos hasta 24" de diámetro se usan tubos de plata con difusores, excepto cuando la cantidad de solución a agregar es muy grande, ya que en este caso se emplean difusores de tubo perforado.

En canales se usa para cantidades pequeñas y medianas de solución el tipo de difusor - tobera, empleándose uno o varios difusores de tipo perforado en caso de aplicación de grandes cantidades de soluciones cloradas.

Debe, por último, hacerse notar que los difusores usados con los aparatos de alimentación directa son normalmente del tipo de piedra porosa que asegura buena difusión.

Los materiales disponibles adecuados para conducir soluciones cloradas permiten elegir entre los siguientes tipos de conductos:

I) Conductos revestidos de goma.
II) Mangueras de goma.
III) Conductos revestidos de plásticos.
IV) Conductos de plásticos.

I) Los conductos revestidos de goma se usan cuando las distancias son relativamente grandes y la rigidez del conducto es un factor a considerar.

Los conductos (cuyo diámetro mínimo es 38 m/m. o sea 1½") son de acero negro, de uniones a bridas, cuidadosamente preparados y lisos antes de la aplicación del revestimiento interior de goma. Lo mismo puede decirse de las válvulas y piezas especiales.

El espesor del revestimiento es de 3 milímetros aproximadamente (1/8") y debe ser cuidadosamente aplicado y ensayado para evitar cualquier defecto.

II) Las mangueras de goma tienen revestimiento interno capaz de soportar la acción de la solución y su cuerpo la resistencia necesaria para la presión a que estará sometida ya sea externa o interna.

Pueden conseguirse hasta 50 milímetros (2") de diámetro:

III) Los conductos revestidos de plásticos son similares a los (I) pero su revestimiento es de Saran. Son especialmente aplicables a conducción de dióxido de cloro.

IV) Los conductos de plásticos pueden ser del tipo rígido o flexible. Los rígidos son de Uscolite o de cloruro de polivinilo (PVC). Se pueden trabajar como los tubos de galvanizado comunes, existiendo piezas moldeadas.

Los tubos flexibles son de polietileno. Tanto éstos como los rígidos pueden ser obtenidos hasta un diámetro de 75 milímetros (3").

No es recomendable usar conductos de plástico para presiones mayores de 3.5 Kg./cm2 (50 libras por pulgada cuadrada).

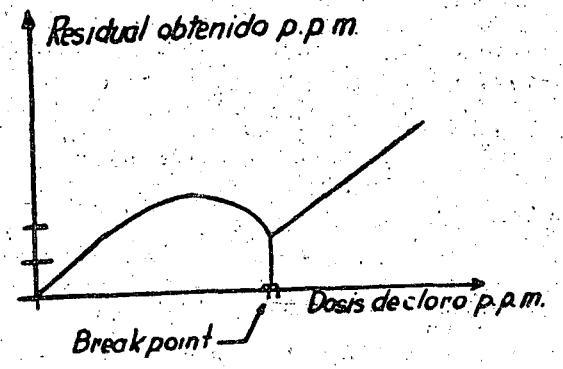
LA PRACTICA DE LA CLORACION

Según el lugar de la planta de tratamiento o la forma de aplicación del cloro, la cloración recibe nombres específicos. Se distinguen así: a) **LA CLORACION SIMPLE.** b) **SUPERCLORACION.** c) **LA POSTCLORACION.** d) **LA CLORAMINACION.** e) **LA PRECLORACION.**

a) Este caso se presenta cuando el agua de pozo profundo (semisurgente) necesita desinfección o aún en ciertos abastecimientos superficiales de agua clara (este último caso no es aconsejable por la resistencia de ciertas amebas a la desinfección).

En este caso debe prestarse suma atención al período de contacto antes que llegue al agua el primer consumidor, y obtener un residual de cloro "libre" en ciertos casos de cortos períodos de contacto. Esto nos conduce a la **supercloración.** Se recuerda al respecto que en general, dosis moderadas de cloro forman compuestos del tipo de las cloraminas con amonio y sustancias orgánicas

el cloro. Aumentando la dosis de cloro hasta que no haya materia nitrogenada u orgánica para reaccionar, el cloro estará al cabo presente como ácido hipocloroso o sea como cloro "libre" residual Es posible que aún antes de reaccionar con toda la materia orgánica o nitrogenada se encuentre cloro libre, pues algunas materias de ese tipo reaccionan sólo cuando hay concentración de oxidante suficiente o cuando el período de reacción es suficientemente largo. Por lo tanto, para seguridad de producir un cloro libre efectivo, se debe incrementar la dosis lo suficiente hasta que las cantidades agregadas sean proporcionales a los residuales obtenidos. Si ponemos en un gráfico que en abscisas estén las dosis de cloro agregada y en ordenadas los residuales obtenidos (por ejemplo a la ortotolidina) se tendrá una curva que presenta un punto de quiebre o "break point".



Toda agua tendrá su curva de residuales ,que puede ser muy diferente a la expresada. Cuando la cloración es tal que las dosis de cloro sobrepasan al break-point se dice que se está efectuando una supercloración. b) La supercloración conduce a rápida eliminación de gustos y olores a través de reacciones de oxidación de compuestos que los producen. La presencia de cloro libre en forma cualitativa puede ser fácilmente ensayada con el "flash-test" y en forma cuantitativa con el método de arsenito de sodio-ortotolidina (O.T.A.).

Postcloración, Cloraminación y Precloración.

La postcloración es el agregado de cloro a aguas filtradas, lo que fue el método primitivo y usado aún ahora, ya que la demanda de cloro (a igualdad de condiciones) es menor por la acción de los tratamientos de purificación precedentes. En ciertos casos es, sin embargo, preferible recurrir a la precloración porque no sólo responde a las necesidades de desinfección (como la postcloración) sino que los mayores períodos de contacto (pues el cloro se agrega antes de la coagulación generalmente) conducen a otras acciones beneficiosas.

Estas acciones son o pueden ser:

1) Favorecer la coagulación de aguas coloreadas y oxidar el hierro y manganeso.
2) Prevenir el crecimiento de algas, principalmente cuando las predominantes son diatomeas.
3) Evitar la descomposición del lodo sedimentado.
4) Controlar el crecimiento de organismos en la arena de los filtros.

Estos resultados se producen cuando el agua que llega a los filtros tiene entre 0.2 y 0.5 ppm. de cloro residual. Hay casos en que el período de tiempo para alcanzar los filtros es muy largo para que el cloro residual persista o bien que la adición de cloro o derivados al agua, sin sobrepasar el break point, produzca gustos y olores por reacciones del cloro con compuestos orgánicos. En esos

ción y amoniación se llama cloraminación, desde que la reacción loro con el amonio produce cloraminas, un compuesto nitrogenado con propiedades oxidantes y que, por supuesto, es detectado por la ortotolidina. Las cloraminas son menos eficaces que el cloro en su poder desinfectante, a igualdad de otras condiciones. Hay dos tipos de cloraminas, la dicloramina fórmula (NHC12) que se forma preferentemente en aguas ácidas, y la monocloramina que hace lo propio en aguas alcalinas. En particular por debajo de pH-5 casi exclusivamente habrá dicloraminas y en pH mayores de 8.5 sólo monocloraminas. A pH menores de 4.4 se forma tricloruro de nitrógeno que no posee propiedades desinfectantes.

Desde que las cloraminas tienen menor poder desinfectante a igualdad de concentración que el cloro, es conveniente que su uso se haga cuando haya largos periodos de contacto, a lo que favorece su estabilidad. Las dosis de amonio o cloro que se deben emplear teóricamente son 1 (amonio) a 4 (cloro). Como es natural, si se desea prevenir gustos o olores, conviene agregar el amonio antes que el cloro, y puede suceder que se tenga que utilizar en esos casos mayor proporción de amonio que de cloro (hasta 1 a 2). En estas mayores proporciones el efecto inhibidor del amonio en la desinfección puede ser muy marcado y ser más efectivo a usar otros procedimientos. Se pueden emplear varios productos amoniacales para la cloraminación. Distinguimos cuatro productos, a saber: **amonio anhidro, agua amoniacal, cloruro de amonio y sulfato de amonio.**

El **amonio anhidro** es recibido como gas licuado en cilindros de acero y debe ser aplicado por medio de un aparato amoniador, lo cual es imperioso para evitar posibles succiones de agua dentro del cilindro.

El **agua amoniacal** (generalmente con 29.4 % de NH3 ó sea 26º Baumé) es frecuentemente diluída con 2 veces su volumen de agua y entonces aplicada por sistema de gravedad de nivel constante o por un aparato semejante a los hipocloradores.

Tanto el **cloruro de amonio** como el **sulfato de amonio** son obtenibles como cristales, los cuales se disuelven en agua para ser aplicados, a través de un dosificador de solución de cualquiera de los tipos conocidos.

Para obtener la relación teórica de 1 de amonio a 4 de cloro en los diversos productos, la siguiente tabla puede ser útil:

Producto	Cantidad	Cloro	Hipoclorito calcio (70 %)
Amonio anhidro	0.175 Kg.	0.7 Kg.	1 Kg.
Agua amoniacal	0.60 Kg.	0.7 Kg.	1 Kg.
Cloruro de amonio	0.58 Kg.	0.7 Kg.	1 Kg.
Sulfato de amonio	0.68 Kg.	0.7 Kg.	1 Kg.

Cabe mencionar que las soluciones de hipoclorito conviene que sean de 1 % de cloro disponible. El cloruro y sulfato de amonio pueden diluirse en proporciones de unos 15 gramos de compuesto en peso por cada litro de solución preparada.

DECLORACION.

Habíamos visto que en muchos casos, aún cuando el break point fuera sobrepasado, el cloro residual era de pequeña magnitud (lo cual puede suceder no obstante usar altas dosis de cloro). En otros casos la supercloración conduce a residuales de tal magnitud que hacen necesaria una **decloración.** Se pueden usar los siguientes procedimientos:

a) **Aereación.** Es generalmente insuficiente y necesita estructuras o facilidades especiales.

b) **Agregado de bióxido sulfuroso.** Esta substancia se puede adquirir en cilindros de acero como un gas comprimido y se aplica por medio de aparatos del tipo de los cloradores. Por cada ppm. de cloro residual a eliminar se necesitan 0.9 ppm. de bióxido.

c) **Agregado de sulfito de sodio.** Debe ser usado en . orma cristalina, ya que la forma anhidra es de difícil solubilidad. Puede aplicarse usando aparatos de dosificación en seco o en solución. Se necesitan alrededor de 3.6 ppm. de sulfito por cada ppm. de cloro residual a eliminar.

d) **Agregado de hiposulfito de sodio.** El agregado de este producto debe hacerse en dosis equivalentes a las del cloro residual a eliminar, algo mayores si el pH del agua es menor que 7. Cuesta mucho más que el sulfito de sodio.

e) **Carbón activado.** Este polvo puede ser aplicado directamente sobre los filtros que reciben agua con cloro residual, pero el procedimiento no es recomendable. Es preferible tener un filtro aparte de carbón activo, donde se recibe agua clarificada, a una razón de filtración de unos 20 metros cúbicos por metro cuadrado de lecho y por hora. Se producirá así una remoción completa de cloro residual por lo que generalmente sea necesaria una postcloración para preservar el agua contra posibles contaminaciones ulteriores.

DETERMINACION DE LA CURVA DE CLORO RESIDUAL.

Conviene efectuar la determinación con agua clorada de una concentración de 1.000 ppm. de tal modo que 1 ml de esta solución cuando se agrega a 1 lt. de agua a tratar da una concentración de 1 ppm. El agua de dilución no debe tener demanda de cloro y para ello puede usarse el siguiente procedimiento:

a) Agregar tres gotas de hipoclorito de sodio a 1 litro de agua destilada.
b) Dejar reaccionar media hora.
c) Hervir hasta que se pierda el 20% en volumen por evaporación.

El procedimiento para determinar la curva de cloro residual es como sigue:

a) Colocar 1 lt. de agua a ensayar en cada uno de seis vasos de Bohemia (jarras o Beakers).
b) Adicionar la solución de cloro preparada de modo de obtener, por ejemplo, concentraciones de 1 a 6 ppm.
c) Agitar para distribuir el cloro, mientras se adiciona.
d) Dejar reaccionar durante 30 minutos.
e) Extraer porciones de los vasos, después de ese período de reacción.
f) Una porción de cada muestra se ensayará para determinar cloro residual y otra para gustos y olores.
g) Otra porción será declorada con hiposulfito de sodio y se repetirán los ensayos de gusto y olor.

Los pasos e) f) g) se repetirán a intervalos de 30 minutos, lo que dará curvas de cloro residual a diferentes intervalos, aunque en general será suficiente determinar la curva en un período de contacto igual al período de retención de la planta o hasta que el agua llegue al primer consumidor.

RECOMENDACIONES DE LA A.W.W.A. PARA EL MANEJO DEL CLORO

1) El cloro debe ser manejado sólo por personas entrenadas y dignas de confianza.
2) Evítese dejar caer o balancear los envases de cloro.
3) Almacenar los envases llenos en lugares de temperatura moderada, alejados de tuberías de vapor o fuego.
4) Nunca conecte un envase lleno a un cabezal o tubería principal a la que estén conectados otros envases, hasta que las temperaturas y presiones, o ambas sean aproximadamente iguales.
5) Consérvense puestas las cubiertas o capuchones de protección de las válvulas, excepto cuando estén en uso, y reemplácense cuando el envase esté vacío.
6) Cierre la válvula del envase tan pronto como se vacíe.

7) Los envases no deben de rellenarse excepto cuando lo permit el propietario y de acuerdo con los reglamentos de la Comisi de Comercio Interestatal. Aún así es peligroso, por lo que en caso de tener que hacerlo debe ser bajo supervisión técnica.
8) Nunca use un envase para un propósito diverso del de contener cloro. No mezcle gases ni permita que la humedad y el aire entren en los envases; nunca use los envases como rodillos o soportes.
9) Nunca aplique una llama o un soplete a un envase.
10) Manténgase cerradas las válvulas de todos los envases, excepto cuando se suministra cloro.
11) Es ilegal embarcar un envase defectuoso o con fugas; debe vaciarse completamente antes de embarcarlo. Tal envase debe marcarse claramente "Defectuoso".
12) Que nunca le de vergüenza pedir auxilio o ayuda en caso de emergencia con respecto al manejo del cloro.

Manejo del Cloro

1 kilogramo de cloro líquido, producirá a 20º C. aproximadamente 300 litros de gas.

1 kilogramo de cloro líquido, evaporado en 3000 metros cúbicos de aire, dará fuerte tos y causará severa irritación de las vías respiratorias.

Lo peligroso de este elemento indica la necesidad de un cuidado constante de parte de los Operadores de plantas, y la conservación cuidadosa y continua del equipo de cloración.

Un cilindro tal como se recibe de la Fábrica contiene legalmente, aproximadamente el 88 % de su volumen, de cloro líquido, cuando se encuentra a 21º C. El 12 % restante de volumen está ocupado por cloro gaseoso seco. El gas tal como sale del cilindro no es corrosivo, pero en presencia de humedad, ataca rápidamente a todos los metales, excepto a los nobles y al Tantalio. Los metales nobles, el caucho, el vidrio y muchos compuestos sintéticos son lo suficiente resistentes al cloro húmedo, para conducir gas mojado o soluciones acuosas de cloro. Sin embargo, con el cloro líquido no se puede usar caucho duro ni suave. El cloro reacciona con la grasa y aceites, para formar un hidrocarburo complejo clorado sólido. El Alcohol (Etílico) y el éter, aún en huellas, son convertidos en hexacloroetano sólido ceroso. Estos compuestos interferirán o interrumpirán la operación del clorador, interrumpiendo la corriente de cloro. Los derivados del metano, el cloroformo, el alcohol de madera (Metilo) y el tetracloruro de carbono son los únicos solventes seguros para la limpieza del equipo de cloración. Los cilindros son botellas o envases de acero sin costuras, forjados de una sola pieza de acero con una válvula standard del Instituto de Cloro, atornillada en el cuello de la botella y prevista con una cubierta o capuchón protector. La válvula aprobada está equipada con un tapón de seguridad, que contiene metal fusible, el cual se ablanda a 70 ó 72º C., para prevenir falla hidrostática de los cilindros en caso de incendio. Dimensiones aproximadas de los cilindros son: 1.02 metros de alto, los de 45 kg.; 1.37 metros los de 68 kg.; con un diámetro de 0.25 mts.

Los envases de tonelada son tubos de acero soldado con extremos cóncavos. Equipados con 2 válvulas y 2 tubos internos en un extremo, seis tapones fusibles de seguridad (3 en cada extremo) y un capuchón o cubierta protectora de las válvulas.

Las dimensiones aproximadas de los toneles son: 2.10 m. de largo por 0.76 m. de diámetro. Los toneles están autorizados por la Comisión Interestatal para su movimiento ferroviario, sólo como una parte integral de un carro de unidades múltiples, acarreando 15 envases de una tonelada. Estos carros pueden ser consignados sólo a desviaderos privados o a desviaderos públicos aprobados. No se recomiendan carros de unidades múltiples para plantas que usan menos que 180 kgs. diarios de cloro como promedio.

Los cilindros y envases deben manejarse con cuidado; es extremadamente peligroso dejarlos caer. Deben suministrarse facilidades de manejo para evitar el trato tosco. Como los cilindro no están equipados con facilidades para agarre, debe evitarse el posible el uso de grúas; es preferible el uso de carros de mano bajos con llantas de caucho. Los cilindros deben permanecer verticales y en lugar seguro, que no se les tumbe. Deben almacenarse en lugar protegido de movimiento de equipo y de temperatura extremos. Los envases de cloro nunca deben almacenarse o usarse cerca de radiadores de vapor o tuberías de vapor o cerca de materiales inflamables. Cuando se recibe un carro de unidades múltiples en una planta de tratamiento, deben removerse los 15 envases de tonelada del bastidor inferior y transportarse al lugar de almacenamiento. Entonces se carga el bastidor inferior con los envases vacíos y se devuelve. Al manejar envases de toneladas se requiere algún tipo de grúa o palanca, y hay que tener equipo de cadenas con ganchos que se ajusten a los extremos del envase. Para el manejo interior subsecuente, dentro de la planta se emplean también grúas volantes o carros especiales. Los envases de tonelada se manejan más fácilmente en posición horizontal. Antes de extraer cloro, el envase tiene que colocarse de tal manera que una válvula quede directamente sobre la otra. En esa posición saldrá cloro gaseoso de la válvula superior, el cual podrá entregarse directamente al clorador. Cuando el consumo de cloro es en gran cantidad, se puede extraer cloro líquido de la válvula inferior y transformarlo en gas en un evaporador. Los detalles del equipo para manejo apropiado del cloro se encuentran en el "Chlorine Manual" editado por el "Chlorine Institute". Cuando el equipo de alimentación de cloro está en un lugar separado de donde están los envases, deben instalarse válvulas de interrupción, cerca de los cloradores para evitar accidentes. Deben inspeccionarse cuidadosamente las conexiones entre los cabezales o tuberías principales y los envases, y los cloradores a intervalos programados, y deben hacerse los reemplazos necesarios pronto, cuando se encuentren defectos. Es importante eliminar esfuerzos de flexión en los puntos de conexión, esto es en los extremos o uniones de los tubos flexibles. El cloro seco en forma de gas, puede ser conducido desde los envases del punto de uso, mediante tubo de hierro, acero, cobre, etc., con la condición de que sea del tipo pesado (250 psi). Tendrá un diámetro mínimo de 3/4" apoyado en forma segura, en lugar libre de daños mecánicos, y con pendiente para que escurra hacia atrás, sin trampas, hacia los envases. Si esto no se puede, deberán ponerse extremidades para goteo en los puntos bajos de la línea, para recolectar la condensación, esto es el gas cloro re-licuado. Donde se necesitan válvulas, deberán ser del tipo especialmente diseñado para cloro. Bridas del tipo para amoníaco, son recomendadas cuando se usa tubo de hierro o acero. En el caso de tuberías soldadas, de cobre, el material de soldadura debe ser plomo puro, pues las soldaduras con estaño son atacadas rápidamente por el gas cloro seco. Cuando la temperatura ambiente no mantiene al condensado evaporándose desde la extremidad del goteo, con la rapidez suficiente, la parte superior puede ser revestida con asbesto, y la base tibiada con un foco permanente de 100 W.

Un empleado informado en forma adecuada sobre el uso del cloro, debe ser responsable del manejo correcto de los envases, de la conservación del equipo de cloración y de las máscaras. Todos los demás empleados requeridos para el manejo del cloro deben ser instruidos en los principios, por una autoridad responsable. Todos los envases llenos deben ser inspeccionado diariamente con el objeto de descubrir y localizar cualquier fuga en sus etapas iniciales. Deberán suministrarse máscaras para gas para cada uno y todos los empleados, cuyos deberes impliquen la exposición al cloro. El empleado debe ser instruido en cómo usar y conservar su máscara y cómo reemplazar el cesto. Todas las máscaras deberán ser del tipo aprobado por el "U. S. Bureau of Mine" para servicio de cloro, y todos los cestos deberán ser del tipo recomendado por el fabricante, para cloro. Se deberán seguir las instrucciones suministradas con las

máscaras. Las máscaras deberán estar en lugares fácilmente accesi pero alejadas del área inmediata posiblemente afectada por la fuga del cloro. Se deberá instruir a los empleados en el uso de máscaras mediante ejercicios frecuentes y estableciendo un programa regular de inspección y mantenimiento. Una máscara defectuosa es peor que no tener máscara. Las máscaras de tipo de cesto son apropiadas sólo cuando la concentración del cloro en el aire no excede del 1 % o cuando el contenido de oxígeno es al menos 16 % en volumen. Se pueden asegurar condiciones adecuadas suministrando ventilación forzada.

Debe recordarse que el cloro es más pesado que el aire. Ductos de extracción para aire del cuarto de cloro, deben salir del piso o del punto más bajo.

Los switches de arranque de ventiladores o fuelles deben estar fuera del cuarto de cloro. Se puede descubrir la presencia de pequeñas fugas por el olor irritante del cloro. Cuando el olor indica una fuga, los empleados autorizados deben poner el sistema de ventilación en operación, equiparse ellos mismos con máscaras e investigar.

Todas las demás personas deberán alejarse del área afectada hasta que se encuentre y corrija la fuga. Debe tenerse a mano agua de amoníaco, un palo con un trapo atado en un extremo. Los puntos sospechosos deben frotarse con el trapo empapado en amoníaco. El vapor del amoníaco y el gas de cloro que se escapa forman densos vapores blancos que revelan el punto del que está saliendo el cloro.

Nunca se debe aplicar agua en una fuga de cloro; la fuga empeorará. Las fugas en las tuberías de cloro, en la conexión de una válvula del cilindro y cerca de un vástago de una válvula, pueden controlarse, cerrando la válvula del cilindro para interrumpir la corriente de cloro y hacer las reparaciones adecuadas. Las fugas en los tapones fusibles u otras fugas en cilindros que no pueden ser interrumpidas mediante el cierre de la válvula del cilindro, pueden disminuirse reduciendo la presión en el envase. Debe colocarse el cilindro o envase de tonelada en tal forma, que sólo pueda escapar cloro gaseoso por la fuga. El cloro líquido se enfría a medida que se evapora; el enfriamiento reduce la presión y el gas escapará con menor rapidez. El cilindro puede ser aislado con sacos, tierra, etc., para que disminuya la absorción de calor, y con ello se reduce posteriormente la descarga de cloro. El gas de cloro puede ser absorbido con sosa cáustica. Un Kg. de cloro requiere uno y cuarto kilogramo de sosa cáustica en esta reacción. Deben usarse 3.33 lts. de agua por cada kg. de sosa.

CAPITULO IX

Remoción de hierro y manganeso

El hierro y el manganeso usualmente están íntimamente ligados en los abastecimientos de agua, de tal manera que si uno está presente, frecuentemente el otro también lo está, en mayor o menor cantidad. El hierro que se encuentra en la mayoría de las aguas, especialmente en mayores proporciones en las aguas subterráneas, puede ocasionar una serie de inconvenientes, los cuales hacen necesaria su eliminación cuando su contenido pasa de ciertos límites.

El hierro puede presentarse como ión ferroso lo cual es el caso común en aguas subterráneas, como ión férrico (que es la forma que asume cuando se somete a acción oxidante natural o provocado) y como ión orgánico complejo, en cuyo caso su remoción es difícil y costosa.

PROBLEMAS QUE OFRECEN EL CONTENIDO DE HIERRO O MANGANESO EN LOS ABASTECIMIENTOS DE AGUA

a) Causan depósitos en la red de distribución incrementando la resistencia friccional en las tuberías.

b) El mecanismo de los medidores puede recubrirse de una capa de óxidos, requiriéndose mantenimiento frecuente.

c) Los sanitarios y utensilios de cocina se recubren de depósitos negruzcos.

d) Las ropas lavadas con tales aguas desarrollan manchas amarillentas.

e) En muchas industrias tales como las de pulpa de papel, textiles, fábricas de bebidas y manufactura de hielo, la presencia de hierro y manganeso es altamente perjudicial.

METODOS USADOS EN LA REMOCION DE HIERRO Y MANGANESO

Muchas aguas serían perfectamente aptas para usos domésticos y para la industria, si no fuera por su contenido de hierro o manganeso. Cuando estos elementos se encuentran en cantidad superior a 0.3 ppm. es necesario tratar las aguas para su eliminación o su reducción a valores inferiores al límite tolerable.

Una instalación para deferrización o demanganización, requiere siempre una serie de ensayos y estudios previos para poder aconsejar una solución. Deberá tenerse en cuenta, en primer término, la cantidad y estado en que se encuentra el hierro en el agua, y en segundo lugar, el caudal de agua a tratar y las condiciones económicas de la explotación. Antes de hacer una instalación definitiva de esta clase, es indispensable efectuar estudios y ensayos y, si es posible, hacer una pequeña planta experimental para llegar así a la solución más ajustada del problema.

En general, el hierro y manganeso pueden ser removidos por los métodos siguientes:

1. **OXIDACION** al estado de óxido o hidrato más alto, seguida de filtración o coagulación y filtración.
2. **POR EL PROCESO DE INTERCAMBIO DE IONES** por medio de zeolitas.

1.—En el primer caso existen varias modalidades que estudiaremos a continuación:

a) **Aereación, sedimentación y filtración:**

La aereación consiste en mezclar el agua y el aire íntimamente de varias maneras: aereadores en cascada, aereadores a tiraje forzado, aereadores por toberas o regadores, etc. Dos papeles importantes juega la aereación: en primer lugar, el anhidido carbónico es removido por la aereación incrementando el pH del agua; en segundo lugar, el oxígeno del aire tiende a efectuar la oxidación de hierro. Como resultado de estas dos acciones, ocurre la precipitación del hierro como hidróxido férrico:

$$4Fe(HCO3)2 + 02 + H20 = 4\ Fe(OH)3 + 8CO2$$

La completa precipitación del hierro por la aereación no es instantánea; por esta razón muchas veces es necesario emplear un estanque de retención y sedimentación a continuación de los aereadores y antes de la filtración. El sedimento de los estanques de retención se remueve periódicamente.

b) **Aereación, adición de sustancias químicas, sedimentación y filtración:**

Aún con un adecuado suministro de oxígeno, la precipitación del hierro es imposibilitada por bajos valores del pH. Para una efectiva remoción del hierro, deben tenerse valores del pH comprendidos entre 8 y 8.6. En muchos casos es necesario añadir un álcali para acelerar y completar la precipitación del hierro.

La excepción a esto lo constituye la oxidación por el cloro o sus derivados, u otro oxidante enérgico.

c) **Hierro y manganeso en combinación con materia orgánica:**

Las aguas conteniendo hierro y manganeso en combinación con materia orgánica requieren, además de la aereación, la adición de álcali suficiente para elevar el pH entre 8.5 y 9.6 permitiendo de esta manera la remoción por sedimentación y filtración.

Si la unión del hierro y el manganeso con la materia orgánica

.e destruirse, la oxidación puede tener lugar a pH por debajo de 8. Esta unión puede ser rota por acción del cloro o por permanganato de potasio. Pero en estos casos se requiere la acción catalítica de lechos de contacto en los cuales el material se recubre de una capa de óxidos de hierro y manganeso. El agua una vez aereada se hace percolar por estos lechos, alcanzándose algunas veces buenos resultados en el proceso de remoción del hierro y manganeso. Puede emplearse la combinación de la aereación con el agregado de álcali para aumentar el pH, es decir, la aereación para eliminar parte del CO2 y aumentar el oxígeno, primero, y luego el álcali para neutralizar el resto del CO2 y completar la oxidación de las sales ferrosas o manganosas. Una vez precipitados los compuestos férricos o mangánicos, se procede a la decantación con agregado de coagulantes en ciertos casos, para ayudar a la formación del flóculo y luego se filtra.

2. **ELIMINACION DEL HIERRO Y MANGANESO POR MEDIO DE ZEOLITAS:**

La eliminación de hierro y manganeso por medio de zeolitas se efectúa por intercambio de iones simultáneamente con el proceso de suavización, siempre que estos elementos se encuentren en solución, evitando que por oxidación se precipiten como hidróxidos férricos o mangánicos, porque se depositarían sobre las zeolitas con efectos perjudiciales para las mismas, ya que las inactivarían.

La propiedad de eliminación de hierro y manganeso de las zeolitas persiste aún después de que el poder de suavización está agotado. Cuando se regenera la zeolita con cloruro de sodio se forma cloruro de hierro o manganeso soluble, lo mismo que en el proceso de la suavización, en el que se forman cloruros de calcio y magnesio.

Además de este método de eliminación de hierro y manganeso con zeolita común, que se efectúa conjuntamente con la suavización, existe otra zeolita especialmente preparada para eliminar estos dos elementos únicamente. Esta nueva zeolita, conocida como **zeolita de manganeso**, se prepara tratando la zeolita sódica con cloruro de manganeso para convertirla en zeolita manganosa, y luego se trata ésta con permanganato de sodio, de lo que resulta un depósito de los óxidos superiores del manganeso sobre los granos de la zeolita. La zeolita así preparada actúa por contacto, oxidando los compuestos de hierro y manganeso, precipitando los hidróxidos correspondientes, que son retenidos por el filtro de zeolita. Después de que el poder de oxidación de la zeolita de manganeso se ha agotado, ésta se regenera con un tratamiento con permanganato de sodio. Los hidróxidos de hierro y manganeso son eliminados del filtro por lavado.

Como podemos apreciar la manera de actuar de la zeolita de manganeso es completamente diferente a la zeolita de sodio; la primera trabaja por oxidación, en cambio la segunda efectúa la remoción del hierro y manganeso por intercambio de iones, tal como en el caso de la suavización, en el cual se intercambian los iones de calcio y magnesio por sodio.

CAPITULO X

Ablandamiento y Demineralización

La dureza de un agua proviene, casi exclusivamente, de su contenido de calcio y magnesio. Existen otros iones que contribuyen a la dureza, como el hierro por ej., pero su concentración normal es tan baja que su influencia en el parámetro considerado es casi nula. El ablandamiento de un agua es pues, la remoción de los iones de calcio y magnesio. Para lograr este objetivo existen A) métodos químicos y B) métodos de intercambio de iones.

A) METODOS QUIMICOS

Estos métodos se basan en la precipitación de los iones de calcio y/o de magnesio bajo la forma de compuestos cuya solubilidad es baja.

En general, aunque no en todos los casos, se busca la formación de carbonato de calcio (Ca Co_3) y de hidróxido de magnesio [$Mg(O\ H)_2$]. El operador conoce que en el agua no existen sino iones, salvo que la concentración de algunos de ellos sea tal que exceda un mínimo necesario para formar un compuesto entre 2 o más de ellos.

Si ese mínimo (que se llama producto de solubilidad) es excedido, entonces el compuesto puede formarse y precipitar bajo ciertas condiciones, separándose del seno de la masa líquida.

En el caso particular que tratamos, convendrá agregar o formar iones (CO_3) para precipitar el calcio e iones (OH) para efectuar lo mismo con el magnesio, separándolos así del agua y ablandándola. Desde qua la alcalinidad está compuesta de iones bicarbonatos (HCO_3) de iones carbonatos (CO_3) y de iones hidróxilos (OH); se comprende la estrecha relación entre la dureza y la alcalinidad en la aplicación de este método.

Las substancias usadas para agregar (OH) y (CO_3) al agua son la cal (hidróxido de calcio Ca (OH)2) y la ceniza de soda (carbonato de sodio $Na_2\ CO_3$).

No cabe en estos apuntes desarrollar la teoría de ablandamiento por cal y soda (cal y ceniza de soda). Es útil sin embargo profundizar algo en algunas reacciones que pueden dar, al operador, cierta base para corregir o mejorar el funcionamiento de las unidades.

El agregado de cal significa introducción de (OH) y de (Ca). Es evidente que no habría ganancia aparente si no fuera porque los (OH) se combinarán:

a) Con el CO_2 (si existe) para formar bicarbonatos.

b) Con los propios bicarbonatos para formar carbonatos.

Si la cantidad de carbonatos formados así es lo suficientemente elevada para precipitar el calcio del agua y el agregado con la cal, se habrá cumplido una etapa del ablandamiento, la cual es completa en el caso que no exista magnesio.

Si los carbonatos formados no son suficientes, entonces habrá que agregar ceniza de soda, que como no tiene (Ca) sino (Na) puede ceder todos sus (CO_3) para precipitar el calcio remanente.

Si existe magnesio, deberá producirse un exceso de hidróxido para precipitarlo. Como es natural, en el orden lógico de reacciones, se formarán antes los carbonatos y precipitará antes parte del calcio.

No obstante, el precipitado de carbonato de calcio es frecuentemente pequeño y de difícil sedimentación, comparado con el de Mg $(OH)_2$. Es por ello que en las plantas de ablandamiento se ayuda a la precipitación mediante el agregado de coagulantes, con la misión de separación en períodos razonables de sedimentación.

RECARBONATACION.

La presencia de cantidades exageradas de carbonato de calcio no precipitado y/o la excesiva alcalinidad cáustica resultante del proceso cal y soda, obliga a veces a efectuar, antes del tratamiento final de filtración, una introducción de anhidrido carbónico. La acción del CO_2 es, como se puede ya presumir dado lo antes explicado, de convertir iones de alcalinidad del tipo (OH) o (CO_3) en bicarbonatos, evitando así los 2 inconvenientes citados al comienzo de este parágrafo.

Los procesos y equipos para producir e introducir el CO_2 en el agua a tratar, varían con el tipo de planta y condiciones locales, siendo por otra parte de sencilla operación. En consecuencia, se estima que la explicación detallada de construcción y operación de dichos equipos será más convenientemente desarrollada por el ingeniero supervisor local que si lo tratáramos de efectuar en estos apuntes.

CANTIDAD DE LODOS PRODUCIDOS.

La eliminación de sólo 100 ppm. de dureza cálcica producirá 100 grs/m3 de Ca CO_3 en peso seco. Pero como el lodo tiene alrededor de un 95 % de humedad, resultará que cada m³ de agua arrojará unos 2 kg. de lodos por cada 100 ppm. de dureza. Una planta de 10.000

m³ que rebaje 200 ppm. de dureza deberá disponer adecuadam 40 toneladas de lodos/día. Se comprende pues que el problema de la disposición de lodos sea de capital importancia. En algunas plantas resulta económico recuperar el Ca O mediante la desecación de los lodos y eliminación de anhidrido, ya sea en vista de su utilización como óxido de cal o como fertilizante.

PROCESO SPIRACTOR.

De lo expuesto surgen 2 inconvenientes congénitas a las plantas convencionales de cal y soda.

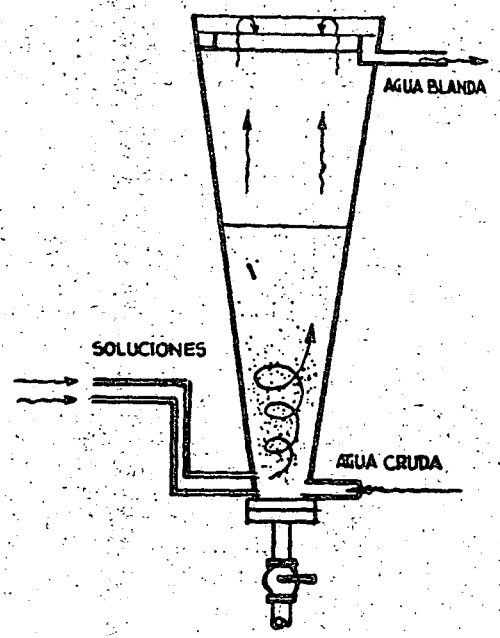
a) Las reacciones no se producen tal como teóricamente se deducen, en razón de los períodos de contacto necesariamente limitados ya que los productos de solubilidad dejan un remanente por reaccionar.

b) La cantidad de lodos sedimentados.

Una mejora apreciable se logra mediante la utilización de los sedimentadores a contacto de lodos, en razón del íntimo contacto con lodos ya producidos lo que favorece las reacciones.

Sin embargo, para reducir y casi eliminar los residuos, el proceso patentado Spiractor, que se basa en el contacto con núcleos sólidos de carbonato de calcio preformados, es la única respuesta al inconveniente citado en b).

El Spiractor es un recipiente de forma de cono invertido, lleno



hasta aproximadamente la mitad de gránulos de Ca CO_3 de 0,3 a 0,6 m.m. La entrada de las soluciones y del agua bruta es tangencial en la parte inferior, lo que importa un movimiento helicoidal ascendente. Esto mantiene el lecho en suspensión y favorece el contacto con los gránulos catalizadores.

En cada gránulo se acumula Ca CO_3, en forma de anillo dependiendo del caudal, de la dureza y de otros factores, habrá que efectuar más o menos descargas de fondo y agregado de nuevos gránulos catalizadores.

El Spiractor sólo puede usarse cuando no existe turbiedad o color y cuando el contenido de Mg es suficientemente reducido.

PROCESO CAL Y SODA EN CALIENTE.

En ciertos usos industriales del agua es más conveniente realizar las precipitaciones explicadas del proceso cal-soda a altas temperaturas. La razón es que, como cualquier reacción basada en ley de actividades, la velocidad de la misma es mayor a mayor temperatura. Ello trae aparejado una reducción considerable en la cidad de las estructuras y, también, en las dosificaciones, pero en general los equipos, al trabajar con vapor para el calentamiento, son mucho más complicados.

B) METODOS DE INTERCAMBIO DE IONES

Existen disponibles en el mercado ciertos silicatos naturales o compuestos producidos sintéticamente que tienen la propiedad de intercambiar ciertos iones albergados en su estructura por iones del agua. En particular, algunos de esos materiales cambian cationes como sodio o hidrógeno por calcio y/o magnesio. Al retener calcio y magnesio, ablandan el agua. Lo notable es que es posible, cuando la capacidad del material se agota, de renovarlo mediante un proceso que se llama regeneración.

DISTINTOS TIPOS DE INTERCAMBIADORES CATIONICOS.

Los intercambiadores inorgánicos fueron los primeros en ser utilizados recibiendo el nombre de "zeolitas". Son silicatos complejos, denominándose glauconitas a las zeolitas naturales a las que sólo se someten a refinado y clasificación granulométrica. Las inorgánicas sintéticas son del tipo gel, tienen menor resistencia a aguas agresivas pero una mayor capacidad de intercambio. Ambas tienen el inconveniente que ceden sílice al agua de bajo contenido de la misma.

Los intercambiadores catiónicos orgánicos son derivados de grupos sulfonados y pueden ser de base estirénicas fenólicas o de carbón. Difieren en sus capacidades de intercambio y también en su resistencia a ataques por aguas agresivas o conteniendo hierro en solución o a diversas temperaturas.

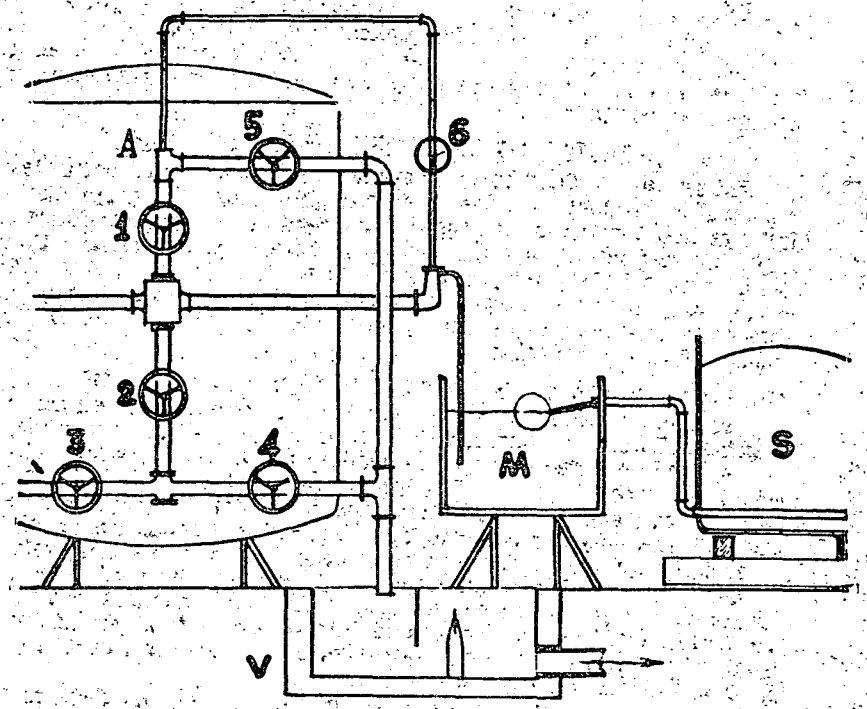
El siguiente cuadro expresa las propiedades de los distintos tipos en forma comparativa.

	INORGANICAS		ORGANICAS		
	Glauconita	Gel	Carbón sulfonado	Fenólica	Estirenica
Capacidad en grs. de $CaCO_3$/lt de material					
A) Con regeneración de 2 grs. sal/gr. de $CaCO_3$ ...	5	18	16.1	19.6	46
B) idem de 3 gr. de sal/gr. de $CaCO_3$.	6,2	20	18.3	26	56
Resistencia pH	< 8.5	< 8.3	< 9.0	< 11.0	< 11.0
Resistencia a temp.	Máx.60º	Máx.50º	Máx.30ºC	Máx.60º	Máx.110ºC

El proceso de intercambio catiónico se puede explicar mejor si esquematizamos un equipo, como los que se encuentra en el mercado.

El tanque cerrado es un filtro a presión donde se aloja el intercambiador descansando sobre material graduado y sistema de drenaje. El "M" es el tanque medidor de la solución regenerante, en este caso una solución de sal saturada en el saturador "S".

Suponiendo todas las válvulas cerradas, si abro 1 y 3, el líquido entra en A y sale en 8, ablandándose. Cuando se agota la capacidad, se procede primero a un lavado a contracorriente abriendo 2 y 5 cerrando 1 y 3. El caudal se controla por el vertedero V. Una vez lavado el material se introduce lasolución saturada medida en M mediante la apertura de 6 y 4 y cerrando el resto. La dilución la produce el mismo inyector de aspiración I. Esta operación debe ser lenta por que es la que devuelve el sodio al material y desaloja al calcio que había quedado intercambiado. Finalmente se procede a un enjua-



gue, cerrando todas las válvulas y abriendo 1 y 4. Controlando la salida por el vertedero. Entonces se puede renovar el cielo de ablandamiento.

Existen disponibles equipos que eliminan el nido de válvulas mencionado por la operación de una sola válvula de pasajes múltiples que se denomina válvula multipuerta. Permite esa válvula además, la operación enteramente automática del equipo, proveniendo las órdenes ya sea de un medidor o contador (cuando la calidad del agua es constante) o bien de un aparato automático medidor de dureza.

Los intercambiadores catiónicos orgánicos pueden operar en el cielo del hidrógeno, es decir, regenerándose por un ácido (en general sulfúrico) en lugar de emplear sal. Entonces, pueden intercambiar H por cualquier catión, inclusive el sodio.

INTERCAMBIADORES ANIONICOS.

El proceso es enteramente análogo y los materiales intercambian aniones alcalinos por los aniones del agua. Existen 2 tipos: a) el intercambiador fuertemente básico, que se regenera con soda cáustica, y que es capaz de eliminar del agua aniones débiles como los provenientes de sílice o anhídrido carbónico. b) el débilmente básico, regenerando con ceniza de soda, que elimina aniones fuertes solamente.

En muchas ocasiones, sólo puede usarse uno de estos tipos.

DEMINERALIZACION.

De lo expuesto surge evidente que, por pasaje sucesivo a través de intercambiadores, cualquier tipo de agua clasificada puede ser despojada casi totalmente de sus iones, produciéndose aguas que poco difieren y en algunos casos superan en pureza a aguas destiladas.

Cabe sin embargo advertir que la elección de un proceso de esta índole, su estudio técnico y económico, están fuera del alcance de un operador y es siempre conveniente dejar su análisis a un ingeniero especialista.

CAPITULO XI

Abastecimiento de agua subterránea

Los abastecimientos de este tipo tienen ventajas e inconvenientes. Como ventajas podemos citar:

1º Producción de agua de carácter más uniforme y con menor tenor bacteriano que las aguas superficiales.
2º Menor capital invertido en construcción y equipo.
3º Costo de operación menor.

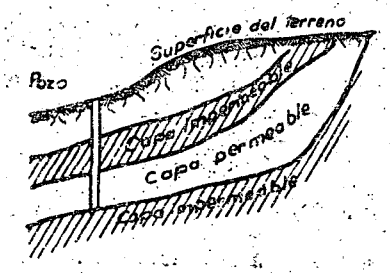
Las desventajas incluyen:

1º Dificultad en obtener los caudales necesarios en ciertas zonas.
2º Alto contenido mineral en muchos casos y presencia de elementos inconvenientes que deben eliminarse en algunos otros.
3º En caso de pozos muy profundos, el costo alto del bombeo y de los equipos.

POZOS ORDINARIOS Y ARTESIANOS

El agua subterránea proviene de las lluvias, parte de las cuales percolan en el terreno. Si existe suficiente terreno permeable (en profundidad), antes de alcanzar la formación impermeable, se formará una mesa o tabla de agua conocida por agua freática.

Los pozos que captan la napa freática son, salvo excepciones, de un rendimiento bajo. Las formaciones permeables pueden quedar cerradas, frecuentemente, entre estratos impermeables. Si la zona de entrada de agua a la formación permeable está más elevada que la zona de captación (mediante pozos) entonces el nivel de agua en el pozo subirá por encima de la parte superior de la capa permeable o pendiente del acuífero. Este pozo, es un pozo artesiano, y si la diferencia de niveles es grande, puede llegar a fluir el agua del mismo pozo de bombeo (caso de geiser, por ejemplo) y se denomina surgente.

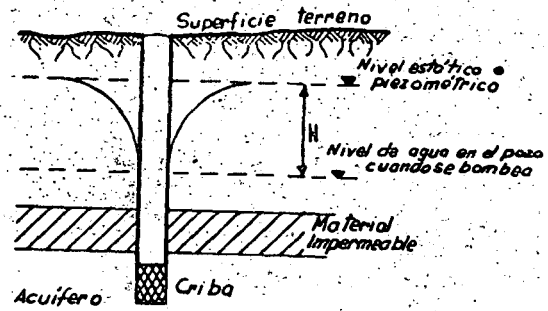


Cuando del pozo no fluya el agua espontáneamente, se denomina artesiano semisurgente.

Los principales materiales de los acuíferos son: arena, grava, areniscas, materiales fisurados y rocas calizas.

HIDRÁULICA DE POZOS:

La cantidad de agua a extraer de un pozo no es ilimitada. Depende de la recarga que se produce por percolación de lluvia caída en la zona de entrada y en lo que pueden aportar a dicha formación, cursos de agua en contacto con la misma. Además debe considerarse la permeabilidad de la formación acuífera y su capacidad de almacenamiento como factores importantes en la capacidad de producción del acuífero. El diagrama siguiente ilustra ciertos términos de la hidráulica de un pozo artesiano.



El **nivel piezométrico** es la altura a que se elevará el agua cuando no se bombea, para lo cual, el bombeo anterior habrá sido detenido un tiempo suficiente, anteriormente.

El nivel de agua cuando se bombea, es el llamado **nivel de trabajo.** Este nivel variará con el caudal de agua extraído por la bomba y también con el tiempo de bombeo (número de horas o días de bombeo continuo o alternado).

Se ha observado además que se ha dibujado una línea curvada que engendra un cono, llamado **cono de depresión.** Cada punto de esa superficie sería la altura a la cual subiría el agua, cuando se bombea el pozo central, si efectuáramos pozos testigos en esas verticales.

La importancia de los conos de depresión se advierte cuando consideramos que, en general, habrá varios pozos semisurgentes en un abastecimiento y los conos de depresión pueden influenciarse de modo de modificar sensiblemente los niveles de trabajo. Los niveles de trabajo deben mantenerse como mínimo 1 metro por encima de la pendiente del acuífero, porque de otro modo pueden modificarse aceleradamente las propiedades de éste.

Respecto a los tiempos y caudales a que pueden explotarse uno o varios pozos semisurgentes de una zona, dependen de estudios matemáticos y geológicos fuera del alcance de este Manual. Basta decir que las relaciones conectan los caudales y tiempos con las propiedades de la napa, (porosidad y capacidad de almacenamiento), diámetro del pozo y profundidad del acuífero.

CONSTRUCCION DE POZOS

Aunque la construcción de pozos es una tarea de especialización, el encargado debe ser competente lo suficiente para aconsejar a las autoridades sobre las especificaciones.

POZOS ABIERTOS Y POZOS DE TUBO:

Solo excepcionalmente esta clase de pozos sirven como fuentes de aprovisionamiento municipales. Los primeros tienen diámetros grandes, desde 1 metro en adelante. Los segundos se efectúan hincando un conducto de metal que actúa como entubado, primeramente, hasta la napa captada.

Tanto unos como otros deben ser construídos de modo de evitar contaminaciones de la napa freática y también entradas de agua del terreno.

POZOS PERFORADOS:

Mientras se perforan esta clase de perforaciones, debe llevarse un registro adecuado de las profundidades, características de las formaciones atravesadas, espesores y si es posible granulo[illegible]ías.

Los métodos más comunes de construcción son los sig[illegible]es:

a) **Standard.** La perforadora consiste en una estructura sobre ruedas que puede fijarse rígidamente en el sitio elegido y que soporta:

1) El motor a explosión.
2) El derrick o grúa.
3) El sistema de poleas y cables.
4) La pluma o viga alternativa.
5) Las herramientas de percusión (porta cable, percutor y trépano.).

El trépano golpea y va formando (por su extremo duro y afilado) el pozo. El material desmenuzado se va quitando con una herramienta especial (baller).

El diámetro del pozo debe ser tal que permita colocar una tubería llamada de entubamiento, que aisle las napas contaminadas. Generalmente se coloca el entubado luego de haber efectuado los primeros análisis. Debe tenerse en cuenta la calidad de agua para elegir el entubado, el cual será compuesto de caños de acero sin costuras por los esfuerzos a que están sometidos eventualmente.

El entubado llega frecuentemente a la formación o napa permeable usada. Es necesario sellar el espacio entre el pozo y el entubado usando arcilla (no satisfactorio en ciertos casos) o cemento. Es importante que la alineación del pozo y entubado sea lo suficientemente recta para que permita la operación satisfactoria de las bombas tipo turbina, centrífugas de eje vertical. Para el cementado se usa generalmente cemento de fraguado rápido y agua, sólo, siendo una operación de la cual depende la eficiencia, y duración del pozo.

En la parte inferior de la tubería de entubado u otra interna (que a veces la sustituye, como se verá más adelante) se coloca (excepto en napas de roca fisurada) una **criba o tubo - filtro (screen).**

Los **tubos filtros** pueden ser de bronce, acero inoxidable, o materiales plásticos. Presentan una serie de aberturas para excluir arenas gruesas de entrar al pozo. La abertura se selecciona conociendo por tamizado, el material de la napa; usándose generalmente una magnitud tal que permita el 70 % de la arena seca pasar a través; si no se coloca gravilla como prefiltro.

Los tubos filtros deben tener una superficie de aberturas tal que la velocidad del agua no exceda a 3 cm/seg.

Cuando la arena de la formación sea tal que el ensayo granulométrico determine que el tamaño efectivo T.E. sea $\geqslant$ 0.25 m.m. y el coeficiente de uniformidad C. U. sea $\geqslant$ 2 entonces no habrá necesidad de formar un prefiltro de gravilla.

Cuando se use prefiltro de gravilla, se elige ésta de modo que su T. E. esté comprendido entre 3 veces el T. E. de la arena y 6 veces ese valor. Además su C. U. será $\leqslant$ 2.

La abertura de las ranuras del tubo filtro tendrá que ser menor o igual al T. E. de la gravilla.

Son satisfactorios los pozos que no demuestran producir más de unos 15 gramos de arena cada 100 litros.

b) **El método rotativo** (rotary). Con la perforadora equipada ahora además con un sistema de frenos y embragues para para comandar una mesa rotativa de la cual parte un eje hueco con el trépano rotativo en el extremo.

El trépano corta la roca o formación y la inyección de arcilla en el eje levanta el material a la superficie. Debe ponerse especial cuidado cuando la profundidad a la cual está la napa es desconocida.

La colocación de la grava. Para pozos relativamente poco profundos en arena fina, frecuentemente se rodea la criba o colador por medio de grava, lo cual requiere que el pozo tenga doble entubamiento. El entubado exterior es el mismo ya conocido. Dentro de él se coloca un nuevo entubado que llega al fondo del pozo, el cual puede levantarse y colocar grava, al tiempo que se bombea hasta que la cavidad no incrementa más en magnitud.

Especificaciones para construcción.

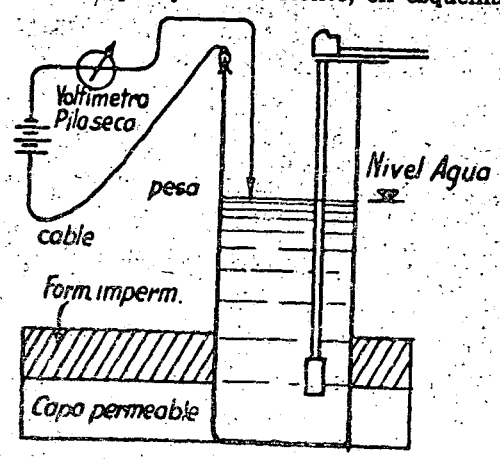
Desde que los pozos son construídos generalmente por compañías especializadas, se considera prudente contratarlos bajo especificaciones, las cuales pueden ser las de la American Well Drillers Ass. (1912 South Main St. South Bend, Indiana, U.S.A.).

Se estima necesario que el Contrato incluya lo siguiente:

1) Garantía del caudal a extraer. Conviene establecer bonificación por cada 50 lts./minuto en más y una penalidad por cada 50 lts./minuto en menos; con límites apropiados. El nivel de trabajo luego de 24 horas de bombeo continuo no puede estar por debajo de una cota 1.50 m por encima de la primera napa utilizada.
2) Alimentación ordenada incluyendo ensayo.
3) La criba o colador usada se cobrará por metro o pie colocado. El metal, aberturas y marca de la criba deben ser especificados.
4) La clase de entubado o colador, (si varía en diámetro se indicará el solape y el empaque para evitar las fugas de las napas indeseables; así como el sello empleado en el entubado principal).
5) Conviene establecer que se hará un ensayo bacteriológico al finalizar el pozo. Esto indicará al constructor que deberá tomar precauciones sanitarias y que estará a cargo suyo la desinfección necesaria.
6) El contratista deberá entregar muestras de formaciones encontradas y un estado o record completo de diámetros y profundidades.
7) El desarrollo (bombeo final o pistoneo o uso de aire comprimido) debe ser especificado.

OPERACION Y MANTENIMIENTO DE POZOS:

Es importante que el operador conozca los niveles estáticos y de trabajo del agua en sus perforaciones. Para ello se usa generalmente lo que se llama el **piezométrico eléctrico** que consiste de una pesa alargada y fina de plomo rodeada de goma o plástico aislante excepto en su extremidad inferior. Esa pesa se continúa con un cable bajo goma o plástico y se conecta en serie con una pila seca de 22.5 volts y un voltímetro. El circuito se cierra con el entubado o con el tubo de elevación. Cuando la pesa toca el agua el voltímetro acusa el pasaje de corriente, en esquema sería:



Mantenimiento.

Aparte de que el entubado puede estar corroído o pueden haber derrumbes, una dificultad que se encuentra a menudo es la incrustación de la criba.

Aunque la limpieza por ácido clorhídrico comercial es una operación delicada conviene saber que se coloca una cantidad de ácido de modo de dar una concentración entre 10 % y 25 %.

Una bomba resistente al ácido (generalmente con rotor de acero inoxidable) se conecta a la succión y a una descarga de tubería que llega hasta la criba, y se bombea hasta que poseen unos 1.000 litros de agua acidulada. Se deja reposar unas 6 horas. Se bombea luego hasta recobrar el pH original, dejando ir al desague el agua así bombeada.

CAPITULO XII

Sistema de Distribución. Consumo de agua

Los sistemas de distribución tienen dos funciones a cumplir:

a) Suministrar agua potable al consumidor en la cantidad necesaria.
b) Proveer suficiente agua para combatir incendios en cualquier punto del sistema.

En estas notas sólo nos ocuparemos de los problemas de operación y mantenimiento de tales sistemas.

El sistema de distribución comprende:

1) La red de tuberías de distribución.
2) Las piezas especiales.
3) Los depósitos o tanques elevados y las estaciones de rebombeo.
4) Las conexiones o servicios a los usuarios y los medidores.

Consideramos estos puntos por separado, relacionándolos luego para captar su operación ordenada.

LA RED DE DISTRIBUCION:

En general puede asumirse que el 80 % del valor de un sistema está en sus tuberías y piezas especiales. Desde que el costo de un sistema de distribución es aproximadamente las dos terceras partes (2/3) del valor del abastecimiento, se comprende la importancia de mantener la red adecuadamente.

Es oportuno citar aquí que el día de máximo consumo el caudal enviado a la distribución es 50 % mayor (aproximadamente) que el promedio de consumo diario anual y que en ese día máximo, la hora de mayor demanda tendrá un exceso de consumo de un 50 % sobre el promedio de las 24 horas.

En general el sistema con sus tuberías maestras (generalmente dispuestas en cuadros o bucles) que alimentan las tuberías secundarias de mallado de la red, está diseñado para tener en cuenta esa demanda y la demanda eventual de incendio. De un modo general puede admitirse que para ciudades mayores de 500.000 habitantes el factor determinante del proyecto de una red es la demanda doméstica y no el servicio de incendios. Las clases de conductos usados actualmente, en las redes de distribución son fundición, asbesto cemento (fibrocemento), acero, hormigón armado simple, hormigón armado precomprimido y aun madera. En general se puede decir que el hormigón armado y la madera sólo se usan para tuberías de aducción de extensión considerable; y se puede admitir que el acero está en análogas condiciones. Las tuberías de fundición (cast-iron) son las más usadas, están revestidas general-

mer de alquitrán o bituminos y aun de cemento. La razón de estos stimientos está en la protección anticorrosiva, y la elección del tipo de revestimiento dependerá, en lo interior, de la calidad del agua circulante y en lo exterior, de la clase de terreno en la zanja donde se colocan las tuberías.

Existen especificaciones para tuberías de materiales diversos tanto de la American Water Works Association (Estados Unidos de Norte América) como de otros países inclusive de América Latina. Aunque la colocación de las tuberías está fuera del objeto de estos asuntos conviene citar aquí algunos puntos fundamentales:

a) La profundidad de la zanja es generalmente 80 centímetros más el diámetro interior del caño a colocar.
b) El relleno de la zanja deberá hacerse con material arenoso hasta cubrir el caño, apisonando cuidadosamente y cuidando que el caño asiente en toda su longitud. A los efectos de la prueba hidráulica en zanja se dejarán sin rellenar las partes correspondientes a las cabezas.
c) El apisonado debe efectuarse por capas de un espesor no mayor a 15 centímetros.

Al cabo de cierto tiempo de uso la capacidad de las tuberías de una red (en fundición y acero), sufrirán una disminución de su capacidad de conducción por efecto de la rugosidad provocada por productos de la corrosión principalmente. Será necesario vigilar las presiones en distintos puntos del sistema para detectar los cambios producidos, aunque un cambio de presión puede ser debido a pérdidas o fugas de agua por roturas o desperfectos. En general se determina por mediciones hidráulicas un coeficiente de capacidad de conducción que, cuando disminuye mucho, indica la necesidad de restaurar la capacidad de la tubería por medio de una limpieza.

La limpieza de una tubería es una operación que se efectúa por medio de un raspador impulsado a palanca para tuberías hasta 150 m/m de diámetro interior (6 pulgadas) siendo impulsado por presión de agua para tuberías mayores. Si en una sección de la red se sospecha que hay una fuga de agua o pérdida, puede aislarse la sección por las válvulas o llaves de paso y proceder a alimentarla (durante la noche) por medio de by-pass provisto de un medidor adecuado. El diámetro del by-pass y del medidor lo indicará el tamaño de la sección. En cuanto a las presiones que conviene mantener en una red, aunque ellas están determinadas por el proyecto, existe discusión al respecto. En varios países de la América Latina se considera que una presión de 1.5 kilogramos/centímetro cuadrado es suficiente, por lo que casas de apartamentos o edificios de mucha capacidad deberán tener tanques elevados abastecidos por bombas de recalque de funcionamiento automático. Es imperioso que estas bombas de recalque (booster) no sean conectadas directamente a la red, pues en ciertos casos provocarían succiones inconvenientes para el correcto funcionamiento de la misma.

PIEZAS ESPECIALES.

a) **Válvulas y llaves:**

Es indispensable efectuar un plan para la recorrida anual de todas las válvulas o llaves de paso.

Cada llave de paso debe tener su hoja en un fichero especial, en el cual se anotará su ubicación, el diámetro, el estado actual de funcionamiento, las vueltas necesarias para su apertura y la fecha de cada inspección. La recorrida tendrá por objeto abrir y cerrar las llaves y cambiar la empaquetadura de aquellas que demuestren dificultad de manejo.

Agregando kerosene o aceite lubricante de baja viscocidad entre el vástago y la empaquetadura se facilitarán los movimientos La apertura y cierre de las válvulas debe hacerse repetidas veces en cada llave; abriendo ¼ de vuelta más en cada apertura. Esto facilitará la eliminación de depósitos en el asiento de la compuerta. Las válvulas de retención deben ser inspeccionadas por lo menos cada 3 meses, exigiéndolo así su función. Cualquier reparación debe tener preeminencia sobre las demás válvulas.

b) **Ventosas y Bocas de Descarga.**

Las piezas de este tipo que estén colocadas sobre una tubería de aducción o elevación deben ser objeto de una atención mensual. Esta inspección debe incluir el recorrido de la tubería para observar pérdidas, irregularidades provocadas por aguas pluviales o por otros elementos. El encargado u operador indicará los puntos importantes de estas tuberías y exigirá un informe, que puede ser verbal, del encargado de la inspección.

c) **Hidrantes y Postes Surtidores:**

El encargado u operador efectuará un estudio de los postes surtidores que exijan reparaciones con más asiduidad. Ese estudio tenderá a saber si los desperfectos son motivados por actos de vandalismo o por el cierre brusco, a consecuencia del golpe de ariete.

La modificación del tipo de cierre será propuesta si las circunstancias lo aconsejan. La limpieza de las cajas de los hidrantes y del interior de los postes surtidores (para evitar que el agua acumulada pueda contaminar, debido a una succión, el agua distribuida) será estudiada por el operador, así como la necesidad de pintura de estas piezas.

REPARACIONES:

El operador deberá conocer sus existencias de material de red, mantener al día esa información y estudiar las exigencias motivadas por roturas o desajustes de cualquier clase que obliguen a tener en stock piezas especiales de cierto tipo en mayor número que otras. Se deberá presentar cada 6 meses un informe de las roturas que hubiera habido en la red con un cálculo de costos de material y mano de obra insumida en cada una. Esta información será indispensable para prever la adquisición de material y estudiar, de acuerdo a los datos, comparativamente, con otros sistemas de distribución. Serán, además, establecidos porcentajes por concepto de reparaciones teniendo en cuenta la longitud de cañería de cada diámetro, y los materiales y mano de obra consumidos por diámetro de tubería, (salvo que la rotura afecte a alguna pieza especial que no dependa del diámetro de la tubería, en cuyo caso la información se limita a los costos). El operador, además, debe estudiar el tipo de la rotura y tratar de establecer sus causas: debiendo, si las conclusiones son a su juicio valederas, incluirlas en el informe semestral.

Cada reparación exige la desinfección posterior de la tubería en el tramo o tramos afectados. La desinfección se efectuará con hipoclorito de sodio, con flujo lento al agregar el hipoclorito en solución, de modo que en todas las partes afectadas la concentración sea de 40 a 50 ppm. El período mínimo de contacto salvo casos especiales, será de 24 horas, aumentándose si el pH es superior a 8.

Con ortotolidina se puede hacer un ensayo del cloro residual a las 24 horas, el cual dará una concentración de 15 a 25 ppm. que aparecerá como rojo brillante, siguiendo la técnica común del ensayo. Para 50 ppm. o más hay un precipitado marron bien reconocible. Las válvulas o hidrantes deben ser maniobrados mientras la tubería está con el agente desinfectante. El material debe estar exento de tierra o impurezas y debe evitarse la entrada de agua a la tubería. Si el trabajo se interrumpe es necesario taponear el extremo libre y las juntas deben estar colocadas o en su defecto empaquetadas. El yute o filástica alquitranada para las juntas debe estar preservado en solución de hipoclorito de sodio, porque es fácil su contaminación.

DEPOSITOS DE DISTRIBUCION:

El hecho citado de que la demanda máxima diaria se presente sólo en ciertas horas del día, hace que pueda atendérsele con la reserva de agua de los depósitos de distribución. En general su ca-

dad excederá al 20 % del máximo consumo diario al cabo del do de previsión. Los tanques de distribución tienen además la misión fundamental de regular y uniformizar presiones en la red, así como ofrecer seguridad al funcionamiento de las bombas elevadoras. Cada 6 meses o cuando haya alguna señal que lo justifique el encargado deberá inspeccionar el depósito de distribución; con relación al estado de su limpieza interior, rotura o fallas, pérdidas y cualquier diferencia estructural que se obseva. El encargado deberá preparar un plan para limpieza periódica, de cuyo cumplimiento y procedimiento empleado recibirá un informe o controlará por sí mismo. Este plan comprende instrucciones detalladas para la correcta manera de proceder. Los depósitos de acero deben recibir especial atención. Se recomienda a este efecto proceder como se indica en la "Práctice Recomended for Inspecting Steel Water Tanks", aparecido en el número de Octubre de 1946 del Journal de la American Water Works Association. En los tanques enterrados o semienterrados deben extremarse los cuidados contra una contaminación. La ventilación y las aberturas de inspección deben ser a prueba de polvo e insectos, cuando no haya posibilidad de entrada de agua del terreno y absolutamente sellados si existe tal posibilidad. Los drenes deben ser inspeccionados al tiempo que los tanques de este tipo para observar su funcionamiento y en particular la seguridad que ofrecen frente a contaminaciones. Si se estima necesario habrá que colocar un sistema de drenaje subsuperficial para bajar el nivel de agua del terreno debajo del fondo del depósito.

CONEXIONES Y MEDIDORES O CONTADORES:

Las **CONEXIONES O SERVICIOS** son las tuberías y piezas (incluído el medidor) que conducen el agua desde la tubería distribuidora hasta empalmar con las tuberías internas de la casa.

Se distinguen los siguientes elementos de una conexión:

a) El **ferrul** o pieza insertada en la tubería distribuidora (para diámetros grandes se sustituye por derivaciones con piezas T o similares).
b) La **tubería** de la conexión.
c) Las llaves o válvulas de cierre.
d) El **medidor** o contador.

El **ferrul** es una pieza que se enrosca en la tubería y se empalma a la tubería de conexión. Generalmente posee una llave de cierre incorporada y se coloca mediante una máquina especial, con mechamacho que efectúa el agujero, lo rosca y coloca finalmente el ferrul sin necesidad de desagotar la tubería distribuidora. La **tubería** de la conexión puede ser de plomo, hierro galvanizado, fundición, cobre y aún bronce. El material se seleccionará luego de un estudio de los terrenos y las aguas así como los costos. El cobre y plomo, muy usados por su flexibilidad y su resistencia a la tuberculinización, tienen ventajas sobre el hierro galvanizado y la fundición aunque éstos se usan más en tuberías grandes. El plomo puede disolverse en cantidad tal que puede ser amenazador para el consumidor.

El **diámetro** de la conexión debe ser tal que supla la cantidad de agua necesaria, pero no debe ser exagerado. Dependerá de las presiones y características de la instalación interna. Para una casa habitación de dimensiones corrientes y habitada por una familia, un diámetro de conexión de ½ pulgada (12.7 m/m) será, en general, suficiente.

Las válvulas se colocan con el objeto de cerrar el servicio (llave manejada por funcionarios del abastecimiento) o bien para efectuar reparaciones en el interior del edificio (llave usada por el propietario). Su tipo depende del material usado, pero generalmente son del tipo de globo.

Contadores:

El encargado deberá conocer no sólo el número de contadores en funcionamiento sino que deberá clasificarlos de acuerdo a su principio de funcionamiento en: **medidores de velocidad** y **medidores de volumen.**

Los medidores de **velocidad** son los del tipo **turbina** (Ejemplo Siemens) y los de volumen pueden ser: a) **De émbolo** (ejemplo Kent) b) **De disco** (Ejemplo Trident).

Hay otros tipos, su utilización es casi nula.

Los contadores del tipo **turbina** serán aun clasificados en los de **tobera única** (el agua alcanza la turbina a través de un solo chorro) y en los de **tobera múltiple.**

Cabe aún que el contador sea clasificado según sea que sus engranajes de indicación o relojería sean o no sumergidos y que la lectura sea por cifras saltantes o por agujas.

EN RESUMEN

VOLUMEN	**Disco**	Relojería seca	C. Saltantes / Agujas
		Relojería sumerg.	C. Saltantes / Agujas
	Embolo	Relojería seca	C. Saltantes / Agujas
VELOCIDAD	**Tóbera** Unica	Relojería seca	C. Saltantes / Agujas
		Relojería sumerg.	C. Saltantes / Agujas
	Tobera Múltiple	Relojería seca	C. Saltantes / Agujas
		Relojería sumerg.	C. Saltantes / Agujas

El objeto de la clasificación es ver, en cada localidad, el tipo de medidor que menos reparaciones sufre en un período de tiempo. Esto tendrá suma importancia en la formulación de los subsiguientes pliegos de condiciones de compra. Como es natural debe indicarse la razón de que el medidor sea enviado a reparación y el tiempo que hace que esté colocado. Cada año será preparado un cuadro en el que se procederá a estampar los datos de la siguiente manera:

FUNCIONAMIENTO DE MEDIDORES

Marca	Tipo	Sub Tipo	Relojería
Kent	Volumen	Embolo	Seca
Siemens	Velocidad	Tobera múltiple	Seca

Lectura	Razón del envío	Estado inicial	Tiempo que estuvo funcionando
Agujas	No funciona	Reparado	4 años
C. Saltantes	Marca mal	Nuevo	7 años

El tiempo debe ser establecido en años, por aproximación.

Además se establecerá el porcentaje retirado de cada marca respecto al total de esa marca instalados; efectuando también porcentajes respecto a tipos, subtipos y relojería con referencia al total de medidores de cada clasificación instalados.

Cada porcentaje será entonces dividido por el número de años promedio que estuvieron funcionando los de la clasificación a que alude el porcentaje y el número resultante será llamado "coeficiente de funcionamiento."

Ejemplo

Marca Kent, Tipo Volumen. Porcentaje 10 %. Promedio tiempo 8. Coef. func. 1.25.

Marca Siemens. Tipo Velocidad. Porcentaje 12 %. Promedio tiempo 7. Coef. func. 1.71.

Se debe llevar un fichero de medidores de acuerdo a las instrucciones que impartirá la Estación de Ensayo y Reparación de Medidores que se posea.

El caudal característico de un medidor es el caudal que pasa cuando la pérdida de carga a través del mismo alcanza a 1 Kg/cm2.

El funcionamiento de los medidores debe ser tal que no le sea exigido un trabajo que supere los siguientes valores (en diámetros pequeños):

Gasto máximo admisible, instantáneo 50 % del caudal característico.

Gasto máximo en 24 horas, 2 veces el caudal característico.

Gasto máximo mensual, 30 veces el caudal característico.

CONSUMO DE AGUA

Se considera en general que, aunque en un principio no exista un consumo normal en un abastecimiento incipiente, se irá alcanzando un consumo por persona y por día entre 100 y 350 lts/persona/día, lo que dependerá de la clase de población y clima.

Un mínimo absoluto para satisfacer las necesidades higiénicas será:

Para bebidas y culinarios	4 lts/persona/día
Para lavado de ropa	23 lts/persona/día
Para baño	19 lts/persona/día
Para inodoros	19 lts/persona/día
Para limpieza	10 lts/persona/día
Total:	75 lts/persona/día

A ello habrá que agregar el consumo de agua por otros usos como son: riego de jardines, lavado de automóviles, descargas adicionales de inodoros, fuentes de salida contínuas, etc.

Las razones de flujo para aparatos sanitarios son, como por determinadas por experiencias realizadas, las siguientes:

APARATO	ESTADO REGULAR	BUEN ESTADO
Bañaderas	19 lts/minuto	30 lts/minuto
Baños de ducha	11 "	23 "
Lavabos	11 "	19 "
Vertederos y tinas lavar ropa	15 "	30 "
Manguera riego	19 "	30 "
Descarga inodoros (con depósitos)	8 "	11 "
Descarga inodoros (conexión directa)	75 "	115 "

En función de estos datos, puede calcularse el medidor y diámetro de conexión apropiados, haciendo notar que no todos los aparatos funcionarán al mismo tiempo.

PREVENCION DE CONTAMINACIONES EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

a) **EN LA CONSTRUCCION:**

Una tubería de agua nunca debe ser colocada en la misma zanja que una cloaca o cañería de alcantarillado. Cuando una cloaca está menos de 3 mts. de una línea o tubería de agua potable (por ejemplo en un cruce de tuberías), toda la cloaca que diste menos de 3 mts. de la tubería deberá ser de fundición con juntas de plomo o bien otra junta estanca. Ya hemos hablado de las precauciones respecto a la filástica y al taponado cuando se abandona el trabajo hasta el día siguiente. Sólo agregaremos que conviene limpiar la tubería de materias extrañas antes de ser colocada.

b) **CONEXIONES CRUZADAS (CROSS CONNECTIONS).**

Son las conexiones físicas a abastecimiento o tuberías con contienen aguas indeseables.

Es muy común el caso de organizaciones industriales con abastecimientos propios, adecuados a sus usos industriales pero no para servir como fuentes de consumo de agua potable. Generalmente poseen una conexión con la tubería de distribución de uso público para suplir de agua potable. El peligro está en las interconexiones de ambos abastecimientos y la posibilidad de que mayores presiones impulsen el agua no controlada en la red pública. En muchas poblaciones se exige que la entrada de agua desde la red pública descargue en un tanque de tal modo que el máximo nivel de agua en el tanque esté 15 centímetros por debajo de dicha salida. Esta misma precaución debe tomarse en el caso de piscinas o piletas de natación y especialmente, si poseen filtros a presión, observar si el lavado se efectúa con agua de la red de distribución. Debe tenerse en cuenta que las válvulas de retención o llaves de compuerta no son confiables, en cuanto que al cabo de un tiempo permiten la contaminación por pérdidas de agua. Se debe tener especial cuidado en los aparatos sanitarios, muchos de los cuales tienen entradas de agua debajo de su nivel de rebalse. En esos casos, una succión en una tubería de agua puede provocar un sifonaje de agua contaminada en la misma. También pueden suceder estos inconvenientes en esterilizadores y lavadoras en hospitales. Los remedios son dejar los conductos de entrada unos 2 cms. encima del nivel de agua máximo en el aparato o, en ciertos casos, válvulas de vacío (vacuum breakers) como usados en urinales o toiletes. El encargado de un servicio debe tener presente que cuando se solicitan conexiones de diámetro grande se pueden producir modificaciones de importancia (una vez en servicio) en las presiones de la red cercanas al punto de conexión.

En estos casos puede ser necesario regular las cantidades de agua que, admisiblemente, pueden ser concedidas a tal conexión y frecuentemente será menester instalar un medidor especial registrador para vigilar el cumplimiento de las medidas adoptadas.

CAPITULO XIII

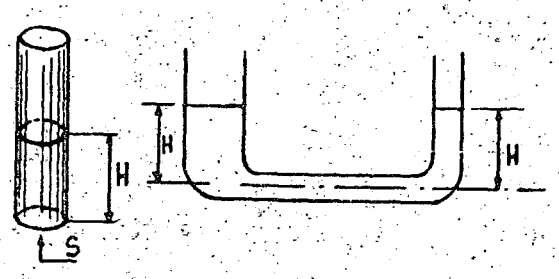
Hidráulica

1.— NOCION DE PRESION.

La presión se manifiesta por la tendencia de un líquido a romper las paredes del recipiente (conducto) que lo alberga.

Si "S" es la superficie en M2, cm2, o dm2 y "H" la altura en unidades concordantes, el volumen de agua es:

$$Vol. = HS$$



Eligiendo el "dm" como unidad, el peso en Kg. de ese volumen será también H S puesto que 1 dm3 pesa 1 Kg.

El tapón inferior está soportando, pues, un peso H S Kg. Si en ve "S" la superficie fuera de "S_1", dm2 entonces el peso será $H.S_1$, Kg.

Dicho en otras palabras, cada dm2 del tapón soporta una columna líquida que pesa H Kg.

Esto indica que la presión debe ser considerada como un peso o fuerza en cada unidad de superficie, ya que si uno ambos tubos, la altura de agua no varía.

Se dará entonces que tengo una presión de "P" Kg./cm2 o "P" Kg./dm2 o "P" Kg./m2 o "X" libras/pulgada cuadrada, etc.

Es además evidente que H mide también la presión. En el caso anterior la presión es:

H Kg./dm2.

Eso es equivalente a: $\frac{H}{100}$ Kg./cm2. También podemos decir H dm. de columna de agua (dm.C.A.) o lo que es lo mismo 10 H cm. C.A. de presión.

En efecto: decimos que si tenemos 10 H cm. de C.A. de presión, esta presión, es igual a $\frac{H}{100}$ Kg./cm2 e igual a H Kg/dm2. Para demostrarlo basta ver que un tubo de 1 cm2 de sección (área) con una altura de agua de 10 H cm. alberga un volumen de líquido de

$$10\ H \times 1 = 10\ H\ cm3.$$

o sea, puesto que 1 cm3 pesa 1 gramo, el peso es

10 H gramos.

Sobre el área de 1 cm2 habrá un peso de 10 H gramos o sea

$$\frac{10\ H}{1000}\ Kg. = \frac{H}{100}\ K.$$

y la presión es de $\frac{H}{100}$ Kg./cm2.

Si el tubo es de 1 dm2 de sección la altura de agua de 10 H cm. de C.A. representa H dm. de altura y un peso de H Kg. ya que hay un volumen de H dm3. Entonces la presión es de H Kg./dm2.

La presión se mide además en atmósferas. La masa de aire que rodea a la Tierra produce dicha presión, la cual es equivalente a 10 m 33 de columna de agua.

A los efectos de recordar equivalencias, la siguiente tabla puede ser útil en algunos casos.

EQUIVALENCIA DE PRESIONES

1 Kg./cm2 = 10 mts. C.A. = 14.22 lbs./pulgd.2.
1 Lb./pulgd.2. = 0.0703 Kg./cm2.
1 atmósfera = 10.33 m C.A. = 1.033 Kg./cm2.

2.— NOCION DE CARGA.

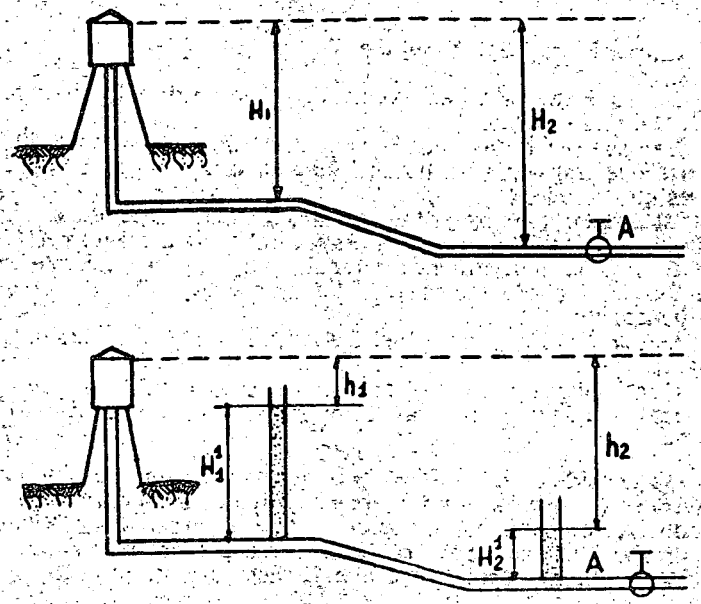
Hemos visto que la presión es, en realidad, equivalente a una altura de agua.

El nivel de un líquido en un recipiente fija, por lo tanto, la presión en todo otro punto de su masa, excepto que ese nivel no sea libre o sea salvo que haya un pistón o cobertura que incremente la presión de ese nivel máximo.

Si quitamos o ponemos agua en ese recipiente y éste no tiene salida abierta, al variar el nivel variarán las presiones.

Si tengo un tanque elevado y un conducto que parta desde su fondo, al estar la válvula A cerrada,
las presiones H_1 y H_2 se llaman cargas estáticas, las que no son más que presiones en los diveros puntos considerados.

Debemos hacer notar aquí que las cargas estáticas son presiones relativas, pues la presión absoluta sería la relativa más la presión atmosférica. Las presiones relativas se llaman también manométricas porque son las que acusan los manómetros.



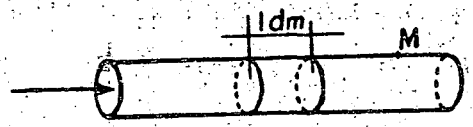
Si abro ahora la válvula A, dejando escurrir el agua por la tubería y coloco tubos para localizar la altura de agua:
las alturas H'_1 y H'_2 serán ahora llamadas cargas dinámicas, notándose que hay una reducción respecto a las cargas estáticas.

Esa reducción es debida, fundamentalmente, a la "fricción" del agua en su recorrido en el conducto y los valores h_1 y h_2 se llaman pérdidas de carga.

Estas pérdidas de carga o de presión dependen de una serie de parámetros físicos, pero es comprensible que intervengan primordialmente:

a) la velocidad del agua en la tubería.
b) el estado de rugosidad interno de la misma.
c) el diámetro de la tubería.

La **VELOCIDAD DEL AGUA** en un conducto es un concepto intuitivo, en el cual el movil que recorre cierta distancia en un cierto tiempo es la masa del agua.



Supongamos una tubería cuya área sea de 1 dm2.

Si elijo un cilindro de agua de 1 dm de largo, ese volumen será de 1 lt. Supongamos además que ese cilindro está coloreado de modo que sea identificable del resto del líquido y que no se mezcle con él.

Elegido un punto M, se llama gasto, flujo o caudal al volumen que pasa por la sección de M en la unidad de tiempo. Para seguir con el ejemplo, si el litro considerado pasa en 1 segundo tengo un gasto o flujo de 1 lt./S.

$$Q = 1\ lt./S. \qquad -1-$$

Si "pasara" en ¼ de segundo, entonces:

$$Q = 4\ lt./S.$$

Si la sección fuera de 2 dm2 y "pasara" en 1 segundo, tendría:

$$Q = 2\ lt./S. \qquad -2-$$

Por lo tanto, de un modo general, el gasto será igual al volume lido por el tiempo que tarda en pasar por una sección conside a (volumen por unidad de tiempo).

Se ve además que en los ejemplos 1 y 2, si divido el gasto por el área o sección me queda que el traslado o velocidad es de 1 dm./seg., la misma en ambos.

Resulta pues de todo lo dicho que el gasto es igual al producto del área por la velocidad.

La ecuación es pues:

$$Q = A \times V$$

Es importante recordar que las unidades deben ser consistentes en los distintos parámetros.

Ejemplo:

Un caudal de 1M3/S pasa por una tubería de 70 cm. de diámetro. Calcular la velocidad en metros/seg.

$$\text{El área o sección es } A = \frac{\pi \times (0.7m)^2}{4} = 0.385 \text{ m}^2$$

$$\text{Luego } V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{0.385} = 2.60 \text{ mts./S.}$$

En las tablas de pérdida de carga, ésta viene generalmente calculada en mts. C.A. por 100 mts. de recorrido de conducto.

Si yo conozco el diámetro y la velocidad del agua, y supongo una rugosidad (la cual depende de la calidad del agua, el tiempo de servicio de la tubería y el material de fabricación) puedo hallar inmediatamente la pérdida de carga.

En vez de velocidad, basta conocer el caudal o gasto ya que diviendo el caudal por el área tengo la velocidad. En particular si (D) es el diámetro en mts. (J) la pérdida de carga en mts./mt. de longitud de conducto y (V) la velocidad en mts./S. la fórmula de Darey es:

$$J = \frac{4}{D}\left(a + \frac{b}{D}\right) V^2$$

donde $a = 0.0002535$ $b = 0.00000647$ (Conductos nuevos)
$a = 0.000507$ $b = 0.000013$ (Conductos en servicio)

3.— MEDICION DEL CAUDAL.

El operador de un sistema de abastecimiento de agua tendrá siempre que medir, ya sea en la planta, en la red o aún en la propia entrada o conexión al distribuidor, el agua que produce o entrega o simplemente usa. Aún cuando no es éste el lugar para una apropiada discusión de la necesidad de medir los diferentes caudales, puede mencionarse:

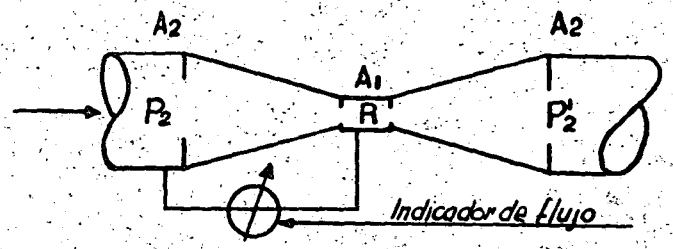
a) El funcionamiento correcto de los diversos equipos y unidades de la planta de purificación o elevación, depende de la apropiada medición y ajuste de caudales.
b) El control de las pérdidas de la red de distribución.
c) El registro de los consumos de los usuarios.
d) Los aportes de caudales de agua bruta en la cuenca de captación, deben ser estimados y si es posible, medidos.

MEDIDORES DE CONDUCTO.

El medidor llamado **Venturi**, es una pieza insertable en una tubería, con su mismo diámetro de entrada y salida, y provisto de un estrechamiento en forma de garganta.

De la fórmula anteriormente vista

$$\frac{Q}{A} = V$$



observamos que si el mismo caudal pasa por secciones A_1 y A_2, las correspondientes velocidades serán diferentes.

En particular si $A_1 < A_2$ (A_1 menor que A_2)
resulta $V_2 < V_1$

En el aparato Venturi, en razón de su pulimento y acabado interior, así como a causa de su construcción, la pérdida de carga entre la sección de entrada y la de salida es insignificante. Pero la presión en la sección de entrada es mayor que en la sección medio o garganta para así compensar el incremento de velocidad, recuperándose posteriormente casi en su totalidad al volver la velocidad a su valor primitivo.

Se aprovecha esta diferencia de presiones para calcular mediante ella el caudal que pasa por la tubería.

Debe hacerse notar que la diferencia de presiones es proporcional al caudal elevado al cuadrado, como puede fácilmente demostrarse. Por eso es que los aparatos medidores tienen su indicador de flujo con mecanismos o escalas especiales para que la lectura sea directa (del caudal).

Conviene mencionar que la medición en un Venturi depende de la diferencia de presiones y no de cada presión considerada.

Otros tipos de medidores de conducto son:

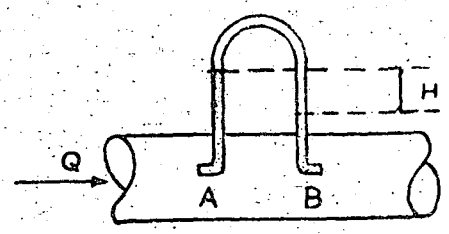
a) El diafragma intercalado en la tubería.
b) Los tubos pitométricos.
c) Los medidores, en general, con mecanismos indicadores.

Los diafragmas son chapas planas, concéntricas con el conducto obturado según un círculo cuyo diámetro es menor que dicho conducto.

Introducen una pérdida de carga en la línea que depende de los diámetros respectivos del conducto y de la abertura del diafragma.

Midiendo la pérdida de presión que produce el diafragma, se obtiene, por cálculos, tablas o gráficos, el valor del caudal.

El llamado tubo **Pitot** consiste en realidad en 2 tubos que se insertan en la tubería.



Uno de los tubos acodados tiene su abertura final orientada en la dirección del flujo y el otro en sentido inverso.

Según se indicó al hablar del Venturi, la energía del agua se compone de la energía de presión más la proveniente de la velocidad (en este caso no interviene la energía de posición)

Uno de los tubos capta la energía de velocidad más la de presión (tubo A), mientras el B sólo acusa la de presión. La diferencia de altura H indicada es, pues, la medida de la energía de velocidad la cual es proporcional al cuadrado del gasto. Se ve así que es fácil obtener el caudal de la tubería ya sea leyendo directamente y calculando el caudal o bien mediante mecanismos o escalas que indiquen directamente el caudal medido.

Los medidores de agua, que son usados universalmente para registrar los caudales consumidos por los usuarios, son tratados en algún detalle en la parte de Distribución de Agua.

Basta mencionar aquí que para medida del flujo en tubería de caudal considerable se usan los del tipo molinete de Woltman, que consisten en una hélice o molinete movido por el agua que pasa y cuyas revoluciones son proporcionales al flujo que se está midiendo. Su campo de aplicación para medición de grandes caudales es bastante limitado.

MEDIDORES DE CANALES.

Se puede definir un canal como toda estructura capaz de conducir agua sin presión manométrica. Por tanto, un conducto puede funcionar como canal, pero en el caso general, los canales conducen agua con la superficie libre expuesta a la atmósfera.

Los conceptos de caudal, velocidad y área son análogos a los mencionados en el caso de conductos.

A los efectos de medir el caudal o la velocidad en canales podemos usar la fórmula de Bazin.

$$V = \frac{87 \sqrt{RI}}{1 + r/\sqrt{R}}$$

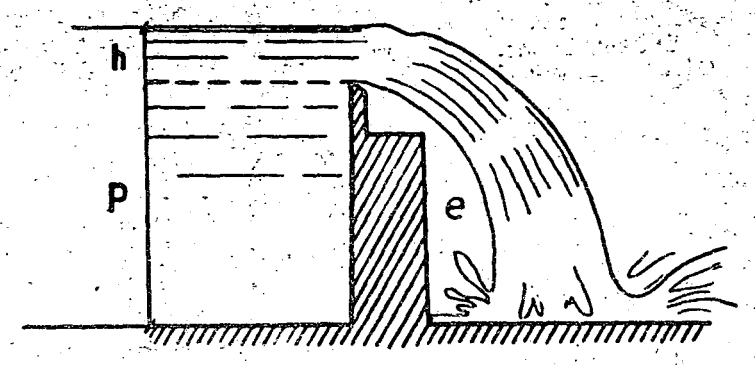
donde (V) está expresado en M/S.; (R) es el radio hidráulico en mts. resultante del cociente del área transversal y el perímetro mojado; y los valores (r) varían según la siguiente tabla:

0.06	Paredes muy lisas
0.16	Paredes lisas
0.46	Paredes de piedra
1.30	Paredes de tierra.

El valor de (I) es la pendiente en mts./mt.

Vertederos.

Los vertederos son láminas que obstruyen parcialmente los canales obligando al agua a verter sobre su arista superior o cresta.



En los vertederos llamados **rectangulares** esa cresta es horizontal El espacio (e) debe estar provisto de aire. La fórmula empleada es:

$$Q = m\, l\, h \sqrt{2\, gh}$$

donde (l) es la longitud de vertedero y donde (m) es ado por la fórmula:

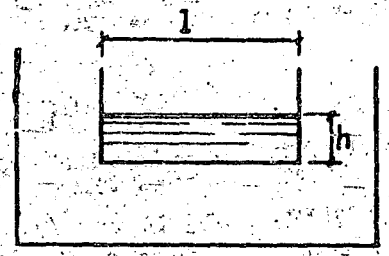
$$m = \left(0.405 + \frac{0.0003}{h}\right)\left(1 + 0.55 \frac{h^2}{(h+p)^2}\right)$$

A los efectos de simplificar, la siguiente tabla basada en la fórmula anterior es suficientemente exacta:

Altura h	Altura (p) en mts. sobre el lecho (altura de la barrera		
cm	0.20	0.50	1.00 o más
5	22.7	22.3	22.2
6	29.7	29.0	28.8
8	45.7	44.2	43.8
10	64.3	61.5	60.7
16	133.5	124.2	121.2
20	190.2	174.3	169.3
30	363.9	327.5	309.0
40	363.9	514.3	478.0
50	363.9	732.9	670.0

Los valores expresados representan el caudal en lts. s por metro de longitud de vertedero. Debe recordarse que, a los efectos de eliminar el error que supone lo que se llama descenso de vertedero, el valor de (h) debe medirse a una distancia no menor que 4h desde la cresta.

Si el vertedero tiene contracciones laterales o sea si responde a la figura, el valor de (l) se transforma en:



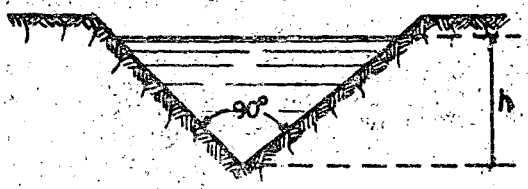
$$l' = l - \frac{2\,h}{10}$$

y valen las fórmulas anteriores

Los vertederos **triangulares** tienen la cresta en forma de triángulo y los más usados son los que el ángulo inferior es de 90º (recto).

La fórmula a aplicar, estando Q expresado en m3/s y h en mts. es:

$$Q = 1.4\, h^2 \sqrt{h}$$



Ori s.

También puede medirse la descarga de un canal o tanque mediante un orificio o (varios) conociendo el área del mismo y la altura de agua que obra sobre él.

Una útil fórmula simplificada es:

$$Q = S \sqrt{h}$$

donde Q está en m3/hora, S en cm² y h en metros. La aproximación lograda mediante su aplicación es generalmente suficiente.

BOMBAS

Las bombas son dispositivos mecánicos destinados a elevar agua (u otro líquido) desde un nivel inferior a otro superior mediante el consumo de energía proveniente de los motores que las mueven.

Pueden ser clasificadas en 2 categorías generales.

a) Bombas de desplazamiento positivo.

b) Bombas de conversión de velocidad.

En ambos tipos, la acción consiste en incrementar la presión desde la succión hasta la impulsión.

Las bombas de **desplazamiento positivo** emplean algún medio mecánico tal como pistones, émbolos buzos, engranajes, para impulsar el agua tomando volúmenes específicos de líquido en cada ciclo sin que prácticamente intervengan las condiciones exteriores del sistema.

Esto es de suma importancia porque el agua es, para todos los propósitos prácticos, **incompresible.** Por lo tanto, el cierre de una válvula en la impulsión de una bomba de desplazamiento positivo provocará presiones altas con el resultado probable de roturas.

Esto no es el caso cuando se trata de bombas de **conversión de velocidad,** ya que la energía se disipará en forma de calor y la presión alcanzará un valor máximo que depende del tipo de bomba y de la velocidad de operación.

Entre las bombas de desplazamiento positivo podemos señalar los **reciprocantes a émbolo** y las **rotativas** como las más usadas. Este último tipo es familiar a los estudiantes bajo la forma de bomba de engranajes, usada en automóviles y varios enseres de uso corriente.

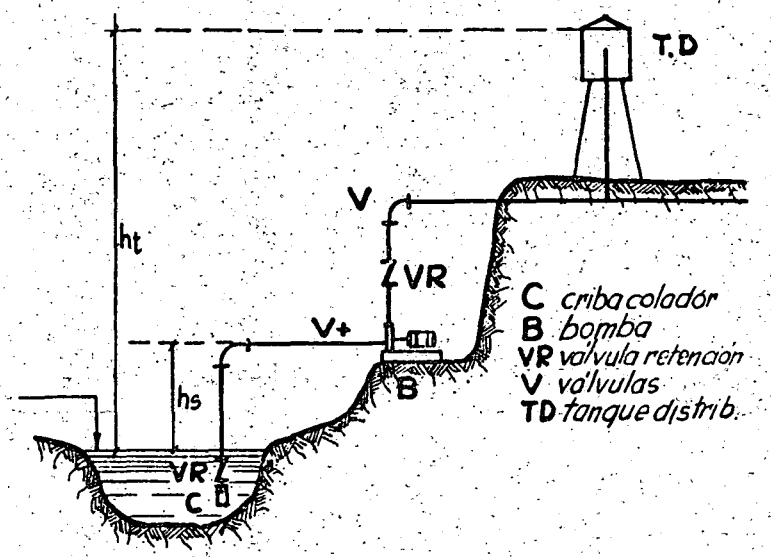
En toda bomba **reciprocante** se distinguen el émbolo que se desplaza en un cilindro al cual se ajusta el primero y las válvulas de entrada y salida. La operación del émbolo es alternativa, la cual está sincronizada con la apertura y cierre de válvulas.

Las bombas de **conversión de velocidad** pueden ser las **centrífugas** (de una o varias etapas), **las de flujo axial** y las **turbinas o centrífugas para pozos profundos,**

En las bombas **centrífugas** la presión se desarrolla casi enteramente por fuerza centrífuga. El agua entra en el centro del rotor que gira a alta velocidad, generalmente. Esto causa la conversión de la velocidad desarrollada en el agua por el empaletado del rotor en la presión que se ejerce en la carcasa de forma especial, para eliminar pérdidas innecesarias de la carga impartida. Las **bombas de flujo axial** son de gran caudal y pequeña altura de elevación por el diseño especial de su empaletado y carcasa. Las bombas **centrífugas de eje vertical,** generalmente llamadas turbinas, no difieren en principio sino por su accionamiento y colocación de tazones o impulsores de las anteriormente mencionadas. Existen diversos tipos de lubricación y accionamiento, en particular es recomendable en ciertos casos de instalación de bombas de pozo profundo el uso de la llamada **bomba de motor sumergido.** Esta bomba, de pequeño diámetro, tiene su motor rodeado de una camisa semihermética que aloja agua destilada. Su facilidad de instalación y la ausencia de trasmisión la hacen particularmente adecuada en ciertos casos. Su atención debe ser esmerada, especialmente respecto al agua destilada de protección.

INSTALACION DE BOMBAS.

En el dibujo adjunto se ha tratado de señalar las particularidades de una instalación de elevación de agua.



la altura hs entre el nivel de agua y la succión de la bomba se llama altura de succión. No es recomendable pasar de 4m 50 en general, aunque es posible en ciertos casos llegar a succionar 8 mts.

En todos los casos hay que calcular que la bomba deberá salvar la diferencia de nivel, tanto en succión como en la impulsión, además de las pérdidas en las líneas. Estas pérdidas son:

1) Pérdida de carga en criba, válvulas y codos y en piezas especiales en general.
2) Pérdida de carga de entrada en la tubería.
3) Pérdida de carga en la salida en el T.D.
4) Pérdida de carga por "fricción" en las líneas de succión e impulsión.

La ecuación general es pues:

$$h + Jl + P = \frac{270\ NW}{Q}$$

siendo J la pérdida de carga/mt. de tubería y P las pérdidas de carga localizadas 1), 2) y 3).

$$W \text{ es la potencia de la bomba} = \frac{Q \times H}{270 \times N} \text{ en H.P.}$$

siendo Q en m3/h.; N el rendimiento de la bomba y el peso específico del agua = 1000 Kg./m³.

CAPITULO XIV

Hidrología Superficial

La lluvia es la fuente de agua primaria, aunque luego se obtenga ésta de cursos de agua o depósitos superficiales o subterráneos.

En realidad el agua efectúa un ciclo pues la evaporación del agua superficial o de la procedente de la vegetación forma las nubes.

El agua caída en forma de lluvia escurre en parte por la superficie yendo a los cursos de agua superficiales y en parte penetra en la tierra formando los mantos de agua subterránea. Estos mantos subterráneos o bien alimentan los cursos de agua superficiales después de cierto recorrido o alimentan la vegetación o contribuyen a la recarga de otros acuíferos que hubieran sido sometidos a extracción de agua.

MEDIDA DE LLUVIA CAIDA

Si poseemos la medida de la altura de lluvia caída en una determinada área, podemos calcular la cantidad de agua total aportada en esa región, multiplicando el área por la altura de lluvia.

Si, por ejemplo, tenemos que ha caído 20 m/m. de lluvia en un área de 15 Km^2 entonces, la cantidad de agua será:

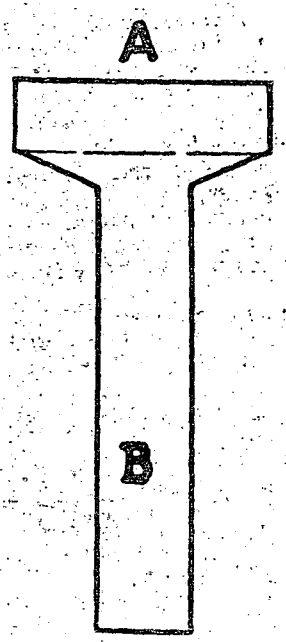
$$15.000.000\ m^2 \times 0.020\ m. = 300.000\ m^3$$

o sea que cada milímetro de agua caída en 1 Km^2 representa una cantidad de agua igual a 1.000 m^3.

El problema de medir la altura de lluvia caída en un determinado lugar se resuelve con los aparatos llamados **pluviómetros**, los que en el caso de poseer mecanismos registradores se denominan **pluviógrafos**.

El área A del aparato está abierta a la atmósfera y tiene una superficie 10 veces mayor que la sección B. Por lo tanto midiendo la altura de agua acumulada en el tubo inferior y dividiendo por 10 se obtiene la altura de lluvia caída.

Si ésta se expresa en milímetros, la medición en el tubo inferior debe también hacerse en milímetros.



EVAPORACION

Según vimos proviene en parte de las superficies de agua y en parte de la vegetación.

El ensayo que normalmente se efectúa consiste en colocar bandejas de 60 cm. de diámetro con flotadores en el embalse o laguna en que se mida la evaporación. Obteniendo el resultado, la verdadera evaporación es el resultado de dividir los milímetros obtenidos por 1.75. Conviene saber que en realidad, hay variaciones por temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, magnitud del lago, situación, etc. En general, la evapotranspiración de la vegetación se mide por diferencia, computando niveles de agua freática en una temporada, y considerando las pérdidas que sufre la zona así como los aportes de agua de lluvia y por otros conceptos en la misma temporada.

MEDICIONES EN CURSOS DE AGUA SUPERFICIALES

Mediante recursos hidráulicos fuera del alcance del operador el ingeniero puede determinar la correlación que existe entre la altura de agua en una escala en cierto lugar elegido y el caudal del curso de agua.

La elección del lugar para la escala, el tipo de mediciones y las características del trecho entre ambas los determinará el ingeniero.

Es pues importante, para conocer los recursos hidrológicos de una zona, que el operador efectúe las lecturas con atención, cuidado y conciencia de la importancia de los datos que suministrará.

Si no se han efectuado las mediciones para relacionar alturas lineamétricas con los caudales, las lecturas tienen igual gran valor para el futuro, cuando se realicen las predichas mediciones.

En el caso de lagos o embalses, el ingeniero suministrará las tablas o gráficas que relacionen los volúmenes embalsados con las alturas de agua.

Entonces, el operador efectuará el cálculo de los volúmenes disponibles, conociendo la cantidad de agua extraída, la cantidad de agua que se escurre o se pierde en el límite del embalse o lago y los aportes en el otro extremo, la evaporación y los volúmenes embalsados de cada cota.

CAPITULO XV

Corrosión en Sistemas de Agua Potable

GENERALIDADES

La corrosión es un fenómeno esencialmente electroquímico, consistiendo en un proceso de deterioro de estructuras en contacto con un medio húmedo o un líquido, en presencia de oxígeno.

La naturaleza electroquímica de la corrosión surge de la capacidad de disolución de un metal, en el medio citado, bajo ciertas condiciones. Habrá ciertos puntos o regiones donde tal tendencia se vea favorecida, ya sea por irregularidades de composición del propio metal o por diferencias en el medio solvente.

Esas regiones actúan como **ánodos** provocando un flujo de electrones o partículas elementales cargadas negativamente hacia otros puntos o regiones llamado **cátodos** donde su afluencia al medio externo se vea favorecida. La captación de dichos electrones se hará por elementos del medio externo por ejemplo iones hidrógeno, que pasan así de H^+ (cargados positivamente) a carga nula (H^0) o sea hidrógeno gas. A su vez otros elementos del medio tomarán a su cargo la tarea de remover esos primeros productos de la corrosión inicial y establecer así la permanencia del o de los circuitos corrosivos.

Cuando, por ejemplo, en el interior de una tubería metálica circule agua, si la tubería no tiene protección interior adecuada, es seguro que en mayor o menor grado se inicien los circuitos corrosivos.

La intensidad del proceso dependerá del tipo de metal y de la composición del agua, así como de la eficacia del revestimiento pro-

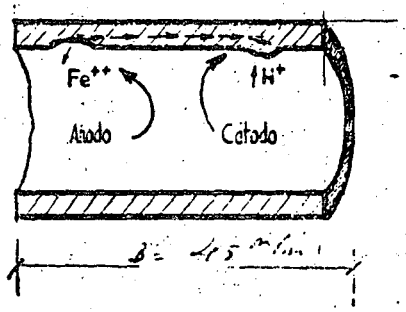
tector. La importancia del oxígeno como elemento coadyuvante a la co[illegible]sión proviene del hecho que, en general, actúa sobre el hidró[illegible] que evoluciona en los cátodos o sobre los iones metálicos provenientes de los ánodos.

TRATAMIENTOS ANTICORROSIVOS

Aún cuando la justificación teórica de los tratamientos preventivos de la corrosión es de una entidad científica fuera del alcance de este Manual, se cree importante exponer sumariamente los principales métodos y resultados logrados hasta el momento actual, en lo que concierne a sistemas de agua potable.

De lo anteriormente expuesto, cabe deducir que una de las formas de contrarrestar la corrosión sería establecer una barrera a los circuitos corrosivos, es decir, una resistencia a la corriente generada entre ánodos y cátodos.

Circuito corrosivo de una tubería.



Se habló ya de que había una evolución del hidrógeno hacia Hº el que, si no fuera desalojado, polarizaría el cátodo evitando así la continuación del fenómeno. Siendo el oxígeno el principal culpable de la depolarización, de allí surge el primer método:

I) PRODUCIR LA DEOXIGENACION DEL AGUA (O SU DEAEREACION).

Salvo en raras ocasiones el método no es económico y se usa preferentemente en tratamiento de agua para calderas de alta presión.

El método que sigue proviene del establecimiento por medios artificiales, de una barrera en el interior de la tubería o en el caso general, en la superficie de contacto del medio con la superficie expuesta entonces:

II) COLOCACION DE UNA CAPA AISLANTE EN LA SUPERFICIE EN CONTACTO CON EL AGUA.

Este método es seguido de preferencia en tubería o depósitos metálicos con capas de pinturas o barnices, de alto poder cubriente, y aún con la colocación de revestimientos de morteros alcalinos.

La protección depende de la permanencia de la capa aislante, de su homogeneidad y de la ausencia de poros que localicen el ataque.

Si la barrera protectora la produce el propio medio corrosivo por efectos de algún tratamiento especial, tendremos el tercer caso:

III) PRODUCCION, POR LA PROPIA AGUA, DE UNA CAPA AISLANTE EN LA SUPERFICIE EN CONTACTO CON LA MISMA.

En agua potable, la capa protectora consiste en carbonato de calcio. Langelier, un investigador de la Universidad de California, U.S.A., desarrolló la teoría de la saturación del carbonato de calcio en el agua partiendo de parámetros del análisis físico-químico corriente. Demostró que conociendo el contenido de sólidos, la temperatura, la alcalinidad total y el contenido de calcio, se puede hallar el pH que debería tener el agua para que estuviera en el punto de equilibrio del carbonato de calcio o sea en el límite de su saturación. Ese pH se llama pH de saturación y se expresa pHs.

Es así que si el pH del agua es menor que su pH [illegible]culado, entonces para poder precipitar el carbonato de calcio y [illegible]mar la capa protectora, habrá que aumentar el pH.

Para aumentar el pH, el operador de una planta de tratamiento debe agregar un alcalinizante, que puede consistir en ceniza de soda ($Na_2 Co_3$), cal [$Ca(OH)^2$], o soda cáustica (Na OH).

En ocasiones en que el agua es de bajo contenido de calcio, el agregado de cal es imperativo, pero debe tenerse presente que la cal trae inconvenientes de difícil control, provenientes de impurezas o de su falta de dispersión o del inadecuado punto de aplicación.

El diagrama adjunto facilita las determinaciones a efectuar.

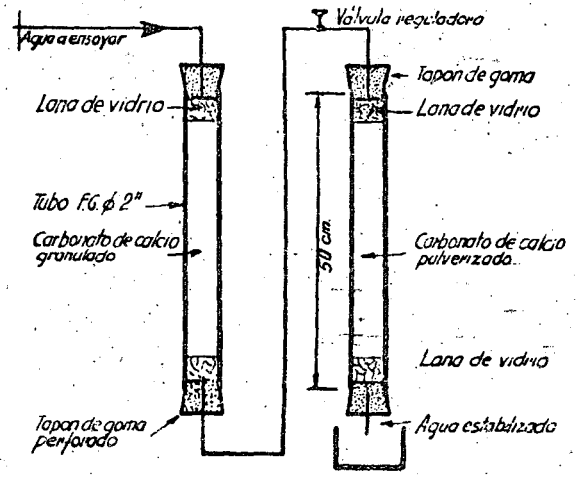
El Indice de Langelier se define como:

$$I. L. = pH - pHs$$

Se acepta en general que se mantiene una capa protectora formada cuando: $+ 0.5 > I.L. > - 0.5$.

El ajuste del tratamiento debe realizarlo el operador consultando al ingeniero, aún cuando las observaciones que realice en los ensayos serán de inestimable valor para considerar el problema.

A los efectos de efectuar un control del agua producida sin tener necesidad de realizar los ensayos continuamente, se recomienda el siguiente equipo de fabricación sencilla:



El agua a ensayar pasa a través de un tubo conteniendo carbonato de calcio granulado y de otro con el mismo producto pulverizado.

Bastará efectuar análisis de pH o alcalinidad en el agua estabilizada de salida para saber si la ensayada depositó o captó carbonato de calcio en los tubos, puesto que el agua de salida tiene pH=pHs.

Como se comprende esto es de mucha menor entidad que realizar los ensayos necesarios para usar el diagrama de Langelier. Se recomienda usar un goteo de 15 cm³/minuto.

Por último cabe hacer notar que no basta el control en usina del tratamiento, sino que el operador no debe perder ocasión de **examinar los resultados en el propio sistema de distribución.**

En ciertas ocasiones ha resultado útil, a los efectos del control, que la cantidad de alcalinizante usado sea superior a los requerimientos para precipitar el carbonato de calcio del agua. Entonces,

fines de evitar la deposición excesiva del producto, se recurre al hexametafosfato de sodio, que tiene la propiedad de capturar o secuestrar el exceso de carbonato de calcio y mantenerlo en suspensión coloidal en el agua.

Esto no debe confundirse con la acción inhibidora del mismo hexametafosfato de sodio a otros pH o de otros inhibidores como el silicato de sodio, cuyas acciones son también de barrera catódica o anódica. La aplicación de estos inhibidores debe hacerse con extremo cuidado porque sus acciones secundarias no son bien determinadas y sus limitaciones exigen un conocimiento teórico fuera del alcance de un operador.

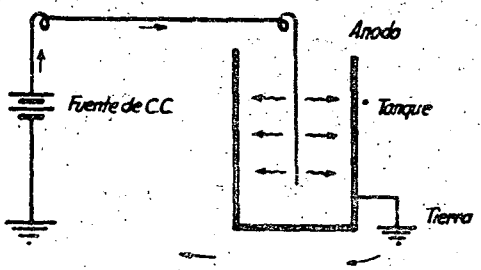
Mencionaremos por último, sin la pretensión de haber siquiera enumerado los problemas de este vasto tema, la protección catódica de elementos metálicos.

Este método consiste en sustituir los posibles ánodos que se producirían en los elementos metálicos a proteger por un ánodo sacrificable o por una serie de ánodos sacrificables. Esos ánodos artificiales van cediendo sus cationes que sustituyen a los que cederían los ánodos en el metal a proteger.

La naturaleza, disposición, cálculo de elementos y estudio de la protección lograda escapan a los fines de este Manual.

Cabe consignar que se usan ánodos de metales que actúan frente al hierro de las estructuras protegiéndolo mediante un flujo electroquímico que las hace actuar como cátodos polarizados. Con preferencia, los ánodos son de magnesio o de aluminio. Puede también que se energice el ánodo con una fuente de corriente continua externa.

A manera de explicación, presentamos el esquema de protección de la superficie interna de un tanque metálico, recordando que, hasta el presente, no existe posibilidad de aplicar la protección catódica al interior de tuberías conductoras de agua.



CAPITULO XVI

Química y microbiología del agua

Tema 1

GENERALIDADES

CUERPOS SIMPLES Y COMPUESTOS.

Los **cuerpos simples o elementos** son aquellas sustancias que no pueden descomponerse en otras más sencillas mediante operaciones físicas o químicas ordinarias, quedando excluídas las manipulaciones de la física nuclear capaces de producir desintegraciones, trasmutaciones y creaciones de nuevos elementos, las cuales están fuera de la intención y de las posibilidades nuestro curso.

En la actualidad (agosto de 1959) la química cuenta con ciento dos elementos reconocidos, siendo los cuatro últimos descubiertos el fermio, el einstenio, el mendelevio y el nobelio, cuyas designaciones constituyen otros tantos homenajes a la memoria de distinguidos hombres de ciencia que hicieron dar pasos de progreso gigantescos a la química, la física y las matemáticas.

Conviene recordar que los nombres de muchos elementos se relacionan con alguna de sus propiedades:

Hidrógeno	— "yo engendro agua"	Azoe	— "sin vida"
Oxígeno	— "engendrador de óxidos"	Fósforo	— "que lleva luz"
Cloro	— "verdoso amarillento"	Argón	— "sin energía"
Bario	— "pesado"		
Bromo	— "olor desagradable"		

Otros elementos se han designado con nombres de países o lugares en donde fueron descubiertos o en donde sus descubridores nacieron o vivieron:

Polonio	Lutecio
Europio	Columbio
Galio	Californio
Germanio	

Otros se han denominado con nombres de sus descubridores o en homenaje a hombres de ciencia como en los casos citados más arriba, muchos derivan su designación de sus antiguas denominaciones griegas o latinas.

Los **cuerpos compuestos** son aquellas sustancias constituídas por dos o más elementos, con caracteres definidos y constantes. Mediante diversos tipos de operaciones de laboratorio, más o menos complejas, se pueden formar cuerpos compuestos a partir de los elementos que los integran. Esto recibe el nombre de síntesis. Por el contrario, los cuerpos compuestos pueden desdoblarse para dar origen a sus elementos constitutivos. A esta operación se la denomina análisis.

ATOMOS Y MOLECULAS.

La definición simple que adoptaremos para utilizar en nuestro Curso con relación al átomo es la siguiente:

El **átomo** es la partícula más pequeña de un **elemento** que puede intervenir en una reacción química.

No obstante, se considera que los estudiantes de este Curso deben tener una noción mínima respecto a la real estructura del átomo a la luz de los nuevos descubrimientos. Por consiguiente, se da a continuación una explicación muy simplificada y resumida de algunos conceptos elementales de física nuclear:

studio de la estructura del átomo ha llevado a la conclusión de que ella tiene cierta semejanza con el sistema planetario. Igual que en éste, los electrones (planetas) giran alrededor del núcleo (sol) en órbitas circulares o elípticas cuyas dimensiones dependen, como es natural, de su mayor o menor proximidad al núcleo. Los electrones, sin embargo, no se atraen entre sí, como sucede con los planetas, por la razón de que tienen la misma carga eléctrica negativa, son todos de igual tamaño, idénticos los unos a los otros, con la misma masa cosa que no ocurre en el sistema solar, donde los planetas son desiguales. Además en el sistema planetario cada planeta tiene su órbita; en el átomo algunas órbitas se saturan con dos electrones y algunas con ocho.

La mayor parte del peso del átomo corresponde al núcleo, cuya masa es más de 1,345 veces mayor que la de un electrón. La velocidad a que se mueven los electrones en torno del núcleo no tiene tampoco ningún punto de comparación posible con la velocidad con que se mueven los planetas alrededor del Sol. Mientras la Tierra recorre unos 40 kilómetros por segundo, los electrones se acercan a la velocidad de la luz o sea unos 300.000 kilómetros por segundo.

En la actualidad se admite que el núcleo de los átomos tiene una estructura complicada y que está constituído por diversas partes. El núcleo más sencillo es el del hidrógeno que está compuesto por una sola carga eléctrica positiva, denominada protón. Los núcleos de los demás elementos están constituídos por protones (cargas positivas) y neutrones (sin carga eléctrica y de masa igual a la del protón).

La definición simple que adoptaremos para utilizar en nuestro Curso con relación a la molécula es la siguiente:

La **molécula** es la porción más pequeña de un **elemento** o **compuesto** que puede hallarse en estado libre.

LEYES FUNDAMENTALES DE LA QUIMICA.

Ley de la conservación de la masa. Al gran químico francés Lavoisier se le deben las bases que permitieron enunciar esta ley fundamental de la Química moderna: la masa conjunta de las sustancias que reaccionan es exactamente igual a la masa conjunta de los productos de la reacción, o sea, en otras palabras, que el peso total de las sustancias que reaccionan es invariable.

Ley de las proporciones constantes o Ley de Proust. Cuando dos o más elementos se combinan para formar un compuesto, la proporción en peso de cada uno de los elementos es siempre constante. En otras palabras: con una cantidad determinada de una sustancia, sólo se combina una cantidad determinada de otra para formar un compuesto determinado.

Ley de las proporciones múltiples o Ley de Dalton. Cuando dos elementos se combinan para formar más de un compuesto, las proporciones en que ellos entran en las distintas reacciones guardan siempre una relación sencilla.

En otras palabras: cuando dos elementos se combinan entre sí, para dar origen a varios compuestos, mientras la cantidad de uno de ellos permanece constante, la del otro varía en una proporción sencilla: 1, 2, 3, 4, etc.

PESOS ATOMICOS Y MOLECULARES.

Por distintos medios se pueden determinar los **pesos atómicos** de los distintos elementos. El **peso atómico absoluto** puede determinarse teóricamente de manera muy sencilla: basta tomar una cantidad de gramos de un elemento dado y dividirla por el número de átomos que la integra. Por ej. 16 gramos de oxígeno contienen aproximadamente 602.000 trillones de átomos. Por consiguiente, el peso atómico absoluto del oxígeno es sumamente pequeño, del orden de decimales de los trillonésimos de gramo.

Este peso es demasiado pequeño para tener aplicación práctica, por lo cual se utiliza en Química el **peso atómico relativo,** tomando como unidad el peso del hidrógeno y refiriendo a él todos los demás pesos atómicos de los elementos. Por ej. si el peso atómico del hidrógeno es 1, el del carbono es 12, el del cloro 35,5, etc. Una Convención Internacional realizada en París en el año 19[illegible] resolvió establecer como unidad definitiva el peso atómico relativo del oxígeno que es de 16,000. De esta manera se interpreta que cuando se dice que el peso atómico del hidrógeno es 1.008 y el del calcio de 40.08, se parte de la base de comparación con el oxígeno, cuyo peso atómico se ha fijado en 16,0000.

En el cuadro adjunto a estos apuntes del Tema 1, se indican los pesos atómicos relativos de los principales elementos que interesan a la química del agua.

Los pesos atómicos relativos se expresan en las unidades de peso que más convengan: gramos, miligramos, etc., para cada caso.

El **peso molecular** de un **elemento** o de un **compuesto** es la suma de los pesos de los átomos que integran cada molécula. Por consiguente, existen pesos moleculares absolutos y relativos, utilizándose estos últimos por las mismas razones de practicidad indicadas anteriormente para los pesos atómicos relativos.

Los pesos moleculares relativos se expresan en las unidades de peso que mas convengan para cada caso.

La expresión "**mol**" designa a la **molécula-gramo,** es decir:

1 mol. de cloruro de sodio es igual a 58.46 gramos, o sea el peso relativo de una molécula del compuesto

La expresión "solución molar" define una solución que contiene un mol de sustancia por litro, por ejemplo:

Una solución molar de cloruro de sodio (sol. M) contiene 58,46 gramos de cloruro de sodio disuelto en 1 litro de agua exactamente.

SIMBOLOS Y FORMULAS QUIMICAS.

Para facilitar la expresión escrita de las reacciones químicas, se ha establecido para cada elemento un **símbolo distintivo,** derivado de su nombre antiguo o internacional actual, símbolo que en algunos casos consta de una sola letra y, en otros, de dos. La primera letra es escrita siempre con mayúscula, y la segunda con minúscula.

En el cuadro adjunto a estos apuntes del Tema 1, se incluyen los símbolos químicos de los elementos más importantes para nuestra labor, con los índices que expresan su peso atómico.

Una **fórmula** es el conjunto de símbolos químicos e índices correspondientes que caracterizan la molécula de una sustancia.

Una **ecuación química** es la expresión gráfica de una reacción. Adopta la forma de una igualdad de acuerdo a una convención, en la cual el primer término agrupa las sustancias que reaccionan y el segundo todos los productos de la reacción.

Pero, como teóricamente todas las reacciones son reversibles, es común y corresponde que no se use el signo de igualdad (=), sustituyéndolo por los flechas paralelas opuestas $\rightleftarrows$

De acuerdo a las leyes fundamentales de la Química (3.), el número de átomos de cada uno de los elementos en el primer término de la ecuación deberá ser igual número de átomos de cada uno de los elementos en el segundo término de la ecuación.

Otras convenciones usuales en las reacciones químicas son las de establecer después de las fórmulas, cuando corresponda, el signo $\uparrow$ para indicar el desprendimiento de un gas y el signo $\downarrow$ para indicar la formación de un precipitado insoluble.

VALENCIA.

Desde un punto de vista práctico, el concepto de **valencia** se puede definir como la capacidad de un elemento para sustituir o combinarse con el hidrógeno. Cuando no se produce una combinación directa con el hidrógeno, pero se conoce la valencia de un elemento intermedio, es sencillo deducir la valencia de un tercero.

Un elemento como el cloro se combina átomo a átomo con el hidrógeno para formar ácido clorhídrico; es por lo tanto **monovalente.**

El oxígeno, en cambio, necesita de dos átomos de hidrógeno y cada uno propio para formar agua; es por lo tanto **bivalente.**

El átomo de nitrógeno que necesita de tres átomos de hidrógeno para formar amoníaco es **trivalente.**

El estudiante deberá tener un concepto básico sobre la relación de la valencia con la estructura atómica.

La valencia del átomo neutro, sin combinar, es cero, mientras que la valencia del elemento en sus compuestos está determinada por el número de electrones que ha perdido o ganado al pasar del estado neutro al de combinación. Así, el sodio metálico tiene una valencia cero, mientras el sodio en el cloruro de sodio NaCl tiene la valencia + 1, debido a que el átomo de sodio pierde un electrón al combinarse con el cloro. Análogamente la valencia del aluminio en $AlCl_3$ es de + 3 porque al formarse el tricloruro de aluminio, el átomo de aluminio pierde tres electrones.

También, al unirse el nitrógeno con el hidrógeno para formar amoníaco NH_3, el átomo de nitrógeno gana tres electrones y, por consiguiente, el nitrógeno en el amoníaco se dice que tiene una valencia de — 3.

Puesto que en la valencia de los elementos intervienen los electrones de la capa externa, frecuentemente a éstos se les denomina **electrones de valencia o electrones-valencia.**

ELEMENTOS QUIMICOS MAS COMUNES EN EL ESTUDIO DE LAS AGUAS

Elemento	Símbolo	Peso atómico	Elemento	Símbolo	Peso atómico
Aluminio	Al	26.98	Manganeso	Mn	54.93
Arsénico	As	74.91	Mercurio	Hg	200.61
Azufre	S	32,07	Molibdeno	Mo	95.95
Bario	Ba	137.36	Níquel	Ni	58.69
Berilio	Be	9.01	Nitrógeno	N	14.01
Boro	B	10.82	Oxígeno	O	16.00
Bromo	Br	79.92	Plata	Ag	107.88
Cadmio	Cd	112.41	Platino	Pt	195.23
Calcio	Ca	40.08	Plomo	Pb	207.21
Carbono	C	12.01	Potasio	K	39.10
Cloro	Cl	35.46	Selenio	Se	78,96
Cobalto	Co	58.94	Silicio	Si	28.06
Cobre	Cu	63.54	Sodio	Na	22.997
Cromo	Cr	52.01	Vanadio	V	50.95
Estaño	Sn	118.70	Yodo	I	126.92
Estroncio	Sr	87.63	Zinc	Zn	65.38
Hierro	Fe	55.85	Zirconio	Zr	91.22
Fluor	F	19.00	Radio	Ra	226.05
Fósforo	P	30.98	Uranio	U	238.07
Hidrógeno	H	1.008			
Magnesio	Mg	24.32			

COMPUESTOS QUIMICOS MAS USUALES EN LOS ESTUDIOS DE AGUAS

Compuestos	Fórmula	Peso molecular
Anhidrido Carbónico	CO_2	44.01
Anhidrido Sulfuroso	SO_2	64.07
Acido acético	CH_3 COOH	60.05
Acido clorhídrico	HCl	36,47
Acido fosfórico	H_3PO_4	98.00
Acido nítrico	HNO_3	63.01
Acido sulfhídrico	H_2S	34.08
Acido Sulfúrico	H_2SO_4	98.08
Amoníaco	NH_3	17.03
Bicarbonato de Calcio	$Ca(HCO_3)_2$	162,12
Bicarbonato de Magnesio	$Mg(HCO_3)_2$	146.36
Bicarbonato de Sodio	$NaHCO_3$	84,02
Carbonato de Calcio	$CaCO_3$	100.09
Carbonato de Magnesio	$MgCO_3$	84.33
Carbonato de sodio	Na_2CO_3	106.00
Cloroplatinato de Potasio	K_2PtCl_6	486.19
Cloruro de Amonio	NH_4Cl	53.50
Cloruro de Bario	$BaCl_2$	172.82
Cloruro de Calcio	$CaCl_2$	75.54
Cloruro de Plata	AgCl	143.34
Cloruro de Potasio	KCl	74.56
Cloruro de Sodio	NaCl	58.46
Cloruro cobaltoso	$CoCl_2H_2O$	147.88
Cloruro férrico	$FeCl_3$	162.23
Cloruro mercúrico	$Hg\ Cl_2$	271.53
Cromato de Potasio	K_2CrO_4	194.21
Fluoruro de Calcio (Fluorita)	CaF_2	59.08
Fluoruro de Sodio	NaF	42.00
Bicromato de Potasio	$K_2Cr_2O_7$	298.22
Fosfato monobásico de Sodio	$N_2H_2PO_4$	119.99
Fosfato dibásico de Sodio	Na_2HPO_4	141.98
Hidróxido de Calcio	$Ca(OH)_2$	74.10
Hidróxido de Magnesio	$Mg(OH)_2$	58.34
Hidróxido de Amonio	NH_4OH	35.05
Hidróxido de Potasio	KOH	56.11
Hidróxido de Sodio	NaOH	40.01
Nitrato mercúrico	$Hg(NO_3)_2$	324.63
Oxido de Calcio	CaO	56.08
Oxido de Magnesio	MgO	40.32
Silice	SiO_2	60.09
Sulfato de Aluminio	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	666.45
Sulfato de Calcio	$CaSO_4$	136.15
Sulfato de Magnesio	$MgSO_4$	120.39
Sulfato de Sodio	Na_2SO_4	142.06
Sulfato de Cobre	$CuSO_4$	159.61
Sulfato ferroso	$FeSO_4$	151.92
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	399.90
Sulfato manganoso	$MnSO_4$	151.00
Permanganato de Potasio	$KMnO_4$	158.03
Sulfuro de Sodio	Na_2S	78.06
Tiocianato de Potasio	KSCN	97.18
Tiosulfato de Sodio	$Na_2S_2O_3$	158.13
Yoduro de Potasio	KI	166.01

Tema 2

CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS Y DE LAS COMBINACIONES

La clasificación de los elementos fué una de las primeras preocupaciones de la Química moderna, desde que Lavoisier estableció sus bases fundamentales.

Todavía está vigente la clasificación ideada por Berzelius y que conviene perfectamente a los fines de nuestro curso simplificado:

METALES Y METADOIDES.

Metales.

De acuerdo con Berzelius, las propiedades de los metales son las siguientes:

cuerpos opacos
brillo metálico
conductores del calor y de la electricidad
se electrizan positivamente
producen óxidos con el oxígeno que,
con el agua, dan lugar a hidróxidos o bases

Metaloides.

De acuerdo al mismo autor, las propiedades de los metaloides son las siguientes:

carecen de brillo metálico
malos conductores del calor y de la electricidad
se electrizan negativamente
producen con el oxígeno compuestos (anhidridos)
que combinados con el agua dan origen a ácidos.

Como ocurre que ciertos elementos considerados como metales presentan propiedades de metaloides, se ha pretendido corregir esta clasificación, creando un grupo intermedio constituído por **elementos de transición.** En este grupo estarían incluídos el antimonio, el manganeso, el bismuto, etc.

Otra clasificación, ideada por el químico Erdmann basándose en los estudios atómicos modernos, define a los metales como elementos cuyas moléculas están formada por un sólo átomo, y a los metaloides como elementos cuyas moléculas están formadas por varios átomos.

COMBINACIONES.

Los elementos son susceptibles de combinarse entre sí, siguiendo las leyes fundamentales de la Química, dando origen a compuestos diversos.

Compuestos inorgánicos. En su formación pueden entrar dos o más elementos cualesquiera dando lugar a combinaciones muy variadas.

Compuestos orgánicos. En su formación entra invariablemente el carbono asociado a un grupo relativamente reducidó de elementos como ser hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre, fósforo y algunos otros pocos.

Dentro del grupo de compuestos inorgánicos, nos interesan muy especialmente para nuestro trabajo en este Curso los siguientes:

Acidos, los que en un sentido general pueden definirse como compuestos hidrogenados cuyo hidrógeno goza de la propiedad de ser sustituído por los metales para dar lugar a la formación de otras combinaciones llamadas sales.

Hidróxidos, los que en un sentido general pueden definirse como compuestos en cuya fórmula entra un radical OH- unido a un elemento o radical electropositivo.

Sales, las que en un sentido general pueden definirse como las combinaciones que resultan de la sustitución parcial o total del hidrógeno en la molécula de los ácidos por elementos o radicales electropositivos.

Radicales, los que en un sentido general, pueden definirse como grupos de dos o más elementos que intervienen en las reacciones químicas actuando unidos como si formaran una unidad o conjunto inseparable.

Tema 3

LAS SOLUCIONES

Teóricamente el agua responde a la fórmula química H_2O, constituyendo el disolvente universal. Por ese motivo, todas las aguas naturales contienen en solución una cantidad más o menos importante de sustancias incorporadas al caer en forma de lluvia a través de la atmósfera, al correr sobre el suelo o penetrar en las capas superiores de la corteza terrestre.

Si se agita en un matraz o frasco adecuado durante algún tiempo una cierta cantidad de agua y un exceso de sal, pa[illegible]de ésta se disolverá hasta que la solución alcance una concentrac[illegible]áxima para una temperatura determinada. La cantidad de sal que se disuelve es independiente de la cantidad total de sal que se pone en contacto con el agua aunque aquella varía con la temperatura. La solución que se obtiene se dice que es una **solución saturada** y se puede definir como la solución que está en equilibrio con exceso del cuerpo sin disolver.

La relación entre la cantidad del cuerpo disuelto y el disolvente en una solución saturada para una temperatura determinada se denomina **solubilidad** de la sustancia, siendo costumbre expresarla por el peso en gramos del cuerpo disuelto que se disuelve en 100 gramos del disolvente. Así, por ejemplo, se dice que la solubilidad del nitrato de potasio a 20º es de 31,2 gramos.

Una solución saturada se puede preparar ya sea agitando un exceso del cuerpo a disolver con una cantidad determinada de disolvente a una temperatura determinada hasta que se consiga el equilibrio, o ya sea agregando un exceso del cuerpo a disolver en un volumen dado del disolvente calentado a una temperatura más alta que la que se desea para la saturación, y luego dejando que la solución se enfrie en contacto con el cuerpo en exceso hasta llegar a la temperatura deseada.

Si se filtra la solución saturada caliente para separar todo vestigio de sustancia sin disolver, y a este líquido filtrado se le enfría cuidadosamente, es posible impedir la separación del cuerpo disuelto. A esta solución se llama **sobresaturada,** ya que contiene una mayor proporción de sustancia que la que corresponde a una solución saturada.

Si una solución posee una concentración menor que la de la solución saturada, se denomina entonces **solución no saturada.**

TEORIA DE LA DISOCIACION ELECTROLITICA.

Según esta teoría, ideada por el químico sueco Svante Arrhenius, los ácidos, las bases y las sales al disolverse en el agua se disocian en gran parte en radicales cargados eléctricamente llamados **iones,** los cuales llevan cargas positivas o negativas. Los iones cargados con electricidad positiva se denominan **cationes** y los cargados con electricidad negativa se llaman **aniones.**

Dado que la solución es eléctricamente neutra, el número total de cargas positivas ha de ser igual al número total de cargas negativas, debiéndose destacar que el número de cargas eléctricas de cada ion es igual a la valencia del átomo o radical que le dio origen.

Los siguientes ejemplos ilustran casos de disociación electrolítica:

$$HCl \rightleftarrows H^+ + Cl^-$$

$$NaOH \rightleftarrows Na^+ + OH^-$$

$$NaCl \rightleftarrows Na^+ + Cl^-$$

Puesto que los iones transportan la corriente a través de la solución, esto explica por que las soluciones acuosas de electrolitos conducen la corriente eléctrica favoreciendo la conductividad del líquido.

La teoría de la disociación electrolítica o teoría de la ionización explica satisfactoriamente porque las soluciones acuosas de los electrolitos congelan a temperatura más baja y hierven a temperatura más alta que las soluciones de los no electrolitos de la misma concentración molar.

Tomando en cuenta la teoría de la disociación electrolítica podemos formular una definición diferente de ácidos y bases.

Acido es una sustancia que al disolverse en agua experimenta

disociación con formación de iones hidrógeno. La fuerza de un ácido r etermina por la concentración de su constituyente activo, el ión ı ɔgeno. De acuerdo a esto, los ácidos pueden dividirse en:

Acidos fuertes son aquellos que se ionizan fuertemente y producen, por lo tanto, una gran concentración de iones hidrógeno.

$$HCl \rightleftarrows H^+ + Cl^-$$

Acidos débiles son aquellos que se ionizan débilmente y producen, por lo tanto, una pequeña concentración de iones hidrógeno.

$$H^2CO^3 \rightleftarrows H^+ + HCO^{3-}$$

$$H^+ + CO^{3=}$$

Base es una sustancia que al disolverse en agua experimenta disociación con formación de iones hidroxilo. La fuerza de una base se determina por la concentración de su constituyente activo, el ión hidroxilo. De acuerdo a esto, las bases pueden dividirse en:

Bases fuertes son aquellas que se ionizan fuertemente y, como consecuencia, producen una gran concentración de iones hidroxilo.

$$NaOH \rightleftarrows Na^+ + OH^-$$

Bases débiles son aquellas que se ionizan débilmente y, como consecuencia, producen una pequeña concentración de iones hidroxilo.

$$NH^4OH \rightleftarrows NH^{4+} + OH^-$$

Conviene destacar insistentemente que casi todas las sales, aún las derivadas de ácidos débiles o de bases débiles, son electrolitos fuertes, en el sentido de que en soluciones acuosas están muy ionizadas. Las pocas excepciones notables de sales débilmente ionizadas son: acetato de plomo, haluro de cadmio, cloruro mercúrico, cianuro mercúrico y tiocianato férrico.

A diluciones moderadas, no todas las moléculas del electrolito están disociadas. El **grado de disociación** o, mejor, **grado de ionización** se expresa por la fracción de molécula que se ioniza y se expresa por la letra alfa.

REACCION DE LAS SOLUCIONES - CONCEPTO DEL pH.

Aún el agua más pura tiene una conductividad muy pequeña medible, debido a su mínima disociación en iones H + y OH —, según la ecuación:

$$H^2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

Aplicando la ley de las concentraciones molares a esta ecuación se obtiene

$$\frac{(H^+)\ (OH)}{H^2O} = K$$

Como la concentración del agua sin disociar (H_2O) se puede considerar constante se tiene

$$(H^+)\ (OH^-) = Kw$$

Experimentalmente se ha demostrado que Kw es igual a 1×10^{-14} a 25ºC.

Siendo el agua neutra, se tiene

$$(H^+) = (OH^-)$$

y, por lo tanto:

$$(H^+) = (OH^-) = 10^{-7}$$

Dado que estos números son extremadamente pequeños y, por consiguiente, poco fáciles de manejar, se ha convenido en establecer un sistema de notación, utilizando las siguientes expresiones:

Se denomina pH al logaritmo del número recíproco de la concentración de hidrogeniones, o sea que

$$pH = \log. \frac{1}{(H^+)} \text{ y, por lo tanto,}$$

$$pOH = \log \frac{1}{(OH^-)}$$

En los casos de absoluta neutralidad del agua a 25º C tenemos pH = pOH = 7 y, en todos los casos a la misma temperatura, pH + pOH = 14, designándose a esta última cifra como pKw.

De acuerdo con esta ecuación, dado que los valores de pH y pOH sumados dan siempre 14 a 25º C, cuando uno de ellos aumenta, el otro disminuye en proporción, manteniéndose pKw siempre constante.

Por lo tanto sería indiferente usar el pH o el pOH para expresar la reacción, pero se ha convenido en adoptar el pH para ello.

HIDROLISIS.

Cuando una sal se disuelve en agua, la solución resultante puede ser neutra, alcalina o ácida, dependiendo de la naturaleza de la sal.

Sales de ácido fuerte y base fuerte.

Como ejemplo típico de este grupo puede elegirse el cloruro de sodio, Na. Cl. Esta sal al disociarse produce iones Na+ y Cl— los cuales en presencia de los iones H+ y OH— del agua es posible que formen NaOH y H Cl. Pero como el ácido y la base están muy ionizados en solución diluída prácticamente no se formarán NaOH y HCl no disociados.

Como consecuencia, la concentración primitiva de H+ y OH— permanecerá incambiada y, por consiguiente, la solución será neutra.

Sales de base fuerte y ácido débil.

Pondremos por ejemplo el caso del bicarbonato de sodio, simplificándolo para nuestra discusión:

$$NaHCO^3 \rightleftarrows Na^+ + HCO^{3-}$$

$$H^2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

El Na+ no se unirá con el OH— porque NaOH es una base fuerte, por consiguiente muy ionizada en solución diluída. En cambio el H+ se unirá al HCO_3 para formar H_2CO_3 que es un ácido débil muy escasamente disociado. A causa de esta recombinación, el pKw desciende por debajo de 14, motivando la ionización de más agua hasta que se restablezca el pKw en 14. Estando de nuevo en exceso

la c[illegible]ntración de H^+ se formará más ácido carbónico sin ionizar y nu[illegible]nente se disociará más agua para compensar el H^+ eliminado. El resultado efectivo de toda esta acción será la acumulación de OH^- es decir que el pOH será mayor de 7, y la solución será alcalina.

Sales de base débil y ácido fuerte.

Usaremos el caso del cloruro férrico $FeCl_3$ como ejemplo típico de este grupo.

$$FeCl^3 \rightleftarrows Fe^{+++} + 3Cl^-$$

$$3H^2O \rightleftarrows 3OH^- + 3H^+$$

En este caso, el H^+ y el Cl^- no se unen porque HCl es un ácido fuerte; en cambio el $Fe(OH)_3$ es una base débil y por lo tanto Fe^{+++} se une con OH^- para formar $Fe(OH)_3$ no disociado. La disminución de iones OH^- hace que más agua se ionice hasta que se satisfaga la constante correspondiente. Esto da por resultado una acumulación de iones H^+ lo que producirá la reacción ácida de la solución.

Sal de ácido débil y de base débil .

El acetato de amonio sirve como ejemplo para este grupo. Su fórmula es CH_3COONH_4

Cuando esta sal se disuelve en agua produce iones

$$NH^{4+} \text{ y } CH^{3-}COO^-$$

$$CH_3COONH^4 \rightleftarrows NH^{4+} + CH^3COO^-$$

Los iones NH^{4+} se unirán con los iones OH^- del agua para producir la base débil NH_4OH, y los iones H^+ del agua se combinarán con los iones $CH^{3-}COO^-$ para formar ácido acético sin ionizar. Por consiguiente, tanto los iones H^+ como los H^- son así eliminados y será necesario que se ionice más agua para mantener constante el pKw. Con sales de este tipo, la acidez o la alcalinidad de la solución dependerá de las fuerzas relativas (grado de disociación) del ácido y de la base.

En el caso del acetato de amonio, ambas son casi iguales, por lo cual la solución resultante es casi neutra.

SOLUCIONES AMORTIGUADORAS.

En muchas ocasiones en la práctica de laboratorio se tiene necesidad de trabajar con soluciones de pH determinado, y de tal composición que sean capaces de mantener ese pH aún después de la adición de cantidades pequeñas de ácidos o bases. A esta clase de soluciones se las denomina "soluciones amortiguadoras" o "soluciones reguladoras". También el estudiante encontrará en la literatura sobre este tema las palabras "puffer" "buffer" o "tampon" que son equivalentes de las anteriores en otros idiomas.

En general, puede afirmarse que las soluciones conteniendo un ácido débil y una de sus sales o una base débil y una de sus sales son "soluciones reguladoras o amortiguadoras".

REACCIONES DE NEUTRALIZACION.

En términos generales, se denominan reacciones de neutralización a las que ocurren cuando un ácido se combina con una base, o viceversa, hasta la anulación de sus respectivos iones activos que

los caracterizan como tales. Por ejemplo:

$$HCl + NaOH \rightleftarrows NaCl + H^2O$$

o, dicho de otra manera,

$$H^+ + OH^- \rightleftarrows H^2O$$

De acuerdo con esto, es evidente que un ácido de concentración conocida puede servir para neutralizar una base de concentración desconocida, o viceversa. Para ello es necesario contar con un reactivo indicador que mediante un cambio de color apreciable indique el momento preciso en que tal neutralización se produce.

REACCIONES DE PRECIPITACION.

Estas reacciones tienen lugar cuando al mezclar dos soluciones, por efecto de la acción de sus componentes entre sí, se produce uno o varios compuestos insolubles que se separan de la fase líquida en forma de precipitados. Por ejemplo:

Una solución de nitrato de plata y otra de cloruro de sodio, puestas en contacto dan lugar a lo siguiente:

$$AgNO^3 + NaCl \rightleftarrows AgCl + NaNO^3$$

En estos casos el final de la reacción se aprecia también por medio de indicadores que actúan solamente cuando uno de los compuestos ha provocado la precipitación total del otro.

REACCIONES DE CAPTURA O QUELACION.

En las reacciones de captura se aprovecha la propiedad de ciertos compuestos de combinarse con determinados iones, retirándolos así de toda actividad, pudiendo decirse que prácticamente desaparecen de la solución aparentemente.

Este tipo de reacción es usado hoy corrientemente en la determinación de la dureza de las aguas mediante la sal disódica del ácido etilendiaminotetracético, el cual captura los iones Ca^{++} y Mg^{++} de las sales disueltas. La discusión de este método se cumplirá en el momento de tratarse el tema referente a dureza.

REACCIONES DE OXIDACION-REDUCCION.

Según la teoría de la estructura del átomo, los fenómenos de oxidación y de reducción se caracterizan por la pérdida o la ganancia de electrones en la órbita externa del átomo.

En realidad, ambos fenómenos constituyen uno solo, el de oxidación-reducción, pues mientras un elemento o grupo se oxida, el otro elemento o grupo se reduce.

Considerando el procedimiento de notación iónica para expresar una reacción, corresponde señalar que la ganancia de una carga positiva o la pérdida de una carga negativa significa una oxidación, y, por el contrario, la pérdida de una carga positiva o la ganancia de una carga negativa indica una reducción. Por ejemplo:

$$2Fe^{++} + Cl^2 \rightleftarrows 2Fe^{+++} + 2Cl^-$$

el ión oxidado ha sido Fe^{++} (ión ferroso) que pasado a Fe^{+++} (ión férrico, y el elemento reducido ha sido el cloro que al ganar una carga negativa se ha transformado en Cl^- (ión cloruro).

Tema 4

METODOS DE ANALISIS

La Química Analítica tiene por objeto determinar la composición de las sustancias, de las mezclas de sustancias y de las soluciones.

el exámen químico se reduce a establecer qué elementos o radicales forman parte de una sustancia, mezcla de sustancias o solución, se dice que se trata de un **análisis cualitativo.**

Cuando, además, se determinan las proporciones exactas de esos componentes, entonces estamos realizando un **análisis cuantitativo.**

El control de funcionamiento de una planta de tratamiento de agua destinada al consumo público se efectúa mediante exámenes de muestras adecuadas que son sometidas a diversos análisis cuantitativos.

Esos análisis cuantitativos se clasifican, según sea el tipo de manipulación predominante en su ejecución en:

1) **Análisis gravimétricos,** en los cuales la sustancia que nos interesa determinar es aislada bajo la forma de precipitado insoluble que es separado, previo lavado o purificación, mediante filtración y desecado, para luego, si corresponde, someterlo a calcinación.
   Finalmente, con la ayuda de una balanza de precisión (balanza analítica) se pesa el producto y se realizan los cálculos que correspondan.
2) **Análisis hidrovolumétricos,** en los que intervienen soluciones de concentración conocida que reaccionan con los elementos o radicales que se quieren determinar exactamente y que con la ayuda de **reactivos indicadores** son adicionadas hasta obtener un final de reacción determinado. El volúmen de solución utilizada indica, previo el cálculo que sea necesario realizar, la concentración del elemento o radical que se trataba de investigar.
3) **Análisis colorimétricos,** que tienen por fundamento la comparación y medida de la intensidad de colores que se producen a consecuencia de reacciones químicas entre el elemento o radical que se investiga y reactivos que se agregan para lograrlas.

En la tarea de práctica de laboratorio que realizaremos en este Curso, usaremos en forma primordial procedimientos relacionados con el análisis hidrovolumétrico y con el análisis colorimétrico.

Por esa razón, utilizaremos diversas clases de soluciones, de las cuales daremos un somero detalle para conocimiento del estudiante.

SOLUCIONES AL TANTO POR CIENTO

Una solución al tanto por ciento es aquella en que la relación del peso del cuerpo disuelto al de la solución se expresa en partes por ciento. Por ejemplo: una solución al 5 por ciento de Na Cl tiene 5 gramos de cloruro de sodio disueltos en 95 gramos de agua (o en 95 mililitros de agua).

En la práctica es costumbre preparar ésta u otras soluciones de varias maneras:

a) Se disuelven 5 gramos de NaCl en agua en cantidad suficiente para obtener un volúmen final de 100 mililitros.
b) Se disuelven 5 gramos de NaCl en 100 mililitros de agua.
c) Se disuelven 5 gramos de NaCl en 95 gramos o mililitros de agua.

En realidad, solamente c) da estrictamente una solución al 5 por ciento. Sin embargo, el método a) es el único que permite calcular fácilmente el peso del cuerpo disuelto en un volúmen cualquiera de la solución.

SOLUCIONES MOLARES

Solución molar es la que contiene un mol de la sustancia por litro de solución, recordando que **un mol** es el peso molecular de la sustancia expresado en gramos.

Por ej., una solución molar de cloruro de sodio contiene 58.46 gramos de NaCl por litro.

SOLUCIONES NORMALES

Solución normal es la que contiene **un equivalente** de la sustancia por litro de solución.

Equivalente puede definirse como el peso de la su[illegible]cia que reacciona, compromete o remplaza a 1,008 gramos de h[illegible]ógeno o 8,000 gramos de oxígeno.

Prácticamente, el peso equivalente se deduce dividiendo el peso atómico de un elemento por su valencia correspondiente.

Por ej., el peso equivalente del oxígeno es 16/2 o sea 8; el del calcio es 40,08/2 o sea 20,40; el del aluminio es 26.98/3 o sea 8,99, etc.

El equivalente de un ácido es el peso de ácido que contiene 1.008 gramos de hidrógeno ionizable.

Por consiguiente, el equivalente del HCl es su peso molecular, y la solución normal se prepara disolviendo un mol de HCl en un litro de agua.

El equivalente de H_2SO_4 es la mitad de su peso molecular, y, por lo tanto, la solución normal se prepara disolviendo ½ mol de H_2SO_4 en un litro de agua.

El equivalente de una base es el peso de base que contiene 17,008 gramos de hidroxilo, OH-. Esto se comprende muy fácilmente dado que OH- se combina con H- para formar H_2O, de acuerdo con la reacción que ya conocemos.

Por consiguiente, el equivalente de NaOH es su peso molecular, y la solución normal se prepara disolviendo 1 mol de NaOH en un litro de agua.

El equivalente de $Ca(OH)_2$ es la mitad de su peso molecular, el equivalente de $Fe(OH)_3$ es la tercera parte de su peso molecular, etc.

El equivalente de una sal es el peso de la sal que contiene un equivalente del metal o del radical ácido que la integran.

Así, el equivalente de NaCl es su peso molecular, el de Na_2SO_4 es la mitad de su peso molecular, el de $Al_2(SO_4)_3$ será la sexta parte de su peso molecular, porque contiene dos átomos de Al que son trivalentes.

Tema 5

UNIDADES DE MEDIDA

Tanto en la expresión de los resultados de los análisis físico-químicos que realicemos en el laboratorio, como en la medida de caudales, consumo de productos, etc. que sea necesario determinar para controlar del funcionamiento de una planta de tratamiento, se utilizarán exclusivamente los patrones de medida establecidos por el **Sistema Métrico Decimal.**

MEDIDAS DE PESO

La unidad de medida es el **kilogramo** que se define como el standard primario de masa, y está constituído por la masa del **kilogramo tipo internacional** de platino-iridio que se guarda en el Bureau Internacional de Pesas y Medidas en Sèvres.

También puede definirse como la masa de 1,000027 decímetros cúbicos de agua destilada pesada a 4ºC y 760 mm. de presión, exenta de gases.

En la práctica de laboratorio esta unidad no es utilizada. Se emplea generalmente el **gramo,** que es su milésima parte y que puede definirse como la masa de 1 centímetro cúbico de agua destilada, pesada a 4ºC y 760 mm. de presión, exenta de gases.

Deben recordarse las fracciones de gramo, habitualmente usadas en el laboratorio:

Denominación	Abreviatura	Modo de expresión
decigramo	dg.	0.1 g. o 1 dg.
centigramo	cg.	0.01 g. o 1 cg.
miligramo	mg.	0.001 g. o 1 mg.

Cuando el componente analizado se halla en muy ínfima proporción, los resultados son expresados en microgramos o gammas.

1 mi[illegible]amo equivale a 1 milésimo de miligramo y puede expresarse [illegible]o

0,000001 g. o 0.001 mg. o 1 mmg.

En el trabajo de planta se utilizan el kilogramo, comunmente denominado kilo. y la tonelada métrica que equivale a 1.000 kilogramos.

MEDIDAS DE CAPACIDAD

La unidad de medida es el **litro**, que se define como el standard primario de capacidad, y está constituído por el volúmen de 1 kilogramo de agua pura a la temperatura de máxima densidad y bajo presión atmosférica normal.

En el laboratorio se utiliza muy frecuentemente el mililitro, o sea la milésima parte del litro, cuya abreviatura es ml. y su modo de expresión 0,001 l., o mejor 1 ml.

Las pipetas. buretas, balones aforados, etc. se hallan graduados en mililitros.

El mililitro es prácticamente equivalente al centímetro cúbico, pero esta última expresión no debe ser utilizada para sustituir a la primera.

MEDIDAS DE VOLUMEN

La unidad de volúmen es el **metro cúbico**, el cual puede definirse como el volúmen de un cubo que mide un metro de arista Equivale casi exactamente a 1.000 litros.

Esta unidad es muy usada en la práctica de usina para medir los caudales de bombeo, capacidades de los tanques y depósitos, etc.

RELACIONES DE MASA A VOLUMEN

Los resultados de los exámenes de agua, en relación con las determinaciones físico-químicas, suelen expresarse generalmente en **miligramos por litro** (abreviado mg/l) que prácticamente equivale a partes por millón (abreviado p.p.m.). Se recomienda el uso de la primera mg/l dadas las recomendaciones de los standards internacionales actualmente vigentes.

Las dosis de coagulantes, cal, cenizas de soda. cloro, etc. aplicadas en el tratamiento del agua pueden expresarse en **miligramos por litro, partes por millón o gramos por metro cúbico** las cuales son todas **numéricamente** iguales.

Tema 6

GENERALIDADES

Los exámenes bacteriológicos de rutina tienen por propósito calificar la calidad higiénica de las muestras de agua sometidas a análisis.

Corresponde, sin embargo, señalar que tales métodos no permiten identificar, aislar o enumerar las bacterias patógenas que contengan las aguas, sino que ellos tienen como fin primordial, la indicación del **grado de contaminación** producido por desechos de origen humano o animal.

Por otra parte, el exámen bacteriológico sirve muy especialmente para juzgar la eficiencia de las distintas etapas del proceso de purificación en una planta de tratamiento.

TIPOS DE AGUA

De acuerdo a su origen las aguas pueden dividirse en **superficies y profundas.**

Las **aguas superficiales** son todas aquellas que se encuentran sobre la superficie terrestre o próxima a ella y. por consiguiente, no se han filtrado a través de capas más o menos porosas del suelo. Estas aguas están expuestas a contaminaciones muy fácilmente a causa de su contacto directo con el polvo, las materias orgánicas en descomposición, desechos de la vida humana y de los [illegible]esos industriales, etc.

Las **aguas profundas** comprenden a todas aquellas qu[illegible] para llegar a la napa subterránea donde las hallamos, han debido filtrarse a través de capas de suelo más o menos porosas, en cuyo proceso han perdido gran parte de las materias contaminantes y, aunque en tales aguas no es raro encontrar gérmenes en grandes cantidades. tales gérmenes suelen ser completamente inocuos.

AUTOPURIFICACION DE LAS AGUAS

La cantidad de elemento nutritivo de que puedan disponer los gérmenes es el factor más importante de todos los que determinan el número de gérmenes de un agua dada. Cuando la materia orgánica es abundante, también son abundantes los gérmenes; cuando es escasa, se encuentran pocos gérmenes y tienden a morir. Pero hay muchos factores que influyen en el desarrollo de las bacterias del agua:

Temperatura. El aumento de la temperatura, dentro de ciertos límites, en un agua que contenga gran cantidad de elementos alimenticios para las bacterias provoca la rápida multiplicación de estas.

Las temperaturas bajas favorecen la supervivencia de las bacterias, pero reducen grandemente o impiden su multiplicación. Por esta razón el transporte de muestras se cumple usando heladeras refrigeradas a conveniente temperatura.

Luz. En términos generales, los rayos del sol, especialmente las radiaciones ultravioletas, desempeñan un papel efectivo en la destrucción de las bacterias. Sin embargo, esta acción se encuentra limitada por la turbiedad de las aguas que impide su penetración y por el movimiento de las mismas que puede hacer insuficiente el tiempo de exposición necesario.

Oxígeno disuelto. La importancia del oxígeno como favorecedor del crecimiento y de la supervivencia de las bacterias aerobias y anaerobias facultativas es un hecho plenamente demostrado.

Contenido en protozoarios. La presencia de estos organismos vivos contribuye grandemente a la exterminación de las bacterias contenidas en el agua. Cada vez se concede mayor atención a la acción del plankton en la autopurificación de las aguas contaminadas naturalmente.

Se supone que el plankton al mantener la población bacteriana por debajo del punto de saturación, favorece la multiplicación contínua de las bacterias del agua. conduciendo a una oxidación progresiva de la materia orgánica.

Almacenamiento. El simple almacenamiento del agua en un embalse es suficiente para hacer disminuir enormemente su contenido bacteriano. Probablemente sea debido al efecto del almacenamiento que las aguas de los lagos o embalses son más puras que las de las corrientes que los alimentan.

Filtración. La filtración natural es un fenómeno que ocurre en gran escala y su eficacia en la eliminación de las bacterias depende de la naturaleza del suelo y de la profundidad de los estratos atravesados por el agua.

CARACTERES GENERALES DE LAS BACTERIAS

Morfología. Se conocen muchas formas de bacterias, siendo las principales:

a) Los **micrococos**, generalmente redondeados o esféricos, midiendo algunas décimas de micra (1 micra es igual a una milésima de milímetro) de diámetro. Cuando un elemento se asocia a otro se le denomina un **diplococo**; cuando varios elementos se aglomeran en una especie de racimo, tenemos entonces un **estafilococo**, y cuando se unen uno tras otro en forma de cadena se les llama **estreptococos.**

En algunos casos, los micrococos en lugar de ser redondos son nados adoptando la forma de granos de café, generalmente de a pares, mirándose por su cara plana o cóncava. Tal es la característica del meningococo y del **gonococo.**

Finalmente, existen ciertos micrococos que toman una forma algo ovalada, aproximándose a los bacilos, siendo llamados **cocobacilos.**

b) Los **bacilos,** que son gérmenes más o menos alargados, en forma de bastoncitos. Los bacilos se presentan generalmente aislados. No obstante, hay formas apareadas (diplobacilos) y en cadenas (estreptobacilos), etc.

Cuando los bacilos se presentan incurvados, en forma de una coma, se denominan **vibriones;** cuando presentan un número variable de ondulaciones son **espirilos** o **espiroquetos;** cuando se hallan ramificados, se designan como **cladothrix** cuando las ramificaciones son falsas, tratándose en realidad de bacilos agrupados; y como streptothrix cuando las ramificaciones son verdaderas.

Las dimensiones de los bacilos son muy variables, pudiendo llegar desde algunas décimas de micra hasta 1.5 micra de longitud, variando su anchura según las especies.

Debe señalarse muy especialmente que la forma de los microbios depende grandemente de los medios de cultivo o del ambiente en que han desarrollado, pudiendo alterarse cuando existan condiciones desfavorables o simplemente diferentes de vida.

Estructura. Se ha comprobado que las bacterias son células constituidas por un protoplasma rodeado por una membrana de envoltura y dotados de un núcleo o aparato núclear.

Movilidad. Algunos microbios son móviles, otros por el contrario completamente inmóviles.

Reproducción. La reproducción se cumple según las especies y según las condiciones de existencia por

a) simple división o escisiparidad

b) esporulación

La espora constituye, en realidad, la forma de resistencia de la bacteria, asegurando la conservación de la especie. La espora es mucho más resistente que el gérmen que la produce a la acción de los agentes desfavorables del exterior: luz, oxígeno, altas temperaturas.

Respiración. Las bacterias no pueden vivir si no disponen de oxígeno, ya se encuentre este en el aire, o en estado disuelto en el medio de cultivo o combinado con una sustancia que le sirve de verdadero alimento y de donde lo extrae.

Algunas bacterias requieren imprescindiblemente el oxígeno libre, sin el cual sucumbirían. A este grupo se le denomina **aerobios.**

Las bacterias que no pueden vivir en presencia del oxígeno libre, pero que utilizan el existente al estado de combinación en el medio de cultivo se denominan **anaerobios.**

Entre los aerobios y los anaerobios estrictos, existe toda una serie de gérmenes que desarrollan muy bien en presencia de oxígeno libre, pero que pueden vivir aunque no tan vigorosamente en ausencia total de él, extrayéndolo de los componentes de los medios de cultivo. A este tipo de gérmenes se les denomina **anaerobios facultativos,** perteneciendo a este grupo el bacilo tífico y el bacilo coli.

Nutrición. Toda célula viva necesita para su existencia alimentos que contengan las sustancias aptas para formar su contenido celular. El análisis químico demuestra que la célula bacteriana contiene agua, celulosa, hidratos de carbono, proteínas, albúmina, principios minerales, etc.

Las bacterias encuentran en los medios exteriores todos los elementos que ellas necesitan para sintetizar los constituyentes de sus células.

Cuando se quieren cultivar las bacterias en el laboratorio (in vitro) es necesario proporcionarles los alimentos esenciales para su vida, haciendo variar la composición de los medios de cultivo según las particulares exigencias de cada especie.

Desasimilación. Las bacterias, como todas las cél vivas, producen sustancias de desecho las cuales, acumulándo en los medios de cultivo, pueden entorpecer rápidamente su desarrollo. Estas sustancias pueden originarse en el mismo protoplasma o constituyen productos de transformación procedentes de la nutrición.

Acción sobre el organismo humano. Entre las numerosas bacterias que se encuentran en la naturaleza hay muchas sin ninguna propiedad nociva para el ser humano, las cuales viven a expensas de la materia orgánica en descomposición, siendo, unidas a otros elementos vivos, enérgicos agentes destructores de los cadáveres animales y vegetales. A estas bacterias se les denomina **bacterias saprófitas.** Por extensión, se designa habitualmente con el mismo nombre a las bacterias que pueden vivir sin provocar infección en las cavidades naturales del hombre, a las que tienen acceso por medio del agua, del polvo y de los alimentos.

En oposición a estas bacterias saprófitas, se encuentran otras capaces de infectar al organismo humano, desarrollándose en él y produciendo desórdenes que caracterizan a las infecciones y toxinfecciones. Estas son las **bacterias patógenas.**

Entre las bacterias patógenas hay algunas que no pueden existir sino dentro del organismo vivo, ya que salidas a los medios exteriores permanecen cierto tiempo más o menos breve en estado de latencia y luego sucumben si no encuentran ocasión de penetrar en un nuevo huésped. Ellas son **parásitos obligados.** Otras bacterias en cambio, viven una vida saprofítica fuera del ser vivo, ya en el suelo, ya en el agua, donde se multiplican o toman una forma de resistencia que les permite esperar días, meses y aún años hasta que les llegue la oportunidad de infectar a otro huésped. Tales son los **parásitos discrecionales o facultativos.**

Tema 7

ESTERILIZACION Y DESINFECCION

ESTERILIZACION

La esterilización consiste en la **destrucción** total de los gérmenes vivos por medios físicos o químicos.

La esterilización es una de las bases de la Bacteriología, dado que para estudiar un microbio es necesario obtenerlo en estado de pureza y así conservarlo. Los medios que nos rodean, objetos, instrumentos, alimentos, etc. están poblados de microbios diversos que es necesario destruir pués, de lo contrario, sería imposible realizar todo estudio sobre ellos.

Los procedimientos de esterilización más comunes están basados en el empleo del calor o en la filtración. También en el uso de ciertos agentes químicos.

Esterilización por el calor seco

Calor directo. Un ejemplo típico lo constituye la esterilización del hilo de platino sometiéndolo al fuego directo de la llama oxidante de un mechero de gas o de alcohol prolongando el calentamiento hasta llegar al rojo blanco. El platino soporta este intenso calor sin alterarse, por eso se usa habitualmente en la práctica bacteriológica para las inoculaciones a medios vírgenes, ya que se puede esterilizar un número indefinido de veces por este procedimiento.

Flameado, también llamado **sollamado.** Ciertos objetos lisos, como las puntas de las pipetas, varillas de vidrio, bocas de los tubos de cultivo o de los matraces, etc. se esterilizan rápidamente pasándolos tres o cuatro veces seguidas con cierta lentitud, como cortando pan, por una llama de elevada temperatura. Si el objeto es difícil de mover, como un matraz de gran volúmen, entonces puede esterilizarse el orificio pasando sobre él la llama del mechero.

Calor seco. La mayor parte de los objetos utilizados en la práctica del laboratorio bacteriológico necesitan ser esterilizados some-

tiend[illegible] a la acción del calor seco en estufas u hornos especiales. cale[illegible]s a electricidad, gas o cualquier otro combustible apropiado.

[illegible]os ellos están basados en el principio de que, en el aire ambiente, un calentamiento mantenido durante 30 minutos basta para destruir con seguridad todos los gérmenes vivos.

Esterilización por el calor húmedo

Vapor de agua a presión. Este tipo de esterilización es el más corriente usado en bacteriología por su seguridad, rapidez y facilidad de aplicación. Está basado en el principio de que en una atmósfera exenta de aire, todos los gérmenes mueren bajo la acción del vapor de agua calentado a 115º durante 20 minutos.

Vapor de agua a 100º. Se utiliza relativamente poco, ya que, para obtener una esterilización absoluta, la calefacción a 100º debe prolongarse por tiempo considerable.

Calentamiento discontinuo a 100º con vapor de agua. Este procedimiento, también llamado tyndalización tiene por fundamento el hecho de que las bacterias que resisten a un calentamiento de determinada duración, pueden ser destruídas cuando dicha operación es repetida a intervalos suficientemente separados. Generalmente, la tyndalización se cumple en tres veces, de treinta minutos cada una, separadas por intervalos de 24 horas.

Calentamiento discontinuo a 56º en bañomaría. Se usa solamente para casos muy especiales no contemplados en nuestro trabajo de este curso.

Ebullición. La ebullición es un medio conveniente de esterilización en algunos casos. Varios minutos de ebullición son suficietes para destruir los gérmenes y las esporas de muchas especies, solamente siendo resistentes a ella las esporas de algunas bacterias saprofitas muy resistentes.

Esterilización por filtración

Bajo ciertas circunstancias se efectúa la esterilización a través de filtros susceptibles de dejar pasar los líquidos, reteniendo los gérmenes contenidos en ellos.

Esta operación se cumple utilizando bujías filtrantes, siendo las más usuales las bujías Chamberland de bizcocho de porcelana, y las bujías Berkefeld, de tierra de infusorios.

La esterilización por filtración se emplea especialmente para los líquidos que soportan mal el calor.

Esterilización por agentes químicos

No tiene especial interés para nuestra tarea, recordando, sin embargo que se utiliza en ciertos casos de esterilización de recipientes poco accesibles a otros medios de esterilización como ser campanas de vidrio, cuyas paredes pueden lavarse con un antiséptico no volátil, como el cloruro mercúrico al 1 por 1000.

DESINFECCION

La desinfección consiste en la destrucción de los **gérmenes patógenos** solamente, por medios físicos o químicos.

Un ejemplo típico está dado por los procedimientos de desinfección utilizados como etapa final en los procesos de purificación del agua destinada al consumo público.

El agua potable no está exenta totalmente de bacterias, siempre contiene algunas pocas por cada mililitro, pero ellas son saprófitas y, por consiguiente, no son nocivas para la salud del consumidor.

Los medios físicos de desinfección del agua pueden estar dados por

Rayos ultravioletas
Ondas ultrasonoras

Los medios químicos más comunmente usados son

Cloro y clorógenos — Dióxido de cloro
Ozono
Exceso de cal
Permanganato de potasio

Tema 8

MATERIAL DE LABORATORIO

Para las manipulaciones usuales de laboratorio se necesitan diversos útiles y aparatos sencillos, con los cuales el estudiante debe familiarizarse ampliamente. Existen otros instrumentos, más o menos complicados, cuyo uso es relativamente restringido.

Por su variedad e importancia, la cristalería y la porcelana de laboratorio ocupan un lugar prominente e interesante. Generalmente, la primera se fabrica a base de cristal templado, de especial composición y de muy bajo índice de refracción, y la segunda se prepara con materiales seleccionados que la hacen resistente a las altas temperaturas.

USOS GENERALES

Tubos de ensayo
Vasos de precipitación
Matraces de Erlenmeyer
Matraces o balones de fondo plano
Cápsulas de porcelana

MEDICION DE VOLUMENES

Medición aproximada de volúmenes de líquidos
Probetas graduadas
Copas graduadas

Medición exacta de volúmenes fijos de líquidos
Pipetas volumétricas aforadas con un trazo — Balones aforados
Pipetas volumétricas aforadas de doble trazo — Tubos de Nessler

Medición exacta de volúmenes variables de líquidos
Buretas
Pipetas graduadas
Microburetas

Medición aproximada de volúmenes variables de líquidos
Pipetas de Mohr

TRASVASADO DE LIQUIDOS Y SEPARACION DE SOLIDOS Y LIQUIDOS

Embudos comunes
Embudos de Filtración
Embudos de Buchner
Crisoles de Gooch
Crisoles de fondo poroso
Matraces de filtración
Aparatos de vacío

EVAPORACION Y CALCINACION DE SUSTANCIAS

Crisoles de platino, de cuarzo, de porcelana
Cápsulas de platino, de vidrio, de porcelana
Crisoles de Gooch - Crisoles de Rose

ENSERES PARA USO BACTERIOLOGICO

Crisoles de Rose
Tubos de ensayo
Tubos de fermentación
Cajas o Placas de Petri
Pipetas aforadas
Pipetas graduadas
Ansa de platino para siembras

s espacios indicados se dibujarán los contornos de los útiles y ap. .os enumerados, los cuales fueron mostrados al estudiante:

Pipeta graduada	Matraz de vacío	Vaso de precipitación
Bureta	Trompa de vacío	Matraz Erlenmeyer
Embudo común	Crisol de platino, cuarzo o porcelana	Balón de fondo plano
Embudo de filtración	Tubo de fermentación	Cápsula de porcelana
Embudo de Buchner	Caja de Petri	Probeta graduada
Crisol de Gooch	Tubo de Nessler	Pipeta aforada de un trazo
Crisol de fondo poroso	Tubo de ensayo	Pipeta aforada de dos

INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

Con el propósito de realizar operaciones delicadas de medida, indispensables en la realización de muchos análisis, así como para facilitar la manipulación en distintas operaciones relacionadas tanto con la Química como con la Bacteriología, se utilizan instrumentos de precisión que el estudiante deberá conocer y tendrá ocasión de manejar en transcurso de la parte práctica del curso.

A continuación enumeramos y brevemente describimos algunos de estos insrumentos:

BALANZA DE PRECISION. Como su nombre lo indica, sirve para la realización de pesadas con gran exactitud, siendo suficiente para nuestro trabajo llegar a una exactitud de 0.1 miligramo. La cruz está construída con un metal liviano y recio generalmente aluminio endurecido, y sus cuchillos confeccionados también con metales duros, a veces en acero inoxidable, descansan sobre bases de agata pulida. Todo el instrumento está colocado en una caja de madera y cristal que lo preserva de la humedad y de los vapores corrosivos. Dentro de esta caja deben colocarse sustancias absorbentes de la humedad, para asegurar la exactitud de las pesadas.

COMPARADOR STANDARD. El comparador standard Hellige es un instrumento destinado a la comparación de colores producidos por reacciones químicas en los análisis colorimétricos. Se trata de un aparato construído con materiales resistentes a la corrosión que consta de un prisma de reflexión total que permite colocar lado a lado los rayos de luz que atraviesan una cubeta con la muestra agregada de reactivos que se desea examinar, y los rayos de luz que atraviesan otra cubeta que contiene la muestra sin reactivos y, además, unos standard permanentes coloreados montados sobre un disco que gira, permitiendo comparar ambos hasta llegar a su igualación o aproximación.

AQUA TESTER. Es un aparato que funciona con igual principio que el anterior con la sóla diferencia de que las cubetas mencionadas anteriormente son sustituídas por tubos de Nessler calibrados con tapones de vidrio especiales que obligan a atravesar los rayos luminosos por un espesor de 200 milímetros de muestra, lo cual permite captar muy ligeras variaciones del color.

TURBIDIMETRO. Es un instrumento principalmente destinado a medir la turbiedad de las aguas. Consta de una cámara en cuyo interior existe una lámpara de vidrio opalino, un reflector esmaltado y vidriado y una rendija con regulador de precisión conectado a un dial exterior. Una plataforma especial sostiene el recipiente de vidrio ópticamente vacío que contiene la muestra de agua cuya turbiedad se quiere determinar. Su parte inferior descansa sobre un espejo cuyo centro, sin azogar, permite el pasaje de los rayos de luz que pasan por la rendija ya mencionada y cuya intensidad se controla con el regulador. La lectura sobre el dial es transportada a una gráfica y traducida en unidades de turbiedad.

Existen otros aparatos para determinar el color y la turbiedad de las aguas, sin ser los anteriormente citados, los cuales serán explicados en clase a los estudiantes en el momento oportuno.

EQUIPO MILLIPORE PARA EXAMEN BACTERIOLOGICO. La membrana filtro Millipore, membrana MF, es una hoja circular de material poroso conteniendo millones de espacios huecos de diámetro más pequeño que el de las bacterias. El Operador pasando simplemente un volúmen dado de una muestra de agua asepticamente extraída a través de la membrana MF recogerá todas las bacterias que

conten muestra de agua sobre la superficie de filtración. Cuando est. embrana MF, con las bacterias distribuidas sobre su superficie, es colocada sobre una almohadilla absorbente saturada con un medio de cultivo adecuado al fin que se persigue incubando a 37º durante 16 a 20 horas, cada bacteria dará nacimiento presumiblemente a una colonia visible. Cuando se utilizan medios diferenciales apropiados, las colonias pueden ser reconocidas por sus características de desarrollo.

Tema 10

INSTRUCCIONES PARA LA EXTRACCION Y REMISION DE MUESTRAS DE AGUA PARA ANALISIS FISICO-QUIMICOS Y BACTERIOLOGICOS

IMPORTANCIA DE EFECTUAR CORRECTAMENTE LA MANIPULACION

Frecuentemente se califica mal un agua como consecuencia de una operación defectuosa en la extracción de la muestra. Esto trae aparejado la realización de trabajos extraordinarios de limpieza de tanques, tuberías y demás instalaciones, así como obliga a una vigilancia especial del tratamiento, a fin de localizar la parte que se supone origen de las deficiencias observadas.

Es seguro, poniendo atención y cuidado al extraer las muestras, en particular las correspondientes al exámen bacteriológico (frascos chicos), eliminar todas las posibilidades de contaminación al realizar esta operación.

En algunos casos, basta tocar simplemente el tapón en la parte que estará en contacto con el agua para que se obtengan resultados desfavorables.

IMPLEMENTOS NECESARIOS

Los implementos más comunmente utilizados son:

1º) Frascos de 250 mililitros (c.c.) para muestras destinadas a exámenes bacteriológicos;
2º) Frascos de 1 litro para muestras destinadas a exámenes físico-químicos;
3º) Heladeras para los frascos chicos (o para los frascos grandes cuando así se establezca);
4º) Cajas para los frascos grandes;
5º) Hielo;
6º) Etiquetas o Rótulos;
7º) Lámpara de soldar o muñequilla de algodón empapada en alcohol.

Cuidados previos a la extradicción de las muestras:

1º) Verificar que se tiene todo el material necesario.
2º) Poner en funcionamiento la bomba una hora antes de la extracción, cuando se trate de perforaciones.
En caso de tratarse de Usinas cada una de las muestras de agua deberá representar, en todo lo posible, la misma agua en distintas etapas de su tratamiento.
Por ejemplo, extraida una muestra de agua bruta, la de agua decantada deberá extraerse a la entrada de los filtros después de 4 horas aproximadamente de funcionamiento de la planta.
3º) Cargar con hielo la heladera por lo menos media hora antes de poner en ella las muestras, a fin de que se enfríe. **No debe mezclarse el hielo con sustancias extrañas como aserrin, sal, etc.**
4º) Se llenarán las etiquetas, preferiblemente escribiendo con letra de imprenta o a máquina, indicando el servicio, lugar (señalando las calles si se tratara de un poste surtidor) fecha y hora de extracción.
Las etiquetes deberán pegarse a los frascos correspondientes inmediatamente después de la toma de cada muestra.

LUGARES EN LOS CUALES DEBE TOMARSE CADA MUESTRA

Agua Bruta. Se tomará a su llegada a la cámara de mezcla siguiendo las mismas indicaciones que para el caso siguiente, poniendo cuidado en evitar la mezcla con sulfato de aluminio, cal hidratada, cenizas de soda o cualquier otro agente químico empleado, si él o los caños de alimentación de tales agentes estuvieran muy cercanos.

Agua del Rio o del Embalse. Se tomará en lugar adecuado, procurando llevar el frasco avanzando contra la corriente en la forma indicada en la figura Nº 1, algo debajo de la superficie, evitando llenar los frascos con agua de la misma, a menos que se solicite especialmente.

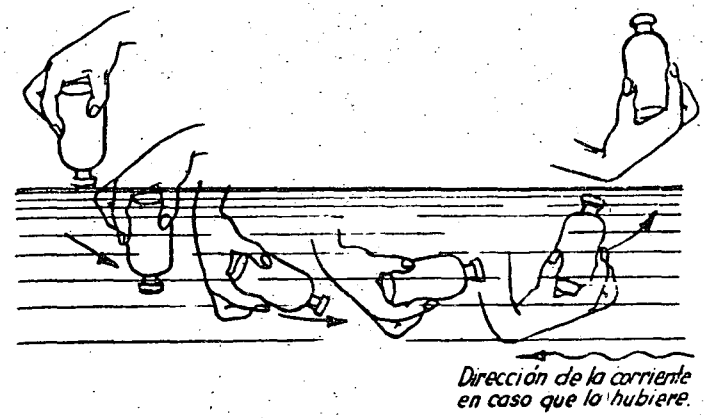


Fig. 1

Cuando se extraigan muestras a profundidades prestablecidas, se indicarán éstas en la etiqueta respectiva.

Agua de la Perforación. Se tomará del grifo colocado con este fin a la salida de la bomba, quemándolo previamente.

Agua del Tanque de Distribución. Se tomará directamente algo debajo de la superficie del agua y, si fuera dificultoso, se hará de canillas o grifos que se quemarán previamente a la extracción de las muestras.

Agua del Pozo de Succión. (pozo de agua clara) Se tomará directamente, algo debajo de la superficie del agua.

Agua del Poste Surtidor. Se tomará directamente de estos, previo quemado con la lámpara de soldar o la muñequilla de algodón empapada en alcohol.

MARCHA ORDENADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS DESTINADAS AL ANALISIS BACTERIOLOGICO (FRASCOS CHICOS)

1º) **Abrir la canilla** o grifo del cual se ha de extraer la muestra, regulando el chorro de agua en forma de evitar una salida demasiado violenta, y dejar correr el agua durante 5 minutos o más aún, si se presumiera que el agua ha estado detenida en las cañerías durante mucho tiempo, cerrar y
2º) **Quemar la canilla** mediante la lámpara de soldar o la muñequilla de algodón empapada en alcohol (nunca en kerosene o nafta).

Se quemará no sólo el exterior de la canilla o grifo sino también la boca en su parte interior, procurando que la llama penetra en la misma durante algunos segundos, cuidando de no producir deterioros debidos a un excesivo calentamiento.

3º) **Abrir nuevamente la canilla** procurando tocar solamente la manija, cierre, volante o botón y dejar correr el agua duran dos minutos por lo menos, regulando el chorro en forma de evitar una salida demasiado violenta.

4º) **Extraer la muestra** cumpliendo los siguientes tiempos:

a) **Desatar el hilo** colocado alrededor del casquete de papel que cubre el tapón y el cuello del frasco.

b) **Separar los bordes** de dicho casquete sin retirarlo de su posición, de manera que siempre quede el tapón de vidrio protegido por él (ver figura Nº 2).

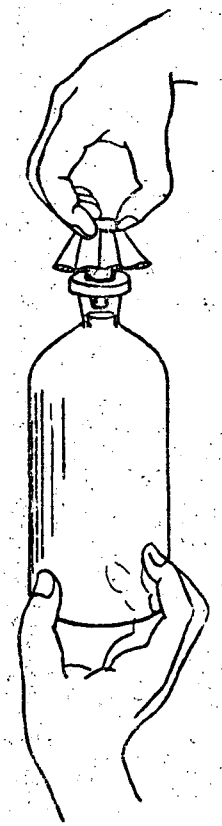


Fig. 2

d) **Quitar el trozo de hilo** que pudiera hallarse entre el tapón y el cuello del frasco, sobresaliendo de éste algunos centímetros, colocado allí con el propósito de asegurar una perfecta y completa esterilización. Este hilo deberá quitarse ya sea invirtiendo el frasco o, si esto no fuera suficiente, tomando la punta del hilo con los dedos y tirando de ella, evitando tocar el tapón o el cuello del frasco.

e) **Llenar el frasco hasta sus cuatro quin partes** (ver figura Nº 3). Pero nunca lleno.

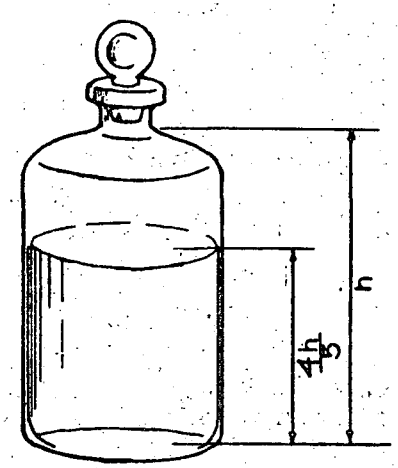


Fig. 3

f) **Tapar el frasco** estando el casquete de papel con el hilo que había sido retirado en a).

g) **Pegar la etiqueta al frasco**, preparada como se indicó en 4), indicando claramente el servicio, lugar y fecha de extracción.

h) **Acondicionar el frasco** bien cerrado, envuelto en el mismo papel, en la heladera.

i) **Agregar más hielo** en los compartimentos correspondientes de la heladera, una vez colocadas las muestras solicitadas, recordando que conviene comenzar a enfriarla por lo menos media hora antes de comenzar la toma de muestras.

5º) **En ningún momento y por ninguna razón se deben enjuagar los frascos chicos destinados al análisis bacteriológico.**

MARCHA ORDENADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS PARA ANALISIS FISICO-QUIMICOS (FRASCOS GRANDES)

Luego de extraída la muestra para análisis bacteriológico, se tomará la destinada al examen físico-químico en la siguiente forma:

1º) **Se abrirá el frasco y se enjuagará** tres o cuatro veces con la misma agua del lugar de la extracción;

2º) **Se tomará la muestra llenando totalmente el frasco;**

3º) **Se cerrará el frasco**, pegándose la etiqueta como se indicó en 4), señalando claramente el servicio, lugar, y fecha y hora de extracción;

4º) **Los frascos grandes son los únicos que deben enjuagarse.**

MARCHA ORDENADA PARA LA TOMA DE MUESTRAS ESPECIALES DESTINADAS A LA DETERMINACION DEL INDICE DE SATURACION

Luego de extraída la muestra para el exámen físico-químico, se colocará en la canilla o grifo un trozo de tubo de goma o plástico

de pc menos 70 centímetros de largo, bien adaptado en forma de pr ir cualquier pérdida. Se procederá de la siguiente forma:

1º) **Abrir el frasco** especial para la muestra destinada a la determinación del índice de saturación e introducir en él el extremo libre del tubo de goma o plástico, haciendo que éste llegue bien hasta el fondo del frasco, según se indica en la figura Nº 4;

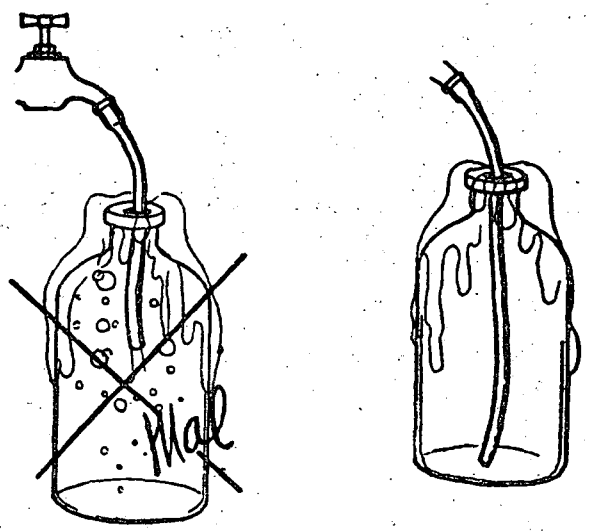


Fig. 4

2º) **Abrir la canilla** o grifo dejando salir un chorro moderado, en forma de evitar toda turbulencia o agitación del líquido dentro del frasco, se deja llenar éste y desbordar constantemente durante 5 minutos, en forma de desalojar varias veces el volúmen del frasco. (ver figura Nº 4)
Es esencial impedir que se produzca cualquier turbulencia o agitación del líquido dentro del frasco.

3º) Sin cerrar la canilla o grifo se retirará suavemente el tubo de goma o plástico en forma de dejar siempre el frasco totalmente lleno de agua;

4º) Se tapa el frasco, poniendo especial cuidado en no dejar ninguna burbuja de aire entre el tapón y el agua;

5.º) Estas etapas deben repetirse con cada uno de los frascos que se remiten;

Tema 11

DETERMINACION DEL pH

En el Tema 3 explicamos el concepto de pH. Ahora insistiremos en su interpretación y determinación.

Dijimos entonces que $pH = \log \frac{1}{H^+}$. Primeramente haremos un ejercicio de transformación de pH en (H^+) y viceversa.

Expresar en gramos por litro la concentración de hidrogeniones de un agua cuyo pH a 25º es de 6.5.

En este caso tenemos pH = 6.5. Sabemos que $pH = \log \frac{1}{H^+}$

$$= - \log. (H^+)$$

Por consiguiente, debemos buscar el número que corresponde al citado logaritmo, pero como en la tabla de logaritmos sólo encontramos las mantisas de los números positivos, tendremos que transformar nuestro logaritmo negativo en otro de mantisa positiva y característica negativa:

$$- 6.5 = + 0.5 - 7$$

En la tabla de logaritmos buscamos el número que corresponde a la mantisa 0,5 y hallamos que es 32. La característica -7 nos indica el lugar que este número 32 debe ocupar después de la coma y entonces tendremos 0,00000032.

Diremos así que la concentración en iones hidrógeno que corresponde a un agua cuyo pH es 6.5 es de 0,00000032 gramos por litro.

Calcular el pH de un agua a 25º si su concentración en iones hidrógeno es de 0,000000062 gramos por litro.

La posición del número 62 después de la coma está precedida por siete ceros, por lo tanto se halla en octavo lugar después de dicha coma.

La característica negativa será -8.

La mantisa positiva del número 62 es + 0,79

de este modo pH = + 0,79 — 8 = 7.21

MEDIDA DEL pH POR COLORIMETRIA

Reactivos indicadores. Son sustancias que se incorporan al agua o a las soluciones cuyo pH se quiere determinar, las cuales varían de color al cambiar la reacción del medio. Se ha afirmado en algunos casos que tal variación de color era debida a que los iones del indicador tenían otro color que el de su molécula no disociada, pero en otros también se ha sostenido que el cambio es debido a una modificación de la estructura de la molécula del indicador.

Elección de reactivo indicador. En nuestra práctica de laboratorio emplearemos los siguientes reactivos indicadores, cuyas zonas de viraje son detalladas a continuación y que serán seleccionadas en cada oportunidad de acuerdo con el tipo de agua a examinar:

Azul de Bromotimol	— pH 6.0 a 7.6
Rojo de Cresol	— pH 7.2 a 8.8
Rojo de Metilo	— pH 4.4 a 6.0

Manipulación. Usaremos para mayor comodidad, rapidez y exactitud el Aqua Tester Hellige, midiendo 50 ml. del agua a examinar en un matraz de Erlenmeyer y agregando 0,298 ml. con la pipeta standard. Luego, se compara colocando en el tubo de Nessler correspondiente, usando el disco de color respectivo. El resultado se obtiene por lectura directa.

En la práctica de usina, cuando no se dispone de Aqua Tester u otro aparato similar, pueden prepararse soluciones amortiguadoras a las cuales se les agrega los reactivos indicadores necesarios y se conservan en tubos de vidrio templado que sirven como términos de comparación frente a otros tubos de igual calibre y capacidad donde se coloca el agua problema a la cual se adiciona el reactivo indicador respectivo.

MEDIDA DE pH POR ELECTROMETRIA

El método electrométrico para determinación del pH requiere el de aparatos delicados y costosos, pero su exactitud es muy superior a la del método colorimétrico y está libre de las interferencias de color, turbiedad, contenido salino, coloides, cloro residual y agentes oxidantes y reductores.

El fundamento del método electrométrico está basado en el hecho de que todo electrodo metálico al ser sumergido en una solución en la que existen iones de su misma naturaleza, adquiere frente a dicha solución un cierto potencial que depende de la naturaleza del electrodo, de la naturaleza del disolvente y de la concentración de la solución en iones que dicho electrodo pueda originar. De manera que si el electrodo fuera hidrógeno, ese potencial dependería de la concentración de H^+.

Dado que sólo nos es posible medir diferencias entre dos potenciales, nuestro trabajo consistirá en medir la diferencia de potencial entre dos pares galvánicos: uno, cuyo potencial deseamos conocer y el otro, aquel que utilizamos como punto de referencia, cuyo potencial nos es perfectamente conocido. Esta diferencia puede ser establecida mediante un instrumento (potenciómetro) y de ella deducir la concentración real de H^+ y, por consiguiente, el pH.

En la práctica de usina puede no disponerse de colorímetro o medidor de pH eléctrico, pudiéndose entonces utilizar el siguiente método sencillo:

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de reactivo indicador rojo de cresol.
Solución standard de reactivo indicador azul de bromotimol.
Solución standard de reactivo indicador rojo de metilo.

MATERIAL REQUERIDO

Escala standard para la determinación del pH mediante solución standard de rojo de cresol. Para determinar el pH entre 7.2 y 8.8.

Escala standard para la determinación del pH mediante solución standard de azul de bromotimol. Para determinar el pH entre 6.0 y 7.6.

Escala standard para la determinación del pH mediante solución standard de rojo metilo. Para determinar el pH entre 4.2 y 6.3.

Tubos standard exactamente de las mismas dimensiones y características de los que integran la escala correspondiente, con aforo a 10 mililitros (c.c.) de preferencia.

1 pipeta aforada de 10 mililitros.
1 pipeta graduada de 1 mililitro.

PROCEDIMIENTO

Esta determinación deberá realizarse primero que ninguna otra tan pronto sea abierto el frasco que contiene la muestra, el cual estará totalmente lleno y se habrá agitado previamente, invirtiendo repetidas veces antes de abrirlo.

Se medirán 10 mililitros del agua a examinar colocándolos en un tubo standard limpio, enjuagado con agua destilada y seco o bien escurrido.

Esta medida se puede efectuar llenando el tubo standard hasta la línea de aforo o, si no la hubiere, mediante una pipeta de 10 mililitros. Para esto último se enjuagará la pipeta primeramente con agua destilada, y con el agua a examinar después, por dos o tres veces. Luego se medirán hasta el trazo de la pipeta los 10 mililitros exactamente, dejando caer este volúmen dentro del tubo standard, sosteniendo la pipeta verticalmente sin soplar ni agitar.

Con la pipeta graduada previamente enjuagada con agua destilada primero, y con la solución del reactivo indicador que corresponda después, se agregarán 0.5 ml. de ésta, agitando suavemente el tubo standard procurando que la solución se difunda uniformemente.

Se tratará que la comparación del color así obtenido en la muestra de agua a examinar frente a los tipos de la escala standard se realice a un temperatura lo más próxima posible a 20°C.

Los resultados se expresarán de acuerdo con los números anotados en cada tipo de la escala o considerando el intervalo entre dos tipos contiguos.

Las escalas standard deberán ser renovadas periódicamente, preferentemente cada seis meses.

Tema 12

ALCALINIDAD

ALCALINIDAD A LA HELIANTINA
ALCALINIDAD A LA FENOLFTALEINA

La alcalinidad total de un agua es comunmente debida a la presencia de bicarbonatos y carbonatos, y menos frecuentemente a la de hidróxidos, silicatos, fosfatos y boratos, generalmente de calcio y magnesio, a veces de sodio o de algún otro metal.

Es un dato de especial interés para el contralor de la aplicación del sulfato de aluminio, cal hidratada, cenizas de soda y otros agentes químicos que modifican la alcalinidad natural de las aguas.

Siguiendo la técnica que se indica más abajo, la expresión alcalinidad total o alcalinidad a la heliantina comprende la suma de las valoraciones efectuadas primero con fenolftaleína y luego con heliantina, realizadas sobre la misma muestra de agua a examinar y a continuación una de otra.

La alcalinidad a la fenolftaleína indica la presencia de carbonatos y, eventualmente, de hidróxidos de calcio y magnesio, a veces de sodio o de algún otro metal en el agua que se examina.

Es un dato interesante, especialmente para el contralor de la aplicación de la cal hidratada, cenizas de soda u otros productos alcalinos, y para la vigilancia de los tratamientos de ablandamiento de aguas duras.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de ácido sulfúrico 0.0200 N.
Solución standard de heliantina a 0.5 gramos por litro.
Solución standard de fenolftaleína a 5 gramos por litro.
Solución standard de hiposulfito de sodio aprox. 0.1 N.

MATERIAL REQUERIDO

Matraces de Erlenmeyer de 250 mililitros (c.c.)
1 bureta graduada de 25 a 50 mililitros con llave de vidrio, preferentemente.
1 pipeta aforada de 100 mililitros.
1 pipeta aforada de 50 mililitros.
1 probeta graduada de 100 mililitros (o de 200 o 250 ml.)
1 frasco gotero, o un frasco con cuenta gotas o una pipeta graduada para medir por gotas la solución de fenolftaleína. (de 1 ml.)
1 frasco gotero, o un frasco con cuenta-gotas o una pipeta graduada de 1 ml. para medir por gotas la solución de heliantina.

PROCEDIMIENTO

En un matraz de Erlenmeyer de 250 mililitros se medirán 100 mililitros del agua de la muestra a examinar.

Si en la muestra existiera cloro residual se tratará primeramente con una gota de la solución standard de hiposulfito de sodio para destruirlo.

Se agregaran primeramente 2 gotas de la solución standard de fenolftaleína y desde una bureta se dejará caer lentamente y agi-

tan[illegible] solución standard de ácido sulfúrico observando sobre una sup[illegible]e blanca hasta igualar la coloración con un patrón de pH 8.3 agregado también de 2 gotas de fenolftaleína.

Se anotarán los mililitros de ácido sulfúrico gastado en esta valoración, los cuales corresponden a la alcalinidad a la fenolftaleína.

Sobre la misma toma que sirvió para la anterior operación, se agregarán 2 gotas de la solución standard de heliantina y desde una bureta se dejará caer lentamente y agitando la solución standard de ácido sulfúrico hasta igualar la coloración con un patrón de pH 4.6 agregado también de 2 gotas de heliantina, observando el cambio de color sobre una superficie blanca.

Se anotarán los mililitros de ácido sulfúrico gastado en esta valoración, SUMADOS A LOS GASTADOS EN LA VALORACION CON FENOLFTALEINA, total que corresponde a la ALCALINIDAD TOTAL o alcalinidad a la heliantina.

El volúmen de solución standard de ácido sulfúrico empleado en total en esta determinación deberá ser inferior a los 50 mililitros para que se pueda apreciar un viraje nítido al término de reacción.

Tema 13

ANHIDRIDO CARBONICO LIBRE

El anhidrido carbónico libre o CO_2 libre es un compuesto de carácter ácido cuya presencia o ausencia resulta muy interesante para juzgar la mayor o menor **corrosividad** de un agua sobre las cañerías metálicas que la conducen y distribuyen a los consumidores.

Tiene especial importancia en el contralor de la aplicación del sulfato de aluminio, el que produce un señalado aumento en el contenido de CO_2 libre del agua que se trata, así como para el contralor de la aplicación de cal hidratada, cenizas de soda y otras sustancias alcalinas que lo reducen y hasta pueden hacerlo desaparecer.

MATERIAL REQUERIDO

1 Nomograma o gráfica para el cálculo del contenido en anhidrido carbónico libre a partir de los resultados obtenidos en las determinaciones de pH, alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína.

Determinación del pH de la muestra de agua a estudiar.

Determinación de la alcalinidad total de la muestra de agua a estudiar.

Determinación de la alcalinidad a la fenolftaleína de la muestra de agua a estudiar.

PROCEDIMIENTO

Determinar primeramente pH, alcalinidad total y alcalinidad a la fenolftaleína de la muestra a examinar.

En caso de existir alcalinidad a la fenolftaleína deberá restarse de la alcalinidad total.

Si no existiera alcalinidad a la fenolftaleína, se utilizará el dato de la alcalinidad total, tal cual se ha determinado.

Se busca en el nomograma un punto formado por la intersección de las líneas correspondientes al dato de la alcalinidad total (bicarbonatos) y al dato del pH que se hayan determinado en la muestra a examinar.

Una vez obtenido este punto, mediante una escuadra o una regla se ubicará otro sobre la línea corrsepondiente al anhidrido carbónico libre que forme con el anterior una línea perpendicular a la línea de la alcalinidad total.

Este nuevo punto expresará en partes por millón o miligramos por litro el contenido en CO_2 libre de la muestra examinada.

Los resultados se expresarán en números enteros.

La exactitud de estos resultados está supeditada a la exactitud de las determinaciones que sirven de base para el cálculo [illegible]ctuado con el nomograma.

Tema 14

CLORO RESIDUAL

La determinación del cloro residual reviste singular importancia para el contralor del tratamiento desinfectante a base de cloro o de hipocloritos del agua destinada al consumo público.

Este dato permite establecer la cantidad de cloro remanente luego de cierto tiempo de contacto después que se aplicó la dosis de desinfectante, y regularla evitando faltas que invalidarían el tratamiento o excesos que conferirían al agua sabor desagradable.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de ortotolidina.

Esta solución deberá conservarse en frascos color caramelo, en la obscuridad, evitando todo contacto con materiales de goma, y mantenerse a la temperatura normal.

A temperaturas por debajo de 0º, la ortotolidina precipita de la solución y no podrá ser fácilmente redisuelta.

La solución standard de ortotolidina es estable solamente durante los primeros seis meses después de preparada.

MATERIALES REQUERIDOS

Escala standard de tipos durables, preparada en tubos de Nessler o en tubos standard.

Tubos de Nessler o tubos standard de características exactamente iguales a los de la escala tipo.

Pipetas graduadas de 10 ml. o aforadas de 5 ml.

PROCEDIMIENTO

En un tubo de Nessler o tubo standard de características exactamente iguales a los de la escala tipo se colocarán 5 ml. de la solución de ortotolidina, medidos con la pipeta, y se agregará el agua a examinar (100 ml.) hasta la marca correspondiente grabada en el vidrio del tubo.

Se mezclara bien y dejará en contacto durante 5 minutos, preferentemente en la oscuridad y especialmente **fuera de toda luz solar directa.**

Pasado este tiempo, se comparará con los tipos de la escala standard.

CALCULO

Los resultados se expresarán directamente en partes por millón, miligramos por litro, de cloro residual.

Tema 15

CLORO LIBRE — CLORO COMBINADO — INTERFERENCIAS

La determinación del cloro residual mediante el método a la ortotolidina incluye la del cloro libre, cloro combinado y las interferencias.

Se recuerda que la presencia en la muestra de agua a examinar de algunas sustancias interferentes falsea por completo la verdad de los resultados, dado que el efecto de tales sustancias es el de aumentar, a veces muy exageradamente, el contenido aparente de cloro residual.

ales sustancias interferentes son, o pueden ser, los nitritos, co. estos férricos, compuestos mangánicos, compuestos de hierro organicos, lignocelulosa y algas.

Dentro de ciertas limitaciones, el método a la ortotolidina-arsenito o método OTA permite realizar la medida de las proporciones relativas de

Cloro libre, o sea el cloro al estado de tal que queda remanente en una muestra de agua, luego de cierto tiempo de aplicada la dosis destinada a la desinfección del agua en cuestión.

Cloro combinado, o sea el cloro al estado de cloramina que queda remanente en una muestra de agua, luego de cierto tiempo de aplicado un tratamiento desinfectante a base de amoníaco-cloro al agua de que se trata.

Interferentes, o sea el color debido a falsas reacciones producidas por alguna o algunas de las sustancias capaces de producir interferencias, según se indicó más arriba.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de ortotolidina.

Esta solución deberá conservarse en frascos color caramelo, en la oscuridad, evitando todo contacto con materiales de goma, y mantenerse a la temperatura normal.

A temperaturas por debajo de 0º, la ortotolidina precipita de la solución y no podrá ser fácilmente redisuelta. La solución standard de ortotolidina es estable solamente durante los primeros seis meses después de preparada.

Solución standard de metarsenito de sodio.

MATERIALES REQUERIDOS

Escala standard de tipos durables, preparada en tubos de Nessler o en tubos standard.

Tubos de Nessler o tubos standard de características exactamente iguales a los de la escala tipo.

Pipetas graduadas de 10 mililitros (c.c.) o aforadas de 5 ml.

PROCEDIMIENTO

Tres tubos de Nessler o tres tubos standard de características exactamente iguales a los de la escala tipo se marcarán o se les pegará una etiqueta con las letras A, B y OT.

Tubo A. Se medirán con la pipeta aforada de 5 ml. o con la peta graduada, 5 mililitros de solución standard de ortotolidina y se agregará el agua a examinar (100 ml.) hasta la marca correspondiente grabada en el vidrio del tubo.

Se mezclará rápidamente e inmediatamente, dentro de los 5 segundos siguientes a esta operación se agregarán 5 mililitros de la solución standard de metarsenito.

Se mezclará rápidamente otra vez y se comparará con los tipos de la escala standard lo más rápidamente posible.

EL VALOR OBTENIDO REPRESENTA EL CLORO LIBRE Y EL COLOR DEBIDO A LAS SUBSTANCIAS INTERFERENTES. VALOR (A).

Tubo B. Se medirán con la pipeta aforada de 5 ml. o con la pipeta graduada, 5 mililitros de solución standard de metarsenito y se agregará el agua a examinar (100 ml.) hasta la marca correspondiente grabada en el vidro del tubo.

Mezclar rápidamente y agregar inmediatamente solución standard de ortotolidina medida con la pipeta aforada de 5 mililitros (o con la pipeta graduada).

Mezclar rápidamente otra vez y comparar con los tipos de la escala standard lo más rápidamente posible. EL VALOR OBTENIDO SE REGISTRARA COMO VALOR B_1.

Dejar durante 5 minutos y volver a comparar con los tipos de la escala standard. ESTE VALOR SE REGISTRARA COMO VALOR B_2.

Estos valores significan:

B_1: el color debido a las sustancias interferentes en la lectura efectuada inmediatamente después de agregada la ción standard de ortotolidina;

B_2: el color debido a las sustancias interferentes en la lectura efectuada 5 minutos después de agregada la solución standard de orototolidina.

Tubo OT. Se medirán con la pipeta aforada de 5 ml. o con la pipeta graduada, 5 mililitros de solución standard de ortotolidina y se agregará el agua a examinar (100 ml.) hasta la marca correspondiente grabada en el vidrio del tubo.

Se mezclara rápidamente y se dejará reposar durante 5 minutos.

Se comparará luego de este lapso, con los tipos de la escala standard.

ESTE VALOR SE REGISTRA COMO VALOR OT, y corresponde al cloro residual sumado al color producido por las sustancias interferentes.

CALCULOS

CLORO RESIDUAL igual a OT - B_2.

CLORO LIBRE igual a A - B_1.

CLORO COMBINADO igual a CLORO RESIDUAL - CLORO LIBRE.

EJEMPLO

A igual a 0.3.
B_1 igual a 0.1.
B_2 igual a 0.2
OT igual a 0.8

De acuerdo a estos resultados tendríamos:

Cloro residual	:	0.8 — 0.2 igual a 0.6 p.p.m.
Cloro libre	:	0.3 — 0.1 igual a 0.2 p.p.m.
Cloro combinado	:	0.6 — 0.2 igual a 0.4 p.p.m.

Tema 16

DUREZA TOTAL

La dureza total de un agua es habitualmente debida a la presencia de sales de calcio y magnesio, y menos frecuentemente a la de sales de hierro, aluminio y algunos otros metales.

El exceso de dureza produce inconvenientes en el uso doméstico del agua, especialmente en el lavado de ropas y utensilios y en la cocción de algunos alimentos.

Es un dato de especial interés para el contralor de los procesos de ablandamiento y en todo otro tratamiento que requiera la aplicación de cal hidratada y, eventualmente, de cualquier otra sal de calcio o magnesio.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de versenato disódico o trisódico.
Solución standard de indicador Negro Eriocromo T.
Solución tope de cloruro de amonio e hidróxido de amonio.

MATERIAL REQUERIDO

Matraces de Erlenemeyer de 250 ml. de capacidad.
1 bureta graduada de 25 mililitros con llave de vidrio.
1 pipeta aforada de 50 mililitros (en caso de necesitarse de diferente capacidad se indicará especialmente).
1 pipeta graduada de 1 mililitro (c.c.).

PROCEDIMIENTO

En un matraz de Erlemeyer de 250 mililitros de capacidad, se medirán 50 mililitros del agua a examinar o menor cantidad, diluida si fuera necesario hasta un volumen de 50 mililitros con agua destilada.

Esto quiere decir que el volumen sobre el cual ha de operarse será siempre de 50 mililitros, ya sean setos 50 mililitros del agua a

exami o si la dureza de la misma fuera muy alta, 10, 20 ó 25 mililit. del agua a examinar completados hasta 50 mililitros con agua destilada.

Se agregará 1 mililitro de la solución tope y se mezclará bien.

Se agregará la cantidad de solución de reactivo indicador según se indica en la etiqueta del frasco que la contiene.

Desde una bureta se dejará caer lentamente la solución standard de versenato en continua y enérgica agitación hasta que el último tinte rojizo haya desaparecido de la solución, dejando lugar a una nítida coloración azul, agregando las últimas gotas a intervalos de 3 a 5 segundos una de otra.

El volumen total de la solución de versenato empleado para cada valoración no deberá ser mayor de 5 mililitros.

La duración de una valoración no deberá exceder de 5 minutos, contados a partir del momento en que fue agregada la solución tope.

Los resultados se informarán en partes por millón, miligramos por litro, de dureza total expresado en carbonato de calcio.

DUREZA CARBONATADA
DUREZA NO CARBONATADA

Cuando la dureza total es numéricamente mayor que la alcalinidad total, la proporción de dureza que es equivalente a la alcalinidad se denomina DUREZA CARBONATADA (o dureza debida a carbonatos), y toda cantidad en exceso sobre esta última se designa como DUREZA NO CARBONATADA.

Ejemplo 1º:

Dureza total	90	partes por millón
Alcalinidad Total	75	" " "
Difer.	15	

En este caso la dureza carbonatada será de 75 partes por millón y la dureza no carbonatada de 15 partes por millón.

Cuando la dureza total es numéricamente igual o menor que la alcalinidad total toda la dureza es dureza carbonatada. En tales casos no hay dureza no carbonatada.

Ejemplo 2º:

Dureza Total	90 partes por millón
Alcalinidad Total	90 partes por millón

En este caso la dureza carbonatada será de 90 partes por millón y la dureza no carbonatada será 0.

Ejemplo 3º:

Dureza Total	90 partes por millón
Alcalinidad Total	98 partes por millón

En este caso la dureza carbonatada será de 90 partes por millón y la dureza no carbonatada será también 0.

PROCEDIMIENTO

Se determinará la alcalinidad total de la muestra a examinar.

Se determinará la dureza total de la muestra a examinar.

CALCULOS

Se realizará de acuerdo con los ejemplos 1º, 2º y 3º.

Los resultados se expresarán en partes por millón, miligramos por litro, de dureza carbonatada o de dureza no carbonatada en carbonato de calcio.

Tema 17

CLORUROS

La presencia de cloruros en exceso en las aguas de consumo determinan condiciones inconvenientes para su uso y les confiere un sabor salado desagradable.

Es muy importante establecer el contenido en cloruros especialmente de las aguas de consumo provenientes de perfo nes ubicadas en las proximidades del mar.

METODO AL NITRATO DE MERCURIO
SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de nitrato mercúrico.

(Deberá manejarse con precaución por tratarse de un producto tóxico.)

Solución standard de reactivo indicador difenilcarbazona-azul de bromofenol.

Solución de ácido nítrico aproximadamente 0.2 N.

MATERIAL REQUERIDO

Matraces de Erlenmeger de 250 mililitros de capacidad.

1 pipeta aforada de 50 mililitros (se indicará expresamente si es necesario disponer de otra de diferente capacidad).

1 bureta graduada de 25 mililitros con llave de vidrio.

1 pipeta graduada de 1 mililitro.

1 pipeta graduada de 10 mililitros.

PROCEDIMIENTO

En un matraz de Erlenmeyer de 250 mililitros de capacidad se medirán 100 mililitros del agua a examinar, los cuales deberán contener menos de 10 miligramos de Cl. (pipeta aforada).

Se agregarán, con la pipeta graduada de 1 ml., 10 gotas de la solución de reactivo indicador y luego, con la pipeta graduada de 10 mililitros, suficiente solución de ácido nítrico, gota a gota hasta obtener una coloración definidamente amarilla y, después, 5 gotas más.

Desde una bureta se dejará caer solución standard de nitrato mercúrico hasta obtener un primer tinte violeta permanente. Unas pocas gotas antes de que este fin de reacción sea alcanzado el color de la solución se torna anaranjado, debiéndose proceder entonces con cuidado, gota a gota y con vigorosa agitación, hasta llegar al tinte violeta mencionado.

Los resultados se expresan en partes por millón, miligramos por litro, de cloruros expresados en ion cloro, Cl-.

METODO AL NITRATO DE PLATA
SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución standard de nitrato de plata 0.0141N

Solución standard de cromato de potasio.

Bicarbonato de sodio para análisis.

MATERIAL REQUERIDO

Matraces de Erlenmeyer de 250 mililitros de capacidad.

1 Pipeta aforada de 100 mililitros (se indicará expresamente si es necesario disponer de otra de diferente capacidad).

1 Bureta graduada de 25 mililitros con llave de vidrio.

1 Pipeta graduada de 1 mililitro.

PROCEDIMIENTO

En un matraz de Erlenmeyer de 250 mililitros de capacidad se medirán 100 mililitros del agua a examinar. En todo caso deberá completarse con agua destinada hasta 100 ml. cuando se midan volúmenes de la muestra inferiores a 100 ml.

Si el pH de la muestra es inferior a 7.0 se agrega aproximadamente 1 gramo de bicarbonato de sodio puro para análisis.

Luego se agregará 1 mililitro de solución standard de cromato de potasio y desde una bureta se dejará caer solución standard de nitrato de plata hasta que se produzca el viraje al amarillo rojizo.

poder apreciar mejor este viraje, conviene efectuar una prueba en blanco utilizando agua destilada y siguiendo exactamente el procedimiento descrito, utilizando esta prueba como testigo.

La precisión y exactitud de este método están condicionadas a la agudeza visual con que es percibido el viraje, siendo generalmente de más o menos 0.2 ml.

Los resultados se expresan en partes por millón, miligramos por litro, de cloruros expresados en ion cloro, Cl-.

Tema 18

DETERMINACION DEL HIERRO

Las aguas que contienen altas concentraciones de hierro presentan generalmente coloración intensa y son inconvenientes para el uso doméstico porque manchan los utensilios y las ropas, e inapropiadas para uso industrial, siendo altamente perjudiciales en la fabricación de textiles, papel, tintas, etc.

La presencia del hierro en el agua de la red de distribución, en cantidades superiores a las existentes en el agua natural, indica que existe corrosividad y que está atacando al metal de la tubería.

El procedimiento que usaremos para la determinación del hierro en el agua está basado en la oxidación del ion Fe^{++} a su forma Fe^{+++} y luego mediante un exceso de ion rodanato (tiocianato) producir el complejo $Fe(CNS)_n$ de muy intenso color rojo y cuya valencia es $+3-n$ donde n es un número variable que depende de la concentración de ambos iones Fe y CNS, por lo cual siempre debe usarse la misma concentración de la solución de rodanato y no pasar de cierta concentración de hierro en las determinaciones.

Manipulación. Para mayor comodidad, simplicidad y exactitud usaremos el Aqua Tester, aplicando el procedimiento standard a base de rodanato de potasio.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución de ácido clorhídrico aprox. 6N.

Solución de permanganato de potasio aprox, 0,2 N.

Solución de rodanato de potasio (20 gramos en un litro, pero esta concentración tendrá que ser ajustada hasta asegurar la identidad con los discos patrones).

MATERIALES REQUERIDOS

1 Aqua Tester.

(En caso de no disponerse de este instrumento será necesario utilizar tubos de Nessler de 50 ml. y preparar una solución patrón disolviendo 1,4044 gramos de sulfato ferrosoamónico (sal de Mohr) $FeSO_4 . (NH_4)_2 SO_4 6H_2O$ en 50 ml. de agua destilada, agregando lentamente 20 ml. de ácido sulfúrico puro concentrado. Cuando la solución anterior llegue a 80º C. aproximadamente, se adiciona la solución de permanganato de potasio 0,2 N gota a gota hasta persistencia de una coloración rosada. Luego de enfriado, se diluye a 2 litros en un balón aforado. 1 mililitro de esta solución equivale a 0.1 de hierro expresado en Fe.

1 pipeta de Mohr de 10 ml.
1 probeta de 100 ml. graduada.
1 matraz de Erlenmeyer de 250 ml.
1 pipeta sin graduar o cuenta gotas.

PROCEDIMIENTO

Para aguas conteniendo relativamente poca cantidad de materia orgánica, se miden 100 ml. de la muestra, o un volumen menor si hay más de 2 miligramos por litro de Fe, y se colocan en un matraz de Erlenmeyer agregando 5 ml. de la soluci le ácido clorhídrico y permanganato de potasio gota a gota h. . obtener una coloración violeta persistente. Se hierve durante un minuto, se deja enfriar, se agrega una o dos gotas más de solución de permanganato de potasio, se transfiere a un balón aforado de 100 ml y se completa a 100 ml. con agua destilada.

El resultado se lee directamente en el Aqua Tester si se han tomado 100 ml. de muestra para realizar el ensayo. En el caso contrario, se multiplicará la lectura del instrumento por el factor que corresponda.

Tema 19

DETERMINACION DEL ALUMINIO

Generalmente se utiliza sulfato de aluminio en los procesos de coagulación que se cumplen en las plantas de tratamiento. Tiene por objeto remover la turbiedad y el color que presentan las aguas naturales en muchas oportunidades.

Por lo tanto es esencial determinar las proporciones de aluminio residual en las muestras de agua tratada, para comprobar que la aplicación de sulfato de aluminio ha sido correctamente realizada y evitar excesos que podrían ser perjudiciales, especialmente por la tintorería y la industria del papel.

Algunos autores admiten hasta 0.20 miligramos por litro como límite tolerable de ion Al^{+++} en las aguas tratadas con compuestos de aluminio.

MANIPULACION.

Para mayor comodidad, simplicidad y exactitud usaremos el Aqua Tester, aplicando el procedimiento standard a base de aluminón.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución reguladora de acetato de amonio (3 ml. de ácido acético agregados a 250 ml. de solución 4 N (308 g. en 1 lt.) de acetato de amonio),

Solución de aluminón (disolver 0.1 g. de aurintricarboxilato de amonio en 100 ml. de agua destilada).

MATERIALES REQUERIDOS

1 Aqua Tester.

En caso de no disponerse de este instrumento sería necesario utilizar tubos de Nessler de 100 ml. y preparar una solución patrón de aluminio, a base de sulfato de aluminio y potasio ($Al_2(SO_4)_3 . K_2SO_4$). 24 H_2O). 8 g. 7955 de esta sal, llevados a 1 litro con agua destilada. De esta solución tomar 10 ml. y llevarlos a 1 litro con agua destilada, obteniéndose así una solución patrón de la cual cada ml. es equivalente a 0.005 mg. de aluminio (Al).

1 pipeta de Mohr de 5 ml.
1 probeta graduada de 50 ml.
1 matraz de 125 ml. Erlenmeyer.

PROCEDIMIENTO

Se toman 50 ml. de la muestra, o menor volumen si la concentración en ión aluminio fuera muy alta, completándolo en tal caso con agua destilada hasta 50 ml., y se agregan de 2 ml. de la solución reguladora de acetato de amonio y 2 ml.de la solución de aluminón.

Luego de 15 minutos se compara en el Aqua Tester el color obtenido con los standards permanentes del disco correspondiente.

El resultado se obtiene por lectura directa si no se ha efectuado dilución del agua de la muestra. En caso contrario, se multiplicará la lectura del instrumento por el factor que corresponda.

Tema 20

DETERMINACION DEL COLOR

Deben diferenciarse dos tipos de color:

Color real o verdadero: el producido por las sustancias en solución o en suspnesión coloidal, no separables por centrifugación.

Color aparente: es el color total, que incluye, además del color real, el producido por las sustancias en suspensión.

MANIPULACION.

Para mayor comodidad, simplicidad y exactitud usaremos el Aqua Tester en la determinación de este dato. Como en la práctica de usina puede no disponerse de este instrumento, explicaremos a continuación la técnica de un método standard.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Solución patrón: Disolver 1.245 gramos de cloroplatinato de potasio (K_2PtCl_6) que corresponde a 0.500 g. de platino, y 1 gramo de cloruro cobaltoso ($CoCl_2.6H_2O$) en un poco de agua destilada, agregar 100 ml. de ácido clorhídrico concentrado, completando la solución a 1 litro con agua destilada.

Para preparar patrones de 5, 10, 15, 20. etc. unidades de color se tomarán tubos de Nessler de 100 ml. de capacidad, colocándose en cada uno 1, 2, 3, 4, etc. mililitros de la solución patrón, completando a 100 ml. con agua destilada.

Los patrones deben mantenerse al abrigo de la luz y bien tapados.

MATERIAL REQUERIDO

1 juego apropiado de patrones de color.
Tubos de Nessler de 100 ml.

PROCEDIMIENTO

Se coloca el agua de la muestra en un tubo de Nessler de 100 ml. y se compara directamente con los patrones de color, mirando verticalmente a través de la columna líquida sobre una superficie blanca.

Los resultados se expresan en **unidades de color,** la cual se define como el color que es producido por 1 mg. de platino (al estado de cloroplatinato de potasio) y 0,5 mg. de cobalto (al estado de cloruro cobaltoso).

Si el color del agua es mayor de 70 unidades, se pueden hacer diluciones con agua destilada, multiplicando las lecturas por el factor que corresponda.

Tema 21

TURBIEDAD

La turbiedad de las aguas se debe a la presencia de sólidos suspendidos tales como arcilla. limo, materias orgánicas en fina división, plancton y otros elementos microscópicos.

Es un índice que se toma en cuenta para controlar la eficacia del tratamiento de purificación del agua a través de las etapas de decantación y filtración.

Para mayor precisión. haremos nuestra práctica con ayuda del Turbidimetro Hellige. No contando con este instrumento, el procedimiento a seguir es el siguiente:

Suspensiones patrones requeridas

1 juego de frascos de igual tipo de vidrio y de forma y tamaño similares, los cuales contienen las suspensiones pat s necesaria con sus respectivos valores expresados en unida de turbiedad indicados en las etiquetas.

PROCEDIMIENTO

La muestra, bien agitada, deberá verterse en un frasco de igual tamaño, forma y tipo de vidrio que los que contienen los patrones, dejando un espacio vacío suficiente para una agitación adecuada antes de cada comparación.

La comparación se verificará observando lateralmente la muestra y los patrones, viendo a través de ellos a un mismo objeto y notando la nitidez con que el objeto puede ser visto.

Las observaciones pueden realizarse convenientemente mirando un papel impreso o una serie de líneas negras trazadas sobre un papel blanco.

RESULTADOS

La turbiedad de la muestra deberá ser registrada como la del tipo standard que produzca el efecto visual más parecido al de la muestra.

Los resultados serán expresados como unidades de turbiedad.

Tema 22

OXIDABILIDAD
OXIGENO CONSUMIDO

Con este procedimiento se determina la cantidad de sustancias que tiene el agua capaces de reaccionar con el permanganato de potasio.

Es un índice que se toma en cuenta para controlar la eficacia del tratamiento de purificación del agua a través de las etapas de decantación, filtración, cloración, etc.

SOLUCIONES REQUERIDAS

Permanganato de Potasio 0.0125 normal (o normal/80, abreviado: N/80).

Debe conservarse en frascos bien tapados, de tapón de vidrio esmerilado, no debiendo usarse tapones de corcho o de goma por ningún concepto.

Los frascos deberán ser de vidrio color caramelo y conservarse en un armario o lugar adecuado al abrigo de la luz.

Sulfato Ferroso Aprox. 0.0125 normal (o normal/80, abreviado: N/80).

Debe conservarse en frascos con tapón esmerilado.

Acido Sulfúrico al 1/5.

Debe conservarse en frascos con tapón esmerilado, y examinarse cada vez que se utiliza para comprobar que se halla **incoloro.**

No debe utilizarse la solución cuando presente coloración amarillenta o tenga un tinte parduzco.

La solución de ácido sulfúrico al 1/5 deberá ser siempre transparente e incolora.

MATERIAL REQUERIDO

Matraces de vidrio de fondo plano de 500 mililitros de capacidad.
Hornillo eléctrico o a kerosene.
2 buretas graduadas de 25 mililitros con llave de vidrio.
1 pipeta aforada de 10 mililitros.
1 probeta de 200-250 mililitros graduada.

PROCEDIMIENTO

miden 200 mililitros del agua de la muestra a analizar en la probeta y se le agregan 10 mililitros de la solución de ácido sulfúrico al 1/5 medidos con la pipeta, y 20 mililitros de la solución de permanganato medidos con la bureta. Se calienta a fuego suave. y cuando se inicia la ebullición se toma el tiempo. Se deja hervir en fuego suave durante 10 minutos y luego se enfría el matraz sumergiéndolo en agua fría, hasta que el líquido contenido en él tenga una temperatura de 30º más o menos.

Luego se agregan 20 mililitros de la solución de sulfato ferroso exactamente medidos con la bureta y se agita. debiendo quedar el líquido completamente incoloro.

VALORACION.

Se deja caer de la bureta lentamente solución de permanganato hasta obtener un color rosado débil agitando continuamente.

Se anota la cantidad gastada de solución de permanganato que se lee en la bureta.

Todo lo dicho anteriormente se repite sobre una toma de 200 mililitros de agua bidestilada o de agua destilada exenta de materia orgánica y se anota la cantidad de solución de permanganato gastada que se lee en la bureta.

CALCULO.

La diferencia entre el permanganato gastado por la muestra de agua a examinar y el permanganato gastado por el agua bidestilada (o destilada exenta de materia orgánica), dividida por dos dará el resultado del examen expresado en partes por millón o miligramos por litro de oxígeno consumido.

Ejemplo:

El agua a examinar gastó 8.8 ml.
El agua bidestilada (o destilada exenta de mat. orgánica) 1.1. ml.
La diferencia 8.8
— 1.1
7.7 dividida por 2 igual a 3.85.

El resultado final para este caso se expresa diciendo que la sustancia tiene 3.85 partes por millón o mililigramos por litro de oxígeno consumido.

Dado el caso de que durante la ebullición se constatara la desaparición total o casi total del color característico del permanganato, se realizará un nuevo ensayo con el agua a examinar, diluyéndola de la siguiente manera:

Se miden 100 mililitros del agua a examinar en la probeta y se completan hasta 200 mililitros con agua bidestilada (o destilada exenta de materia orgánica).

Luego se continúa como se explicó anteriormente.

Para este caso, la diferencia entre el permanganato gastado por la muestra de agua a examinar y el permanganato gastdo por el gua bidestilada (o destilada exenta de materia orgánica) dará directmente el resultado del examen expresado en partes por millón o miligramos por litro de oxígeno consumido.

Ejemplo:

El agua a examinar gastó 10.1 ml. de permanganato
El agua bidestilada (o destilada exenta de materia orgánica) gastó 1.1 ml. " "
La diferencia 9,0

indica directamente el resultado final, el cual se expresa diciendo que la muestra tiene 9.0 partes por millón o miligramos por litro de oxígeno consumido.

Aún, si en este caso se constatara durante la ebullición la desaparición total o casi total del color característico del permanganato de potasio, se realizaría un nuevo ensayo con el agua a examinar, diluyéndola de la siguiente manera:

Se miden en la probeta 50 mililitros del agua a examinar y se completan hasta 200 mililitros con agua bidestilada (o destilada, etc.).

Luego se continúa como se explicó anteriormente.

Para este caso, la diferencia entre el permanganato gastado por la muestra de agua a examinar y el permanganato gastado por el agua bidestilada (o destilada, etc.) multiplicado por dos dará el resultado del examen expresado en partes por millón o miligramos por litro de oxígeno consumido.

Ejemplo:

El agua a examinar gastó 9.5 ml. de permanganato
El agua bidestilada (o destilada, etc.) gastó 1.1 ml. de permanganato
La diferencia 8.4 multiplicada por 2, igual a 16.8 indica que el resultado final es 16.8 partes por millón o miligramos por litro de oxígeno consumido.

Tema 23

PREPARACION DE MATERIAL ESTERIL

En el Tema 7 expusimos los principales métodos de esterilización usados en el laboratorio. Ahora procederemos a formular las recomendaciones generales para la preparación previa y esterilización de los recipientes, instrumentos, etc. destinados a la realización de los análisis bacteriológicos.

TECNICA GENERAL A SEGUIR

Lavado. Los frascos, pipetas, cajas de Petri, tubos de ensayo y demás objetos de vidrio deberán lavarse muy cuidadosamente. Un procedimiento muy recomendable consiste en sumergir el material de vidrio en agua jabonosa (2,5 gramos de jabón en polvo por litro de agua) y someterlo a ebullición por 5 ó minutos o más sifuera necesario, dejar enfriar y cepillar con un cepillo adecuado, enjuagar abundantemente con agua corriente, y finalmente un par de veces

Todo lo dicro anteriormente se repite sobre una toma de 200 con agua destilada.

Secado. Si no existe urgencia, puede dejarse secar todo el material en forma espontánea, colocado en forma conveniente sobre rejillas, secadores de madera, etc. En caso contrario, se colocará en una estufa cuya temperatura podrá oscilar entre 100 y 150º C.

Taponamiento y protección. Los tubos de ensayo se obturan con algodón o con una tapa o casquillo metálico ajustado. Los matraces y balones se tapan con algodón, usándose algodón absorbente de fibra larga, tomando una porción cuyo tamaño se determina por ensayo previo. Para los matraces y balones se termina esta preparación cubriendo los tapones de algodón con un pedazo de papel.

Las pipetas y las cajas de Petri se envuelven con papel antes de colocarlas en el horno o estufa para su esterilización. Se puede omitir esta operación, si se ponen las pipetas en un estuche metálico antes de su esterilización y si las cajas de Petri fueran utilizadas inmediatamente después de esterilizadas.

Conviene que las pipetas sean taponadas con una mota de algodón no demasiado comprimida en su extremo superior.

Frascos para extracción de muestras. Estos serán de unos 250 ml. de capacidad y con tapón esmerilado. Se colocará un trozo de hilo entre el tapón y el cuello del frasco para evitar su rotura durante la esterilización a presión y para asegurar la penetración del

vapor agua en su interior. No se omitirá la colocación previa de 1 gota de solución de tiosulfato de sodio al 20 % en el interior del frasco, que tiene por objeto neutralizar el cloro residual que pudiera contener la muestra de agua al momento de su extracción.

Esterilización. Las pipetas y cajas de Petri se esterilizan generalmente mediante calor seco, colocándolas en la estufa u horno a 160º - 170º C. durante una hora y media, luego que se ha llegado a esta temperatura.

Los frascos para la extracción de muestras se esterilizan a vapor bajo presión, colocándolos en el autoclave y dejándolos durante 20 minutos después que se ha llegado a 121º C. previo desalojo de todo el aire que contenía en su interior dicho aparato.

TECNICA ESPECIAL A SEGUIR CON LOS MATERIALES CONTAMINADOS

Cuando es necesario limpiar los materiales que han servido para exámenes bacteriológicos ya efectuados, se tomarán precauciones especiales para evitar infecciones que accidentalmente podrían ocurrir a los operadores.

Antes de iniciar la limpieza del material, se esterilizará todo en autoclave durante 30 minutos a 121º C., los medios de cultivo usados, tubos, cajas de Petri, así como las pipetas y demás enseres que hubieran estado en contacto con aguas o líquidos contaminados o sospechosos.

Durante esta esterilización, las cajas de Petri pueden colocarse invertidas sin tapa dentro de un recipiente especial, de manera que pueda escurrirse su contenido hacia el fondo del mencionado recipiente. Con este procedimiento, se evita tener que separar el medio sólido con espátula.

Después de esterilizado, el contenido de los tubos de ensayo se vuelca sobre un cesto de alambre o de mimbre, que retendrá también los tubitos de fermentación.

A las pipetas se les retira el algodón que obtura su boca superior mediante un alambre o con un fuerte chorro de agua que se aplica desde el extremo opuesto.

La limpieza se prosigue luego como ya se dijo, pero si el agua jabonosa no fuera suficiente para obtener un resultado satisfactorio, se recurrirá a la mezcla sulfocrómica o a la acción de polvos abrasivos.

Tema 24

PREPARACION DE MEDIOS DE CULTIVO

La técnica de preparación de los medios de cultivo es complicada y requiere una serie de conocimientos de bacteriología que no corresponden a la intención y orientación de este curso.

Como se dispone de medios especiales deshidratados ya preparados con tal destino, la tarea del Operador de Filtros, en caso necesario, se limitará a disolver las cantidades que corresponden a cada medio de cultivo en el volumen requerido de agua, y esterilizarlo, previa distribución en tubos o matraces a la temperatura que se indica para cada caso.

MEDIOS QUE SE USARAN EN ESTE CURSO

Para la numeración total de colonias

Agar standard, distribuído en tubos conteniendo aprox. 10 ml. de medio cada uno.

Este medio se esteriliza a 121º durante 15 minutos en el autoclave, luego de desalojado el aire y llegado a esta temperatura.

PARA LA DETERMINACION DEL N.M.P. DE COLIMORFOS

Caldo Mac Conkey, de concentración **sencilla**, distribuído en tubos conteniendo aprox. 5 ml. de medio cada uno, y un tubito de fermentación.

Este medio se estiriliza a 121º durante 15 minutos en el autoclave, luego de desalojado el aire y llegado a esta temperatura.

Caldo Mac Conkey, de concentración **doble**, distribuído en tubos conteniendo 10 ml. aprox. de medio en cada uno, y un tubito de fermentación. Esterilización igual al anterior.

Medio citratado de Koser, distribuído en tubos conteniendo aprox. 5 ml. de medio cada uno.

Este medio se esteriliza a 121º durante 15 minutos en el autoclave, luego de desalojado el aire y llegado a esta temperatura.

Tema 25

REALIZACION DE LOS EXAMENES BACTERIOLOGICOS

La búsqueda directa de los organismos que causan las enfermedades de origen hídrico como ser fiebre tifoidea, disenteria bacilar, cólera, etc., no es de fácil realización ni se efectúa corrientemente en exámenes bacteriológicos de rutina.

La incorporación de estas bacterias al agua se hace en forma intermitente y en cantidades relativamente reducidas. Por otra parte, su supervivencia en un medio pobre en materias nutritivas es completamente precaria, y además su investigación con probabilidades de éxito presenta dificultades considerables de orden técnico.

Para establecer la calidad higiénica de las aguas se ha encontrado un medio indirecto pero más seguro, el cual consiste en la investigación de bacterias características que son huéspedes normales del intestino humano y animal. Se ha determinado que si un agua tiene bacterias de este tipo, se la debe considerar **potencialmente peligrosa**, tanto más cuanto mayor sea la cantidad presente de tales bacterias.

Por esa razón, la calificación bacteriológica de una muestra de agua está basada en la determinación del número de bacterias colimorfas, designando como tales a todas aquellas especies cuyas características morfológicas, serológicas y bioquímicas son similares a las del grupo del bacilo coli.

Esta determinación suele ser completada con la numeración de bacterias de todo tipo que desarrolan en un medio nutritivo adecuado seleccionado al efecto, la cual tiene especial valor para controlar el funcionamiento de una planta de purificación a través de la reducción microbiana experimentada a través de las distintas etapas del proceso.

Como norma general y muy importante cabe recordar "que es mucho más importante examinar numerosas muestas de agua mediante una técnica sencilla y eficiente, que examinar muestras ocasionales o en menor cantidad con técnicas o métodos muy completos y minuciosos".

FRECUENCIA DE LA EXTRACCION DE MUESTRAS. La frecuencia de la extracción de muestras y la elección de los puntos de toma son establecidos por los técnicos a cuyo cargo directo se halla la responsabilidad de cada servicio.

No obstante, los Operadores deben saber que existe un standard mínimo para fijar el número de muestras de **agua de consumo** en relación con el número de consumidores en cada servicio.

La norma internacional, aceptada por gran número de países incluyendo a Uruguay, Argentina, etc., es la establecida por el Servicio de Salud Pública de los Estados Unidos de Norteamérica, de la cual damos un resumen a continuación:

Población servida	Número mínimo de exámenes mensuales
2.500 habitantes o menos	1
10.000 "	7
25.000 "	25
100.000 "	100
1.000.000 "	300
2.000.000 "	390
5.000.000 "	500

DILUCIONES. El contenido de bacterias de una muestra de agua es, lógicamente muy variable, dependiendo de su grado de contaminación o pureza. Un agua muy contaminada obliga a diluir la muestra y tomar para efectuar la siembra una porción alícuota.

Por razones de mayor comodidad, las diluciones se hacen siguiendo la progresión 1/10, 1/100, 1/1000, etc. y pueden efectuarse con agua esterilizada. Si se temiera alguna acción bactericida del agua de dilución puede usarse con excelente resultado el suero de Ringer diluido (cloruro de sodio 9 g., cloruro de potasio: 0.42 g.; cloruro de calcio 0,43 g.; bicarbonato de sodio 0,2 g.: agua destilada en destilador de vidrio 1000 ml.).

También pueden usarse mezclas reguladoras de fosfato disódico y monopotásico de concentración centésimo molar, M/100.

Tema 26

DETERMINACION DEL NUMERO DE BACTERIAS AEROBIAS NUMERACION DE COLONIAS DESARROLLADAS EN AGAR STANDARD A 37º C. DURANTE 24 HORAS

La técnica general a seguir es la siguiente:

Volumen a sembrar. Según la naturaleza del agua será el volumen de muestra que se fije para sembrar. Dentro de términos generales, puede adoptarse el siguiente criterio:

a) muestras de aguas profundas y de aguas superficiales sometidas a procesos de purificación:
   siembra directa o dilución al 1/10.
b) muestras de aguas superficiales no totalmente purificadas u otras que se supongan contaminadas:
   diluciones al 1/10, 1/100, 1/1000, etc.

Técnica de la siembra. Se coloca en el fondo de una caja de Petri previamente esterilizada, 1 ml. de la muestra o de la dilución que se haya efectuado, previamente agitadas, levantando la tapa de la caja apenas lo suficiente para permitir el paso de la pipeta y volviéndola de inmediato a su posición normal.

Se recomienda sembrar por lo menos dos diluciones a efectos de obtener un número de colonias fácil de contar, y realizar las operaciones por duplicado, promediando los resultados que se obtengan.

Luego se vierten aproximadamente 10 ml. del medio de cultivo fundido a una temperatura de 42-45º C. en las cajas sembradas, levantando apenas la tapa para permitir la adición del medio.

Las bocas de los frascos de muestras y de los tubos de ensayo serán flameadas cada vez que sean destapadas.

Una vez vertido el medio de cultivo fundido, se imprime a la caja de Petri sucesivos movimientos giratorios y rectilíneos, manteniéndola sobre la superficie plana de la mesa, en forma de lograr una distribución homogénea del agua sembrada (y por consiguiente de las bacterias) en el medio de cultivo.

Terminada esta operación, se deja solidificar el agar, colocando la tapa de la caja de Petri ligeramente abierta para permitir que salga todo el vapor de agua y evitar su condensación en la cara interna de la tapa. Comprobada la solidificación de dio se cubren las cajas y se colocan en la incubadora en posicion invertida.

Incubación. La estufa se gradúa a 37º C. y se colocan en ella las cajas sembradas como se indicó más arriba. La estufa debe ser bien ventilada, al abrigo de la luz y con ambiente saturado de humedad. Debe vigilarse la temperatura en forma frecuente.

El período de incubación será de 24 roras, vencido el cual se procederá a la numeración de las colonias desarrolladas, seleccionándose las cajas que tengan un número de colonias no mayor de 300 ni menor de 30, excepto las que hayan sido sembradas con aguas sin diluir que se cuentan aunque el número de colonias obtenido haya sido inferior a 30.

Numeración. Para el conteo de colonias existen aparatos apropiados con platinas divididas en sectores pequeños que facilitan la operación. Estos aparatos no son imprescindibles, pudiendo efectuarse la numeración colocando la caja sobre un fondo negro, iluminándola lateralmente, y marcando con tinta cada colonia que se observa bajo un aumento de 2 ó 3 diámetros.

Cuando no se ha hecho dilución, el número de colonias contado es informado como tal; cuando se ha trabajado con diluciones este número es multiplicado por el factor correspondiente.

Expresión de los resultados. Debe tomarse en consideración el error experimental que se comete en esta operación, el cual es relativamente grande, y, por consiguiente no deben expresarse los resultados en forma que indiquen una precisión que el procedimiento no puede garantizar.

Se aconseja dar los resultados con solamente dos cifras significantes, por ejemplo:

entre 1 y 99	expresarlas tal cual se han determinado
entre 100 y 999	expresarlas a las 10 más próximas, por ej. si fuera 117 informar por 120, si fueran 902 informar por 900, etc.
entre 1000 y 9999	expresarlas a las 100 más próximas, por ej. si fueran 1517 informar por 1500, si fueran 8990 informar por 9000, etc.

y así sucesivamente.

Tema 27

DETERMINACION DEL NUMERO MAS PROBABLE DE COLIMORFOS

Las bacterias colimorfas o coliformes forman un numeroso grupo de microorganismos que sirven para ser usados como índices de contaminación y cuando están presentes en las aguas, permiten suponer la existencia probable de bacterias patógenas provenientes del intestino humano, posibles enfermos y portadores.

Existen numerosos métodos para la determinación de las bacterias colimorfas en las aguas. Los más importantes son los siguientes:

Métodos Standard de la American Public Health Association y la American Water Works Association de los Estados Unidos de Norteamérica,
Métodos del Ministerio de Salud de Gran Bretaña
Método de la membrana filtrante
Método del Metropolitan Water Board de Londres.
Método (IV) de G. S. Wilson y colaboradores.

En nuestro curso usaremos este último método que es habitualmente empleado como procedimiento de rutina en los laboratorios de la Administración de las Obras Sanitarias del Estado del Uruguay y en Obras Sanitarias de la Nación de la República Argentina, pero también se realizarán determinaciones con el método standard americano y con el de la membrana filtrante.

amento del método. Las bacterias colimorfas son capaces de entar la lactosa en presencia de bilis o de sales biliares (tauroglicocolato de sodio), produciendo el desprendimiento de gas y acificando el medio. Los tubos de caldo Mac Conkey llevan en su interior un pequeño tubito invertido llamado tubo de Durham. En dicho tubito es recogido el gas que se desprende, lo cual permite al operador apreciar su formación. Además, el caldo Mac Conkey lleva entre sus ingredientes un reactivo indicador, el púrpura de bromocresol, el cual vira del azul-rojizo al amarillo cuando el medio se acidifica.

Técnica para la determinación del N.M.P. de colimorfos totales. Una serie elegida de tubos de fermentación es sembrada con cantidades adecuadas del agua a examinar. Se debe tener muy en cuenta que si las porciones de muestra a examinar son de 10 ml. o mayores, los tubos contendrán un volumen igual de caldo Mac Conkey de doble concentración. Si las porciones de muestra a examinar fueran de 1 ml. o menores entonces se utilizarán tubos con 5 ml. de caldo Mac Conkey de concentración sencilla.

Los tubos sembrados se incuban a 37: C. efectuándose lecturas a las 24 y 48 horas, con el fin de compresar si ha habido desprendimiento de gas y viraje del medio al ácido.

Si así hubiera ocurrido, se estima que el agua contiene colimorfos.

Diferenciación de las bacterias colimorfas. De todos los tubos de caldo Mac Conkey positivos, tan pronto como sea constatada la fermentación y el viraje, se efectúan pases con alambre de platino a tubos de caldo Mac Conkey de concentración sencilla que se incuban en un baño de agua regulado exactamente a 44º C. durante 24-48 horas, y a tubos con medio citratado de Koser que se incuban a 37º C. durante 48 horas. Los pases a tubos de medio citratado de Koser deben realizarse con alambre de platino recto y fino, con objeto de no llevar al citrato material nutritivo del cultivo original.

Caldo Mac Conkey sembrado e incubado a 44º C. durante 24-48 horas:

Desprnedimiento de gas y viraje al ácido: resultado positivo, indicando la presencia de Echerichia coli (B. coli fecal, tipo I).

Ausencia de gas (con o sin viraje): resultado negativo. indiindicando la presencia de Escherichia coli (B. coli fecal, tipo I).

Medio citratado de Koser sembrado e incubado a 37º C. durante 48 horas:

Enturbiamiento del medio: indica resultado positivo, con desarrollo de bacterias colimorfas del grupo I.A.C. (intermediario-aerogenes-cloacae).

El medio continúa transparente: indica resultado negativo, ausencia de bacterias colimorfas del grupo I.A.C. (intermediario-aerógenes-cloacae).

CALCULO E INFORME DE LOS RESULTADOS. En este método, el N.M.P. de colimorfos por 100 ml. de agua se obtiene según el número de porciones sembradas y el de las que producen gas y ácido en caldo Mac Conkey a 37º C.

El N.M.P. de Escherichia coli (B. coli fecal, tipo I) se deduce de la cantidad de tubos positivos de caldo Mac Conkey ubicados a 44º C., y el N.M.P. de intermediarios, aerógenes y cloacae (I.A.C.) del número de tubos positivos en el medio citratado de Koser, incubado a 37º C.

Las siguientes son las tablas para calcular el número más probable de colimorfos contenido en 100 ml. de muestra, inoculando varias porciones con tres diferentes diluciones:

TABLA I

Porciones inoculadas en ml.	5 porciones con	10	ml. cada una
usadas para aguas potables	1 porción con	1	ml. cada una
	1 porción con	0.1	ml. cada una

TABLA II

Porciones inoculadas en ml.	2 porciones de	10	m da una
usadas para aguas regular-	2 porciones de	1	m. da una
mente contaminadas	2 porciones de	0.1	ml. cada una

TABLA III

Porciones inoculadas en ml.	2 porciones de	1	ml. cada una
usadas para aguas muy con-	2 porciones de	0.1	ml. cada una
taminadas	2 porciones de	0.01	ml. cada una

TABLA I

Nº de tubos POSITIVOS Porciones de 10 ml.	1 ml.	0,1 ml.	N.M.P. por 100 ml.
0	0	1	2.0
0	1	0	2.0
0	1	1	4.0
1	0	0	2.2
1	0	1	4.4
1	1	0	4.4
1	1	1	6.7
2	0	0	5.0
2	0	1	7.5
2	1	0	7.6
2	1	1	10
3	0	0	8.8
3	0	1	12
3	1	0	12
3	1	1	16
4	0	0	15
4	0	1	20
4	1	0	21
4	1	1	27
5	0	0	38
5	0	1	96
5	1	0	240.0

TABLA II

Nº de tubos POSITIVOS Porciones de 10 ml.	1 ml.	0,1 ml.	N.M.P. por 100 ml.
0	0	1	4.5
0	0	2	9.0
0	1	0	4.6
0	1	1	9.2
0	1	2	14
0	2	0	9.4
0	2	1	14
0	2	2	19
1	0	0	6.0
1	0	1	12
1	0	2	19
1	1	0	13
1	1	1	20
1	1	2	28
1	2	0	21
1	2	1	29
1	2	2	37
2	0	0	23
2	0	1	50
2	0	2	95
2	1	0	62
2	1	1	130.0
2	1	2	210.0
2	2	0	240.0
2	2	1	700.0

TABLA III

Nº de tubos POSITIVOS Porciones de 1 ml.	0,1 ml	0,01 ml.	N.M.P. por 100 ml.
0	0	1	45
0	0	2	90
0	1	0	46
0	1	1	92
0	1	2	140
0	2	0	94
0	2	1	140
0	2	2	190
1	0	0	60
1	0	1	120
1	0	2	190
1	1	0	130
1	1	1	200
1	1	2	280
1	2	0	210
1	2	1	290
1	2	2	370
2	0	0	230
2	0	1	500
2	0	2	950
2	1	0	620
2	1	1	1300
2	1	2	2100
2	2	0	2400
2	2	1	7000

Ejemplo de cálculo e informe de N.M.P. de colimorfos y diferenciación de los mismos.

Supongamos que se han sembrado 5 porciones con 10 ml., 1 porción con 1 ml. y 1 porción con 0,1 ml. de la muestra a examinar. A las 48 hs., luego de incubar a 37º C. los tubos de caldo Mac Conkey sembrados tenemos los siguientes resultados:

Con desprendimiento de gas y viraje al ácido:

4 porciones con 10 ml. y 1 porción con 1 ml., las demás no presentan modificación.

Corresponde aplicar la Tabla I, donde hallamos que el número más probable para esos resultados es el de 21 por 100 mililitros de la muestra examinada.

Entonces en un primer paso informamos que el N.M.P. de colimorfos de la muestra examinada es de 21 por 100 ml.

De los tubos que presentaron fermentación y viraje, luego de efectuar los pases y cultivos complementarios, obtenemos lo siguiente:

fermentaron a 44º C. 3 tubos de caldo Mac Conkey, correspondientes a los pases de 3 porciones de 10 ml. de la muestra

enturbiaron el medio citratado de Koser 1 pase de 1 porción de 10 ml. y 1 pase de 1 porción de 1 ml.

Aplicando la misma Tabla anterior, tenemos que para el resultado correspondiente a los Escherichia coli (B. coli fecal, tipo I) se logra un N.M.P. de 8.8 por 100 ml. de muestra, y para el resultado correspondiente a los colimorfos del grupo I.A.C. se tiene un N.M.P de 4.4 por 100 ml.

Un sencillo cálculo de proporcionalidad permite obtener con estos datos, la concentración de Escherichia coli y del grupo I.A.C., respectivamente.

En efecto siendo

X el número más probable de colimorfos obtenido según las tablas

a, el de Escherichia coli

y b, el de colimorfos del grupo I.A.C.,

las concentraciones de cada uno por 100 ml. de la stra estarán dadas por

$$\text{Escherichia coli} \quad \frac{a}{a+b} = 21 \frac{8.8}{8.8+4.4} = 14.0$$

$$\text{Grupo I.A.C.} \quad X \frac{b}{a+b} = 21 \frac{4.4}{8.8+4.4} \doteq 7.0$$

Los resultados se informarán:

Número Más Probable de Colimorfos	21	por 100 ml.
Número Más Probable de E. coli	14.0	por 100 ml.
Número Más Probable del Grupo I.A.C.	7.0	por 100 ml.

METODO STANDARD DE LA A.P.H.A. Y A.W.W.A.

Definición. Para este standard el grupo colimorfo incluye a todos los bacilos aerobios o anaerobios facultativos, Gram-negativos, no esporógenos, que fermentan la lactosa con formación de gas dentro de las 48 hs. a 35º C.

Pruebas normales. Las pruebas normales para el grupo colimorfo pueden ser la Prueba Presuntiva, la Prueba Confirmada o la Pueba Completa, según la definición de cada una que se da a continuación.

Prueba Presuntiva. Para esta prueba puede utilizarse el caldo lactosado o el caldo de triptosa-lauril. Las porciones de agua que se usen para inocular los tubos varían en volumen y en número de acuerdo con la calidad del agua bajo estudio. Pueden efectuarse las siembras de acuerdo con lo dicho en el parágrafo correspondiente de este Tema 27, lo cual está expresamente recomendado en el standard americano.

Los tubos sembrados son incubados a 35º C. ± 0º 5, examinándolos luego de 24 hs. ± 3 horas de incubación, registrándose la presencia o la ausencia de gas, sin tomar en cuenta su cantidad, observación que es repetida a las 48 horas ± 3 horas. La presencia de gas en cualquier cantidad dentro de las 48 horas ± 3 horas de incubación constituye una prueba presuntiva positiva. Por el contrario la ausencia de gas en igual tiempo constituye una prueba presuntiva negativa.

Todos los tubos que produzcan gas a las 24 hs., aunque no hayan sido sometidos a la Prueba Confirmada, deben registrarse como conteniendo organismo del grupo colimorfo, aunque todas las pruebas confirmadas den resultados negativos.

Prueba Confirmada. Se permite el uso de los medios confirmatorios caldo lactosado con bilis y verde brillante en tubos de fermentación, o de las placas de Endo o agar-eosina-azul de metileno.

Deben someterse a la prueba confirmada todos los tubos de la prueba presuntiva que arrojaron resultados positivos al cabo de 24 ó 48 horas de incubación. Antes de verificar la inoculación, deben agitarse cuidadosamente los tubos presuntivos, efectuando después el pase con un ansa de platino de no menos de 3 mm. de diámetro.

El tubo inoculado de caldo lactosado con bilis y verde brillante se incuba a 35º durante 48 horas, con las tolerancias ya señaladas anteriormente para el caldo lactosado.

La presencia de gas, en cualquier cantidad y en cualquier tiempo dentro de las 48 horas ± 3 horas constituye una Prueba Confirmada.

Prueba Completa. Si se usaron tubos de BVB (caldo lactosado con bilis y verde brillante) se inoculan placas de Endo o de eosina-azul de metileno de cada tubo positivo, tan pronto como sea posible después de la aparición de gas. Las placas se incuban a 35º ± 0º5 por 24 a 48 hs. ± 3 horas. De cada una de estas placas, se toman colonias colimorfas típicas, inoculándose tubos de fermentación con caldo lactosado y tubos con agar inclinado.

Los tubos de caldo lactosado se incuban a 35° durante no más de 48 horas, examinándose cada 24 horas. Por igual tiempo y a igual temperatura se incuban los tubos de agar inclinado, preparándose después frotis teñidos al Gram.

Resultados. La formación de gas en el caldo lactosado y la presencia de bacilos no esporógenos. Gram negativos en el cultivo en agar deben considerarse como una Prueba Completa satisfactoria, demostrando la presencia de miembros del grupo colimorfo en el volumen de agua examinado.

Los resultados se expresan en Número Más Probable por 100 ml. de muestra sembrada utilizando las tablas de cálculo del parágrafo correspondiente.

Diferenciación. Es interesante transcribir la opinión de los "Métodos Standard para los Exámenes de Aguas. Líquidos Cloacales y Desecros Industriales" 10 Ed. 1955 sobre la posibilidad e interés del uso de procedimientos para diferenciar a los miembros del grupo colimorfo: ..."Para una diferenciación satisfactoria del grupo colimorfo en las especies Escherichia coli, Aerobacter aerógenes y Escherichia freundii (o intermedias) se necesitan generalmente 4 pruebas (indol, rojo de metilo, Voges-Proskauer y citrato de sodio), las que se recomiendan tentativamente para tal determinación diferencial.

Si a estas pruebas se agregan otras adicionales, puede aumentarse proporcionalmente la variedad real o aparente de cepas, como se hace en los sistemas clásicos de Mac Conkey, Clemesha y Levine. Aunque desde el punto de vista de investigación pueda ser recomendable tal diferenciación intensiva, no parece que se justifique su complejidad en las pruebas rutinarias..."

PROCEDIMIENTO DE MEMBRANAS FILTRANTES.

Tendremos oportunidad de trabajar con un equipo Millipore de membrana filtrante en cuyo momento se conocerá prácticamente la técnica del sistema.

No obstante ,es conveniente transcribir la opinión de la American Public Health Association sobre el particular:

"El Sub Comité de Métodos Standard para el Examen de Aguas y Líquidos Cloacales de la A.P.H.A., realizó un amplio estudio sobre la aplicación del procedimiento de membranas filtrantes para el examen rutinario de aguas potables; se usó un medio deshidratado Difco y un medio de Endo modificado. Se ha concluído, por tal estudio, que no existe una relación fácilmente aparente entre los resultados obtenidos por la técnica de la membrana de filtración y por el método standard de diluciones con el cual se calcula el Número Más Probable. Las características físicas y químicas de las aguas no influyen, de modo particular, en el desarrollo bacteriano sobre la membrana filtrante, con la única excepción de la turbiedad, que limita el volumen de la muestra que puede examinarse; la deposición de los sólidos suspendidos sobre las membranas puede resultar en un desarrollo aglomerado de las bacterias o en alteraciones de sus características típicas. En el examen de aguas turbias, solamente puede filtrarse un pequeño volumen, para eliminar la deposición de los sólidos suspendidos, y como las aguas turbias pueden tener un contenido reducido de colimorfos, el uso de la técnica de la membrana filtrante puede ser difícil o imposible en tales casos.

Las investigaciones en colaboración han demostrado que los dos procedimientos de prueba, membrana filrtante y tubos con diluciones, no valoran precisamente el mismo grupo de microorganismos, por lo que está por definirse la significación sanitaria de los diferentes resultados que se obtienen con las dos técnicas. Son necesarios nuevos estudios adicionales sobre el procedimiento de la membrana filtrante los que, particularmente deben concretarse al medio de cultivo más efectivo para la diferenciación de los colimorfos y a los detalles secundarios de manipulación en la técnica usual..."

INVESTIGACION DE PSEUDOMONAS

Teniendo en cuenta la importancia higiénica que puede tener la presencia de organismos del género Pseudomonas en el agua, y reconociendo su acción inhibitoria sobre los cultivos de gérmenes colimorfos, la cual puede modificar los resultados de las determinaciones de éstos, se recomienda especialmente la investigación sistemática del género Pseudomonas en los exámenes bacteriológicos de agua, clasificándose como **NO ACEPTABLE** a la muestra en que se compruebe su presencia. (Norma de Calidad de Aguas Potables de O.S.E.).

Las pseudomonas, en especial las Pseudomonas aeruginosa (B. piociánico o P. Pycyanea) se pone de manifiesto en los medios de cultivo por el pigmento azul-verdoso (piocianina) que le es característico.

Las pseudomonas se ponen fácilmente de manifiesto en el medio citratado de Koser durante el desarrollo del método de Wilson. Sin embargo, si se desea investigarlas es necesario tomar muy en cuenta algunas recomendaciones especiales.

a) Para la formación de la piocianina es indispensable el oxígeno, siendo mayor su producción a 25º C. en cultivos jóvenes.
b) Conviene la siembra en caldo nutritivo de reacción alcalina (pH 7.8-8.5), incubando a 25º C. durante 72 horas en frascos de fondo muy amplio (matraces de Erlenmeyer).
c) Debe comprobarse la formación de piocianini como medio de confirmar la presencia de la bacteria, la cual se puede fácilment eextraer por medio de cloroformo, previa agitación para procurar una buena oxigenación.

Tema 29

EXAMEN PROTISTOLOGICO DE LAS AGUAS

La palabra "plankton" o "plancton" en su más amplio sentido comprende no solamente a las formas microscópicas flotantes, con exclusión de las bacterias, sino también a todos los pequeños organismos que se desarrollan en los lechos y márgenes de los lago y cursos de agua.

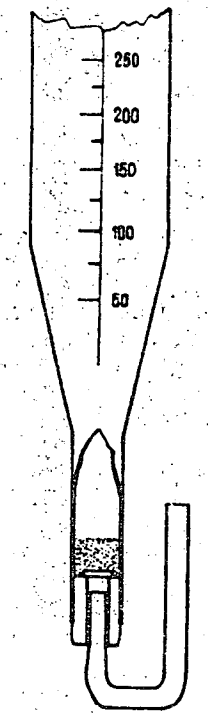
Se incluye bajo la denominación de plankton a las bacilariaceas (Diatomeas), Cloroficeas, Mixoficeas (Cianoficeas), hongos, protozoarios, rotíferos, crustáceos, poríferos y briozoarios, y también a pequeños gusanos y larvas de insectos.

RECOLECCION DE MUESTRAS. Se usarán frascos de vidrio, de boca ancha, con tapón esmerilado, de 2 litros de capacidad o de 1 litro. Si se trata de examinar la muestra con gran exactitud debe conservarse a temperatura baja hasta que se verifique el examen. Por ningún motivo debe quedar el frasco expuesto a la luz solar y deben adoptarse las precauciones necesarias para evitar que se agote el oxígeno disuelto, teniendo cuidado de **no llenar completamente** el frasco con la muestra.

Si la muestra no se va a observar en la forma indicada, debe conservarse con la adición de 3 a 5 ml. de formol comercial neutralizado o alcalinizado con amoníaco por cada 100 ml. de la muestra. Como los colores de los organismos se desvanecen rápidamente, la muestra preservada de plankton debe conservarse en la oscuridad.

CONCENTRACION DE LA MUESTRA. Se efectúa mediante filtración con el embudo de Sedgwick-Rafter, tan pronto como sea posible después de la recolección de la muestra. Si ésta se hubiera conservado fría, podrán admitirse intervalos de 3 ó 4 horas, sino habrá que conservarla con formol.

El embudo de Sedgwick-Rafter se prepara como indica la figura, colocando primeramente el tubo en U en la base mayor del ta[illegible] de goma, cubriendo después la base pequeña, previamente



humedecida, con un disco de tela de molino y, finalmente, montando el conjunto en la parte inferior de embudo, el cual se hallará perfectamente limpio. Se vierte arena en el embudo hasta que encima del disco se forme un lecho de unos 12 mm. de espesor y se agregan después 5 a 10 ml. de agua destilada para arrastrar la arena que haya quedado adherida a las paredes y para expulsar el aire del lecho de arena, lo cual se lograinclinando convenientemente el embudo para que escape el aire.

La muestra se mezcla bien, y se miden en una probeta graduada de 250 a 1000 ml. de la misma según su contenido de microorganismos, vertiéndose lentamente en el embudo que debe conservarse en una posición inclinada, teniendo cuidado de no alterar el lecho de arena.

Se permite filtrar el agua lentamente a través de la arena, aplicando una succión moderada si fuera necesario y lavando ocasionalmente el interior del embudo con la misma agua filtrada de la muestra.

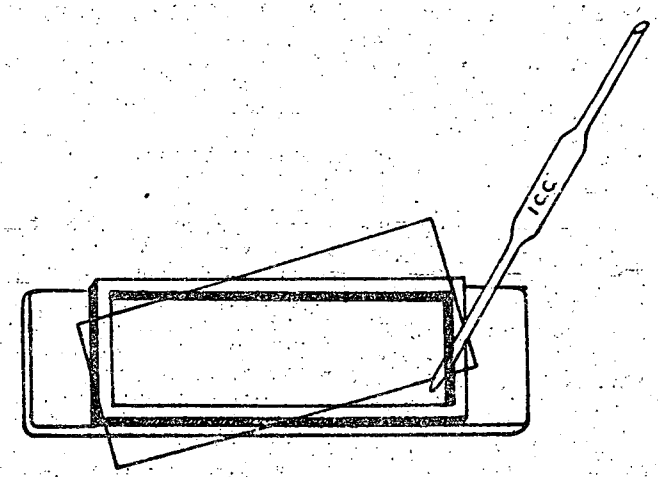
Si se concentran organismos vivos, es decir muestras no tratadas con formol, debe conservarse sin variación la temperatura del agua para evitar el efecto dañino del calor.

Cuando el agua ha alcanzado dentro del embudo el mismo nivel que en el brazo exterior del tubo en U, se desconecta la succión, si se hubiera empleado, y se separa cuidadosamente el tubo en U del tapón, con el objeto de que el agua remanente escurra a través de la arena. Una vez que aquélla raya drenado totalmente, se coloca el embudo en posición horizontal, se quita suavemente el tapón con un movimiento de torsión y, colocando el embudo dentro de un vaso de Erlenmeyer pequeño, se sitúa n[illegible]mente en posición vertical.

Generalmente se desprende el tapón de arena que cae en el vaso, se lavan las paredes del embud ocon 5 a 20 ml. de la muestra, este volumen dependiendo de la cantidad final de concentrado que se desee. El agua debe medirse con una pipeta, dejándola caer en el vaso que contiene la arena y los organismos, al cual se le imprime un suave movimiento giratorio para provocar el desprendimiento de los organismos adheridos a la arena.

Se deja sedimentar la arena más gruesa y se decanta rápidamente a otro vaso, siendo necesario un segundo lavado con 5 ml. de agua. Si se ha mezclado bien el contenido del vaso, el agua retenida por la arena tendrá la misma concentración de organismos que el agua decantada del segundo vaso.

CALIBRACION DEL MICROSCOPIO. Para permitir el examen microscópico y la numeración de los organismos sobre volúmenes y áreas conocidas se usa una celda numeradora de Sedgwick-Rafter la cual consiste en un cerco de cristal, cementado a un portaobjeto también de cristal, teniendo esta cámara o celda una profundidad de 1 mm. y un área exactamente de 20 × 50 mm., lo cual da un volumen de exactamente 1 ml. Se trabaja con un cubre objeto, preferentemente Nº 3 que es un tamaño suficiente para cubrir la cámara y el cerco.



Para limitar los campos de observación debe dotarse al microscopio de un micrómetro de Whipple, el cual se coloca en el ocular y consiste en un disco de cristal en cuyo centro hay grabado exactamente un cuadrado de 1 mm. de lado, subdividido en 100 cuadrados más pequeños, estando uno de estos cuadrados subdividid[illegible] a su vez en 25 cuadrados aún más pequeños. Esta reticula deb[illegible] usarse en un microscopio con tubo de longitud correcta, provisto de un juego óptico consistente en un objetivo de 16 mm. y un ocular 10 ×. Debe controlarse esta correspondencia con un micrómetro de campo, lográndose el ajuste necesario modificando la longitud del tubo del microscopio.

En muchos microscopios modernos la longitud del tubo es invariable, por [illegible] es necesario determinar la exacta superficie que abarca la [illegible] calculando un factor para poder convertir los resultados obtenidos en los normales correspondientes.

Si los límites exteriores de la retícula cubren exactamente 1 mm. cuadrado de superficie, cada uno de los cuadros más pequeños cubre un área de 20 × 20 micras, o sea de 400 micras cuadradas, la cual se denomina "Unidad Normal de Area" o "Unidad Standard de Area".

Si esta unidad de área tuviera, además, una profundidad de 20 micras, constituye una "Unidad Normal de Volumen" o "Unidad Standard de Volumen" o "Unidad Cúbica Normal o Standard" cuyo volumen es de **8.000 micras cúbicas.**

PREPARACION DE LA CELDA DE SEDGWICK RAFTER. Debe procurarse que la porción de la muestra concentrada que se examine sea perfectamente representativa del total, debiendo incluir el examen el suficiente número de organismos como para lograr una exactitud adecuada.

Para ello se agita suavemente la muestra concentrada y antes de que cese el movimiento producido por la agitación se mide 1 ml. de la misma y se vierte este volumen por mitades en las esquinas opuestas de la celda sobre la cual se ha colocado el cubre objeto en forma oblicua, como lo indica la figura 7.

Cuando esta operación se cumple con cuidado, al llenar la celda de Sedgwick-Rafter se desplaza el cubre automáticamente y la cierra por completo. Al cabo de 5 minutos puede procederse a la numeración, ya que en este lapso la mayor parte de los organismos se sedimentan en el fondo, mientras que algunos otros flotan, adhiriéndose al cubre objeto.

EXAMEN Y NUMERACION DE LOS ORGANISMOS. El método standard de la A.P.H.A. y A.W.W.A. define como **numeración diferencial** la cuentade algunas o todas las clases de organismos, distinguiéndolos cualitativamente, comprendiendo tal operación la identificación, numeración y registro del total de individuos de cada clase.

En cambio, como **numeración total** se define la numeración de todas las formas de plankton sin efectuar una distinción entre las diferentes clases.

Generalmente se practica la numeración diferencial, para lo cual se cumplen tres etapas que son:

a) en la primera se numeran las formas abundantes examinando un cierto número de campos standard;
b) en la segunda se examina toda una banda longitudinal de la celda para contar los organismos menos numerosos;
c) en la tercera se observa toda la celda para numrear las formas muy grandes, que se hallan en cantidad limitada.

Se aconsejan reglas generales a tener presentes mientras se procede a la numeración de los organismos:

1) No se practica, por lo general, la numeración de las bacterias.
2) Si es difícil juzgar con seguridad sobre los restos de organismos que estaban vivos o muertos antes de preservar la muestra, no se tomarán en cuenta los especímenes dudosos.
3) Si no se pueden examinar bien los objetos cercanos al límite de visión de un juego determinado de ocular y objetivo, se deberán observar bajo mayor aumento.
4) Cuando sea de interés para la interpretación final de los resultados, deben registrarse los detritus y objetos ajenos al plankton. Esto conviene grandemente en el estudio de ciertos desechos industriales.
5) Si un organismo del plankton queda sobr ela línea límite de un campo, se cuenta solamente la porción que queda en el interior, registrándola como una fracción.
6) Debe medirse la longitud de las formas filamentosas, registrándose en las unidades standard que se determinen.
7) Las formas que constituyan colonias irregulares [illegible] registrarse en las unidades de volumen que se des[illegible] seleccionando arbitrariamente un volumen que se aproxime al tamaño de la colonia media.
8) Con excepción de los casos 6) y 7), cuando sea posible deben registrarse los organismos en forma individual, a menos que formen colonias con un número relativamente constante de individuos. En este caso, se registrará el número de colonias, pero indicando el número de individuos por colonia.

En forma arbitraria, los laboratoristas han venido numerando 10 campos como norma práctica conveniente. Trabajando con muestras más concentradas y con cantidad numerosa de organismos, actualmente hay investigadores que recomiendan numerar 5 campos con los cuales se obtendría suficiente exactitud.

Para trabajos de rutina se recomienda la numeración de 10 campos standard para el estudio del plankton. En trabajos de carácter especial, el número de campos examinados deberá ser de 100.

La **numeración de bandas** consiste en contar los organismos de un tipo determinado, generalmente escasos y de tamaño muy pequeño, que se encuentran en una banda definida por la longitud total, 50 mm., de la cámara de Sedgwick-Rafter y por el ancho del campo del microscopio, aproximadamente 0,7 mm.

Para realizar esta numeración de banda se comienza por un extremo de la celda y se van anotando todos los organismos que se observan al mover la platina del microscopio.

INFORMACION DE LOS RESULTADOS. Un sistema directo y simple consiste en expresar los resultados en números de organismos de cada especie y en número total de organismos por unidad de volumen, generalmente por 1 mililitro. Este es un método práctico que es suficiente para la generalidad de los casos.

Cuando se examinan muestras repetidas de una misma agua, en la que prevalezcan los mismos tipos de plancton de modo uniforme o casi, la numeración directa puede transformarse en unidades standard de volumen, aplicando factores calculados previamente, los cuales representan el tamaño promedio de cada organismo, y transformando esos productos en unidades cúbicas normales.

En el caso de estudiarse especies filamentosas, se deben utilizar unidades previamente establecidas como patrón. Los organismos Spirogyra, Melosira, Lyngbya, etc., pueden medirse en unidades de longitud de 100 micras, o en fracciones de éstas.

Para la numeración de los organismos, generalmente se efectúa en primer lugar el conteo de campos, luego se continúa con la cuenta de bandas y con la numeración total, incluyendo los organismos que son demasiado escasos para asegurar un conteo exacto por la técnica de los campos elegidos al azar.

Para registrar la numeración son muy prácticos los formularios preparados al efecto, donde se van anotando los resultados a medida que se verifica su observación, quedando así listos para sumarlos.

La técnica más aconsejable para calcular e informar los resultados en los formularios especiales al efecto, expresándolos en número de organismos por unidad de volumen, es la siguiente:

a) Se calculan los factores necesarios para poder convertir la numeración total; la numeración de bandas y la numeración de campos a los números de organismos por litro de muestra original, **sin concentrar**, los cuales se pueden aplicar para 100 litros de la muestra, multiplicándolos por 100 o bien para 1 mililitro dividiéndolos por 1000. Los factores se calculan del modo siguiente:

b) **Numeración total.** Puede examinarse el área de una celda o

de varias. Si se examina el contenido de 1 celda, el factor es dado por la fórmula:

$$\text{factor} = \frac{\text{ml. de concentrado} \times 1.000}{\text{ml. de muestra original}}$$

c) **Numeración de bandas.** Se pueden examinar una o varias bandas de la celda. Cuando se examina 1 banda solamente, el factor será:

$$\text{factor} = \frac{\text{área de la celda}}{\text{área de la banda examinada}} \times \frac{\text{ml. de concentrado}}{\text{ml. de muestra original}} \times 1.000$$

d) **Numeración de campos.** Para este caso el factor será el siguiente:

$$\text{factor} = \frac{\text{Nº de campos de la celda}}{\text{área de la banda exam.}} \times \frac{\text{ml. de concentrado}}{\text{ml. de muestra original}} \times 1.000$$

Tema 29

DETERMINACION DEL OLOR UMBRAL Y DEL TIPO DE OLOR EN LAS AGUAS A EXAMINAR (OLOR INCIPIENTE)

IMPLEMENTOS NECESARIOS.

Cristalería desodorizada, la cual se prepara por fregado con cepillo y polvo detergente, por baños de vapor limpio o por enjuagado con mezcla sulfocrómica.

La cristalería debe limpiarse inmediatamente antes de ser usada, porque por almacenamiento puede presentar leves olores musgosos. Debe advertirse que los jabones o detergentes pueden dejar un olor persistente en la cristalería. El enjuagado final de la cristalería debe verificarse con agua inodora. Son adecuados los frascos de tapón esmerilado de boca ancha o los matraces de Erlenmeyer de boca ancha. Deben evitarse los tapones de caucho o de corcho y, si no se dispone de recipientes de tapón esmerilado pueden usarse vidrios de reloj para taparlos.

Termómetro. De 0º a 110ºc, es adecuado un termómetro de laboratorio.

Pipetas, Probetas y Frascos. Antes de cada observación deben ser cuidadosamente enjuagados con agua inodora.

Osmoscopio. Es una pieza de vidrio en forma de tubo con la extremidad superior ensanchada en forma de que sirva para cubrir las ventanas de la nariz, el cual, en caso de ser usado deberá enjuagarse cuidadosamente con agua inodora.

Agua inodora. Se prepara pasando lentamente agua corriente a través de una columna de carbón activado granulado. Es conveniente que esta agua se prepare en el momento de usarse pues de otro modo puede llegar a adquirir algún olor.

PRECAUCIONES IMPORTANTES.

Deben satisfacerse ciertas condiciones para poder obtenerse resultados lógicos, siendo necesarias cierta práctica y experiencia previas. ANTES DE LA PRUEBA EL LABORATORISTA NO DEBE FUMAR NI DEBE CONSUMIR ALIMENTOS MUY CONDIMENTADOS. El agua inodora, cuando se prepare, debe realmente encontrarse libre de todo olor perceptible y, asimismo, toda la cristalería debe encontrarse libre de olor. Todas las diluciones que se van a examinar deben hallarse a la misma temperatura (más o menos 1ºc).

Cada dilución debe compararse con un patrón inodoro, con esto se simplifica el trabajo del laboratorista, pues su misión se reduce a decidir si hay o no hay olor en una determinada dilución. Los patrones inodoros comprueban el criterio del laboratorista y reducen la necesidad de confiar en la memoria.

Las pruebas deben verificarse en locales libres de olores y no deben prolongarse hasta el punto que se canse el sentido del olfato; el período de observación debe interrumpirse con descansos frecuentes. EN AGUAS QUE SE CARACTERICEN POR SU OLOR FUERTE ES RECOMENDABLE COMENZAR CON DILUCIONES INFFRIORES AL OLOR UMBRAL.

PROCEDIMIENTO.

En un matraz de Erlenmeyer de boca ancha de 500 ml. se vierten 250 ml. de agua inodora (a) y en un matraz similar se vierten 63 ml. de la muestra en observación y 187 ml. de agua inodora, completando así un volumen de 250 ml. (c).

A partir de este punto, la prueba puede conducirse en frío o en caliente según se deseeo. La observación del olor en frío se verifica a 20º y la del olor en caliente a 58º - 60º C. Para el control de la temperatura se recomienda un baño maría. NO ES TAN IMPORTANTE LA TEMPERATURA EXACTA COMO LA UNIFORMIDAD EN LA TEMPERATURA DE LA SERIE DE MUESTRAS A EXAMINAR, recomendándose que no haya variaciones de más de 1º entre los individuos de la serie.

Se agita cada matraz y se olfatea su olor; si en el matraz (b) se aprecia un olor característico, se sigue hacia la derecha la flecha de la Secuela de Dilución y se prepara una dilución de 16 ml. de la muestra con 234 ml. de agua inodora. Si se percibe un olor en esta dilución se sigue la secuela hacia la derecha ,pero si no se percibe olor se sigue la flecha de la Secuela que marque hacia abajo.

SECUELA DE DILUCION PARA LA DETERMINACION DEL OLOR UMBRAL

Si se percibe olor se siguen las flechas hacia la derecha, pero si no se percibe olor se siguen las flechas hacia abajo:

Volumen de agua que debe diluirse a 250 ml.

63 ml.	125 ml.	31 ml.	8 ml.
250 ml.	16 ml.	4 ml.	

Volumen de muestra en ml. diluido a		Número de Olor Umbral
250 ml.		
250 ml.	no hay olor	0
Si hay olor en 250 ml.		1
" 125 ml.		2
" 63 ml.		4
" 31 ml.		8
" 16 ml.		16
" 8 ml.		32
" 4 ml.		64

Calidad del olor en frío.

En un matraz de Erlenmeyer de 500 ml. de boca ancha se agitan 250 ml. de la muestra a 20º y se olfatea con cuidado. Debe evitarse la agitación repetida o vigorosa, pues puede disiparse el olor.

Calidad del olor en caliente.

Se vierten unos 250 ml. de muestra en un matraz de Erlenmeyer de 500 ml. tapándose su boca con un vidrio de reloj. Se calienta a una temperatur aalrededor de 58º a 60º C., se agita con un movimiento rotatorio. se desliza el vidrio de reloj y se olfatea la muestra.

Expresión de los resultados.

El olor se manifiesta tanto en intensidad como en tipo.

Intensidad	Definición
0	Sin olor perceptible.
I	Olor no perceptible por el consumidor medio pero perceptible para un observador experimentado.
II	Olor perceptible para el consumidor medio, pero siempre que se le haga fijar su atención en el mismo.
III	Olor que puede percibirse con facilidad y que puede originar que se considere con desagrado.
IV	Olor que llama la atención inmediatamente y que puede producir un mal sabor en el agua.
V	Olor de tal intensidad que el agua resulta absolutamente impropia para beber. (El término se usa solamente en casos extremos).

TIPO DE OLOR

Abreviatura	Naturaleza del olor	Descripción
		Olor análogo a ...
A	Aromático	Alcanfor, clavo, espliego, limón
Ac	Pepino o cohombro	Synura
B	Balsámico	Geranio, violeta, vainilla
Bg	Geranio	Alga Asterionella
Bn	Nasturcia o mastuerzo	Alga Aphanizomenon
Bs	Dulzón	Alga Coelosphaerium
Bv	Violetas	Mallomonas
C	Químico	Desechos industriales o tratamientos químicos
Cc	A cloro	Cloro libre
Ch	Hidrocarburo	Desechos de refinerías de petróleo
Cm	Medicinal	Fenol y yodoformo
Cs	Sulfhídrico	Acido sulfhídrico
D	Desagradable	Olores pronunciadamente desagradables
Df	Ictico	Algas Uroglenopsis y Dinobryon
Dp	Zahurda	Alga Anabaena
Ds	Séptico	Aguas negras rancias
E	Terroso	Tierra húmeda
Ep	Pantanoso	Turba
G	A pasto	Pasto triturado
M	Musgoso	Paja en descomposición
Mm	Mohoso	Olor perceptible en un sótano húmedo
V	Leguminoso	Raíces leguminosas

INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS

Algunas veces es conveniente determinar tanto la calidad del olor como el olor umbral, pudiendo combinarse los resultados en estos casos.

Por ejemplo, una muestra que presente un olor apreciable, a cloro libre, y que su olor sea apenas perceptible a la cuarta dilución, se puede expresar como III Cc 4.

Es lógico advertir que no deben intercambiarse las cifras romanas y arábigas, pues IV representa una calidad de olor que llama la atención inmediatamente, mientras que un olor umbral de 4 puede no ser desagradable del todo.

NORMAS DE LOS SERVICIOS DE SALUD PUBLICA DE LOS ESTADOS UNIDOS SOBRE CALIDAD DEL AGUA POTABLE

(Extracto de las Normas promulgadas por el United State Public Health Service, Federal Security Agency, con fecha 5 de febrero de 1946)

CARACTERISTICAS FISICAS

La turbiedad del agua no debe exceder de 10 p.p.m. (escala de silice) ni el color ser superior a 20 (escala normal de cobalto). El agua no tendrá ni gusto ni olor molestos.

CARACTERISTICAS QUIMICAS

El agua no debe contener una cantidad excesiva de sustancias minerales solubles, ni de cualquiera de los compuestos químicos utilizados en el tratamiento. En condiciones normales, la evidencia adquirida mediante análisis, de que el agua satisface las normas establecidas con respecto a sus características físicas y químicas, y la simple evidencia de que es aceptable en cuanto a su olor y sabor, es suficiente para poder autorizar su empleo en lo que se refiere a sus características físicas y químicas.

La presencia de plomo (Pb) en cantidad superior a 0.1 p.p.m., de fluoruros en más de 1.5 p.p.m., de arsénico en más de 0.05 p.p.m., de selenio en más de 0.05 p.p.m., de cromo hexavalente en más de 0.05 p.p.m., constituye una base para no autorizar el suministro.

Las sales de bario, el cromo hexavalente, los glucósidos metálicos pesados y otras sustancias que produzcan efectos físico deletéreos, no deben adicionarse en el sistema de suministro con el propósito de realizar un tratamiento.

Cuando se presenten las sustancias químicas que a continuación se indican, en las aguas naturales o tratadas, es preferible que su concentración no supere la que a continuación se consigna cuando no puedan utilizarse otros suministros más convenientes a juicio de la autoridad oficial.

Cobre (Cu) no debe exceder de 3 p.p.m.
Zinc (Zn) no debe exceder de 15 p.p.m.
Hierro (Fe) y manganeso (Mn) en conjunto no deben pasar de 0,3 p.p.m.
Magnesio (Mg) no debe exceder de 125 p.p.m.
Cloro (Cl) no debe exceder de 250 p.p.m.
Sulfatos (SO^4) no debe exceder de 250 p.p.m.
Compuestos fenólicos, no deben exceder de 0,001 p.p.m., expresadas en fenol.

Sólidos totales, no deben exceder de 500 p.p.m. para las aguas de buena calidad en el aspecto químico. Sin embargo, si no hay agua disponible en estas condiciones, puede permitirse un contenido total de sólidos de 1000 p.p.m.

Para las aguas tratadas químicamente, como por ejemplo, ablandadas con cal, zeolitas u otro cambiador de iones, o por cualquier otro procedimiento, se exigirán las siguientes condiciones:

1) La alcalinidad (en $CaCO_3$) determinada por la fenolftaleína, no debe superar 15 p.p.m., más 0,4 veces la alcalinidad total. Esta condición limita el pH admisible a 10,6 aproximadamente a 25ºC.

2) La alcalinidad de carbonatos, no debe ser superior a 120 p.p.m. Como la alcalinidad de carbonatos es función de la concentración en iones hidrógeno y de la alcalinidad total, esta condición puede cumplirse llevando la alcalinidad total a los límites que a continuación se sugieren cuando el pH del agua tiene los valores que se señalan. Estos valores se aplican al agua a 25ºC.

Valores del pH	Límite total de alcalinidad (p.p.m. $CaCO_3$)
8.0 a 9.6	400
9.7	340
9.8	300
9.9	260
10.0	230
10.1	210
10.2	190
10.3	180
10.4	170
10.5 a 10.6	160

CONDICIONES BACTERIOLOGICAS

El número mínimo de muestras que deben tomarse en el sistema de distribución y han de examinarse cada mes por la oficina de información o los representantes que designe, debe basarse en la población servida como a continuación se consigna:

Población servida	Número mínimo mensual de muestras
2500 o menos	1
10000	7
25000	25
100000	100
1000000	300
2000000	390
5000000	500

De todas las fracciones usuales de 10 ml. que se examinen mensualmente, de acuerdo con el procedimiento señalado, más de un 10 % no deben mostrar la presencia de organismos del grupo coliforme.

Accidentalmente puede admitirse el que acusen la presencia de organismos del grupo coliforme 3 o más de las 5 porciones iguales de 10 ml. que constituyen una muestra normal, bien entendido que esto no será admisible si se presenta en muestras consecutivas o en más de:

a) Un 5 por 100 de las muestras normales cuando se han examinado más de 20 por mes.

b) Una muestra normal si se han examinado menos de 20 por mes. Se establece, además, que cuando se acuse la presencia de organismos del grupo coliforme en 3 o más de las 5 porciones iguales de 10 ml. que constituyen una muestra normal simple, deben tomarse inmediatamente muestras diarias en el mismo punto de toma, y examinarse hasta que los resultados obtenidos en dos muestras consecutivas, por lo menos, demuestran que el agua es de buena calidad.

Los métodos establecidos, utilizando una muestra normal compuesta de 5 porciones normales, proporcionan una estimación del número más probable de bacterias del grupo coliforme que se encuentran en una muestra que se indica en la siguiente tabla:

Número de porciones		Número más probable de bacterias coliformes por 100 ml.	
Negativo	Positivo	Para 5 porciones de 10 ml.	Para 5 porciones de 100 ml.
5	0	menos de 2.2	menos de 0.22
4	1	2.2	0.22
3	2	5.1	0.51
2	3	9.2	0.92
1	4	16.0	1.60
0	5	más de 16.0	más de 1.60

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

TRATAMIENTO PREPARATORIO.

M. en I. ARNULFO PAZ SANCHEZ.

CRIBADO.

1.- OBJETIVO.- Remoción de partículas flotantes o suspendidas para:

a).- Evitar obstrucciones en tuberías, canales y procesos de tratamiento,

b).- Atascamientos y daños al equipo mecánico,

c).- Reducir la magnitud de bancos de lodos.

d).- Disminuir la absorción de oxígeno en aguas de dilución y

e).- Interceptar materia flotante desagradable a la vista.

2.- CLASIFICACION.- Los dispositivos de cribado se dividen en:

a).- Rejillas.

b).- Cribas finas.

c).- Desmenuzadores y rejillas con dispositivos cortadores.

3.- ABERTURAS.- Las aberturas comunes en los dispositivos de cribado son como sigue:

TIPO DE CRIBA	ABERTURA mm.	CONSIDERACIONES
A.- Rejillas antes de bombas y desarenadores.	50 a 150	- - - - - - -
B.- Rejillas antes de otros -- dispositivos o procesos.	20 a 50	25 mm. es lo usual.
C.- Desmenuzadores.	6 a 20	La abertura es función de la capacidad hidráulica.
D.- Cribas Finas	2.5 a 5	No es común menos de 2.5 mm.

4.- REJILLAS.- Las rejillas se componen de barras verticales o inclinadas de sección circular, rectangular o trapecial, espaciddas a intervalos iguales y colocadas transversalmente a la dirección del escurrimiento. Se usa precediendo a estaciones de bombeo, desarenadores y tanques de sedimentación primaria y como pasos laterales de desmenuzadores.

La inclinación de las rejillas es comúnmente de 30° pero puede ser también de 1:1 hasta 1:3.

5.- ESPECIFICACIONES PARA SU INSTALACION.-

a).- Las rejillas se colocarán en un canal diseñado con una velocidad mínima que lo haga auto-limpiante, una máxima que evite el desprendimiento del material retenido. En términos generales, no menor de 0.60 m/seg. si el agua lleva arena, y 0.30 m/seg. para aguas negras prácticamente sin arena.

b).- El área sumergida de la rejilla deberá ser del 100% de la sección transversal del canal para alcantarillados separados y del 300% para alcantarillados combinados.

c).- El área neta sumergida de las rejillas no deberá ser menor de 4.2 $\frac{m^2}{m^3/seg}$ para alcantarillados separados y 6.3 para alcantarillados combinados.

d).- La pérdida de carga a través de las rejillas varía necesariamente con la cantidad y naturaleza del material retenido entre limpiezas. Para rejillas limpias se puede usar:

$$h = 0.73 \left(V^2 - v^2 \right)$$

h, es la pérdida de carga en m.

V, es la velocidad a través de las rejillas. m/seg.

v, es la velocidad antes de las rejillas. m/seg.

e).- Para compensar la pérdida de carga, el piso donde se colocan las rejillas es más bajo 8 a 15 cm. que el fondo del canal de aproximación.

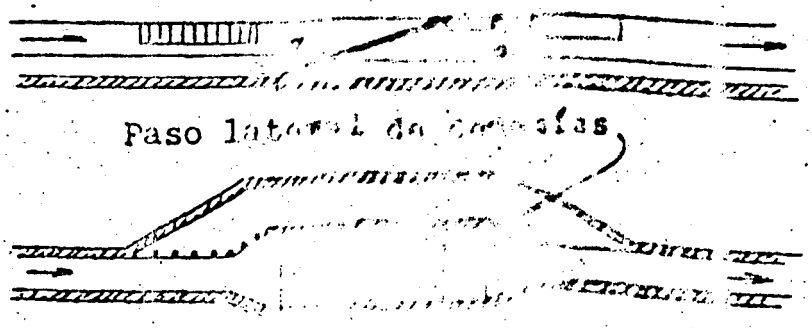


Fig. 1 Paso lateral de rejillas

REJILLA DE [illegible] CANAL.

6.- CRIBAS FINAS.- La mayor parte de estos equipos son patentados, consisten de placas de metal perforados como discos o tambores rotatorios o placas metálicas encadenadas en bandas sin fin. En la mayor parte de ellas el material retenido se limpia con cepillos y chorros de agua a presión ó con aire comprimido.

Estas cribas pueden utilizarse en lugar de una sedimentación donde no haya suficiente espacio para los tanques y donde se desee remover sólo una pequeña parte de la materia suspendida.

Su uso es relativamente restringido y se substituye ventajosamente por los sedimentadores primarios.

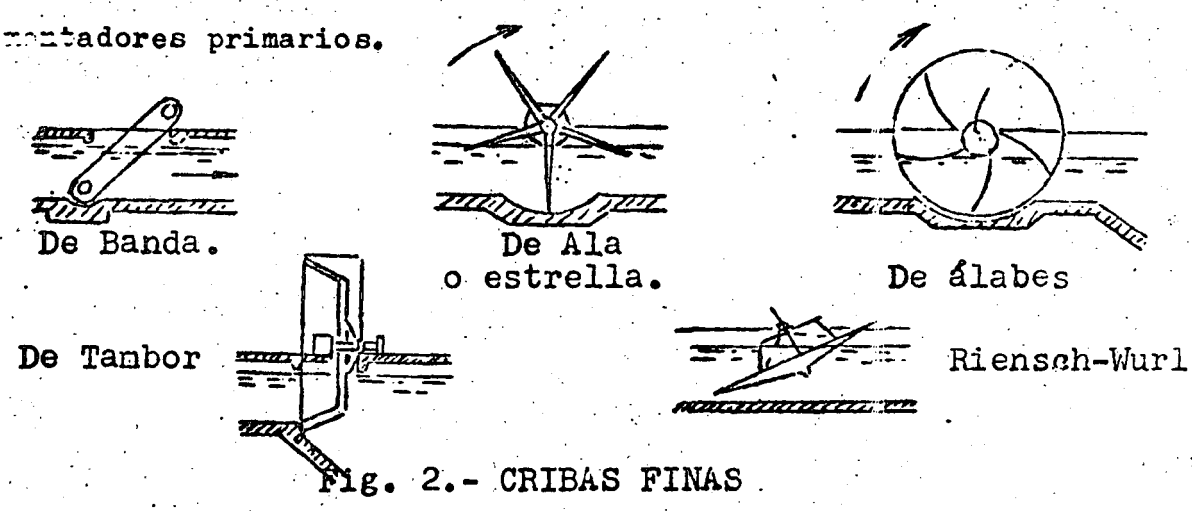


Fig. 2.- CRIBAS FINAS

7.- DESMENUZADORES.- Un desmenuzador es una criba o rejilla que tiene un mecanismo que corta el material retenido sin removerlo del escurrimiento de aguas negras. Tien la ventaja de reducir olores, moscas y condiciones desagradables a la vista comunes en el manejo del material retenido en rejillas o cribas. Otros dispositivos consisten de rejillas con limpieza mecánica, el material retenido es llevado a un molino o bomba donde es reducido y puede ser dispuesto aguas abajo o arriba de la rejilla.

8.- CLASIFICACION DE LAS REJILLAS Y CRIBAS DE ACUERDO CON LA LIMPIEZA.-

a).- Fijas.

b).- Removibles.

c).- Móviles.

La limpieza puede hacerse manual o automática dependiendo de:

a).- Naturaleza de las aguas negras.

b).- Abertura.

c).- Grado al cual la materia sólida se desmenuza en el sistema de alcantarillado.

9.- CANTIDADES DE MATERIAL RETENIDO.- Depende de los 3 factores arriba considerados. Como valores normativos se dan los indicados en la tabla de eficiencias.

10 - EFICIENCIAS.- La eficiencia de las unidades de cribado varía muchísimo, dependiendo de la composición de los desechos a ser tratados. Para aguas negras municipales se da la siguiente tabla:

TIPO DE CRIBA	ABERTURAS mm	LIMPIEZA	VOLUMEN DE MAT. RETENIDO. lt/habxaño	% APROXIMADO DE REMOCION Sol.Susp. D. B. O
Rejillas	50 a 75	Manual	Hasta 0.6	- - - - -
Rejillas	40 a 50	Manual	0.6 a 3	Hasta 2% [illegible]
Cribas finas	12 a 25	Mecánica	3 a 9	2 a 5% [illegible]

DESARENADORES.-

1.- OBJETIVO. Los desarenadores son dispositivos que sirven para remover partículas gruesas y finas de arena, grava y otras de materia mineral, inclusive semillas y material similar que no sea de origen mineral, pero que no sea putrescible y que tengan velocidades de sedimentación mayores que la de los sólidos orgánicos. Con ello se consigue:

a).- La protección del equipo mecánico móvil de abrasión y excesivo desgaste.

b).- La reducción de obstrucciones en tuberías causadas por depósitos de las partículas anteriores o lodo pesado en tuberías y canales particularmente en los cambios de dirección.

c).- La reducción en la frecuencia de limpieza para digestores y sedimentadores como resultado de una excesiva acumulación de arena.

2.- DISEÑO. Los desarenadores pueden diseñarse para escurrimiento horizontal o vertical.

A.- Desarenadores horizontales.- Se puede efectuar una separación satisfactoria de partículas de arena reduciendo la velocidad de escurrimiento aproximadamente a 30 cm/seg. Técnicamente el diseño se realiza calculando el área superficial requerida y determinando la sección transversal correspondiente a la velocidad indicada. Se deberá proporcionar una capacidad adicional abajo de esta sección que sirva de depósito a una cantidad de arena que pueda ser llevada por un día máximo. A continuación se da una tabla de cargas superficiales de diversas partículas en el agua.

VELOCIDADES DE SEDIMENTACION EN EL AGUA A 10° C. EN CM/HORA.

NATURALEZA DE LAS PARTICULAS	DIAMETRO DE LAS PARTICULAS EN MM.						
	1.0	0.5	0.2	0.1	0.05	0.01	0.005
Arena cuarzosa S = 2.65	50000	26000	8100	2400	610	30	6
Carbón S = 1.5	15200	7600	2600	760	147	8	1.4

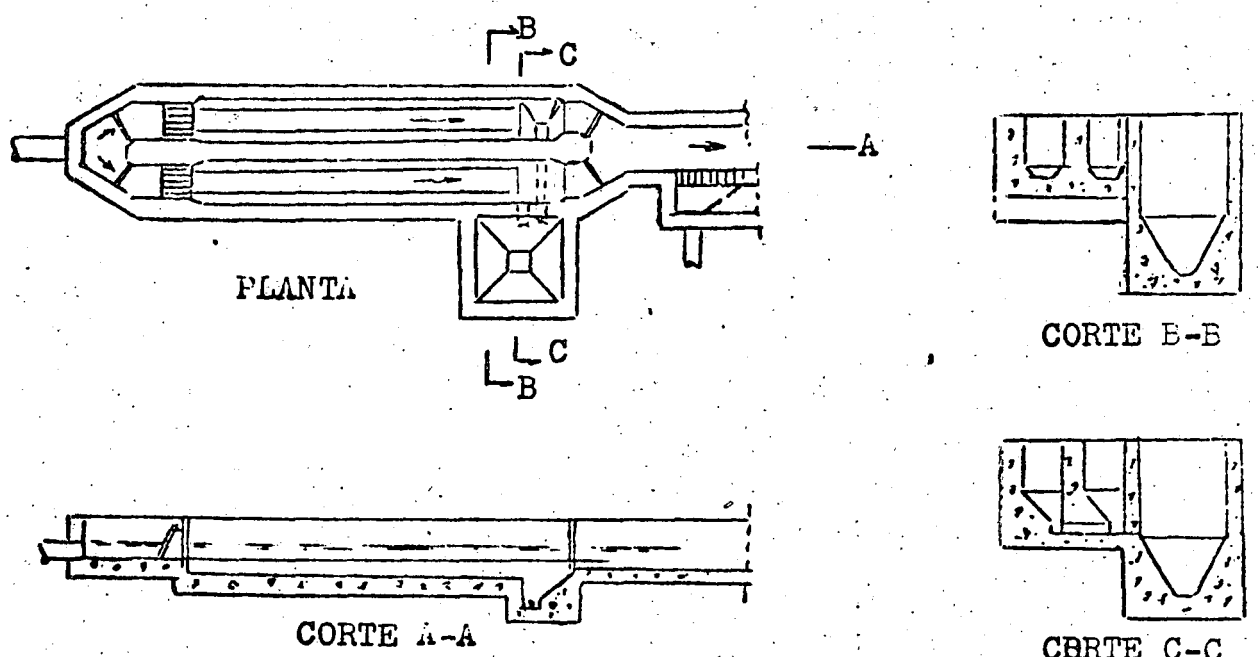
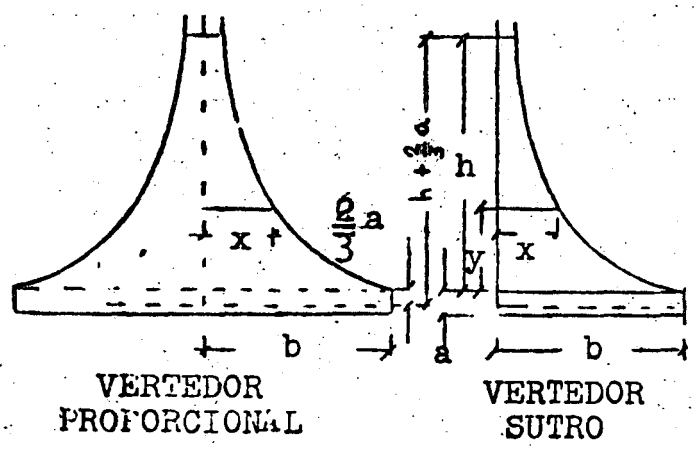


Fig. 3.- DESARENADOR ESSEN

La variación del tirante en los desarenadores puede hacer variar la velocidad de escurrimiento cambiando las condiciones de sedimentación. Para conservar constante la velocidad se utilizan dispositivos como el vertedor llamado proporcional o Sutro y los canales Venturi o Parshall y otros tipos similares.

El vertedor proporcional.- El principio básico del vertedor proporcional es que el gasto a través de él varía directamente con la carga. El gasto a través de un dispositivo de este tipo se da por la siguiente expresión:

Figura 4



$$Q = b\sqrt{2ag}\,(h+\frac{2}{3}a)$$

$$Q_1 = \frac{2}{3}\,b\sqrt{2g}\left[(h+a)^{1.5} - h^{1.5}\right]$$

$$x = b\left(1 - \frac{2}{\pi}\tan^{-1}\sqrt{\frac{y}{a}}\right)$$

En donde:

Q es la descarga total en [illegible]

Q_1 es la descarga a través de la parte rectangular, en las mismas unidades.

El vertedor proporcional no debe trabajar ahogado. Para valores de h menor de 2.5 cm., la curvatura se termina verticalmente.

B.- Desarenadores de escurrimiento vertical.- También se diseñan desarenadores de este tipo y si el área superficial es adecuada, opera satisfactoriamente. Como ventaja se puede señalar que la arena puede recolectarse en el fondo del tanque y puede ser lavada fácilmente usando aire comprimido antes de su extracción. Existen otros tipos de diseños en forma de embudos o bien de escurrimiento tangencial y el control de la velocidad puede hacerse inyectando aire en tal forma que las partículas de material orgánico ligeras se mantengan en suspensión, permitiendo la sedimentación de las partículas minerales pesadas.

3.- REMOCION DE LA ARENA.- El desarenador convencional se puede limpiar con un dren colocado en el fondo y la arena se remueve a mano, pudiéndose usar mangueras de alta presión para limpiar la arena. En plantas grandes se usa equipo mecánico de diversos tipos: cadenas, tornillos helicoidales, etc.

4.- LIMPIEZA DE LA ARENA.- Debido a que la sedimentación de estas partículas de todas formas se acompaña con pequeñas cantidades de materia orgánica, muchas veces se considera conveniente el lavado de la arena antes de su disposición final para evitar problemas de olores, moscas, etc. Los métodos de lavado pue-

se etizarse en dos:

a).- La arena se remueve de las cámaras y se lava en dispositivos especiales por medio de un escurrimiento que lave la materia orgánica. El agua de lavado se agrega al efluente del desarenador.

b).- Usando aire para mantener en suspensión la materia orgánica.

5.- CANTIDADES DE ARENA REMOVIDA.- En sistemas combinados de alcantarillado se puede esperar un monto de 4 a 13 M3. por mil personas anualmente. En sistemas separados es normalmente despreciable. Sin embargo, en algunas áreas arenosas, como zonas costeras pueden entrar cantidades apreciables de arena a las alcantarillas, hasta 4 M3. por año por mil personas.

6.- DISPOSICION FINAL DE LA ARENA.- La arena limpia se caracteriza por estar exenta de olores que normalmente resultan de la presencia de materia orgánica en descomposición. Si la arena no ha sido lavada se tendrán materia orgánica en cantidades hasta del 50% del peso de la arena y en algunos casos más, de modo que si no es satisfactoriamente dispuesta, se convertirá en lugar de proliferación de insectos y roedores así como de olores desagradables; por lo tanto, la arena debe disponerse en rellenos sanitarios o bien puede ser incinerada antes de su disposición.

REMOCION DE ACEITES Y GRASAS.- Aceites, grasas y otros materiales más ligeros que el agua, se elevan a la superficie cuando el agua se aquieta y pueden ser removidos manualmente o por un desnatador mecánico.

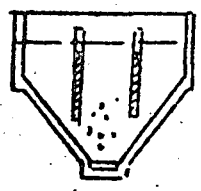
La remoción se puede aumentar y hacer que incluya algunas sustancias más pesadas que el agua introduciendo aire a las aguas negras (flotación) o aplicando un vacío en la superficie de ellas.

En general, el proceso de flotación es más usual en el tratamiento de desechos industriales salvo que las aguas negras municipales tengan cantidades considerables de grasa o aceite.

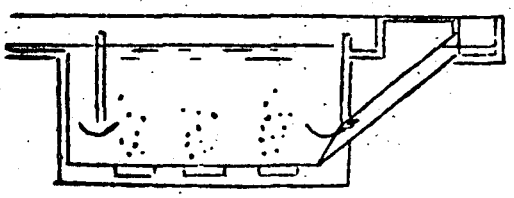
La remoción puede efectuarse en unidades independientes o bien en el mismo sedimentador primario. La ventaja del uso de tanques desnatadores con inyección de aire es la pre-aeración de las aguas negras eliminando algunos gases como el ácido sulfúrico y mejorando las condiciones de septicidad. La grasa removida de aguas negras municipales no es económico recuperarla y puede ser dispuesta en relleno sanitario, quemada o bien llevada a digestión. El volumen de grasas es muy variable, variando de 0.7 a 45 $\frac{lt}{1000\ M3}$ ó 5.6 M3. por mil personas por año.

En hoteles, hospitales y algunas industrias pueden utilizarse trampas de grasa o separadores. Es muy importante que gasolina y otros aceites ligeros no entren al alcantarillado porque pueden originar explosiones o incendios, para lo cual se dispondrán de trampas en los lugares de manejo de estos productos.

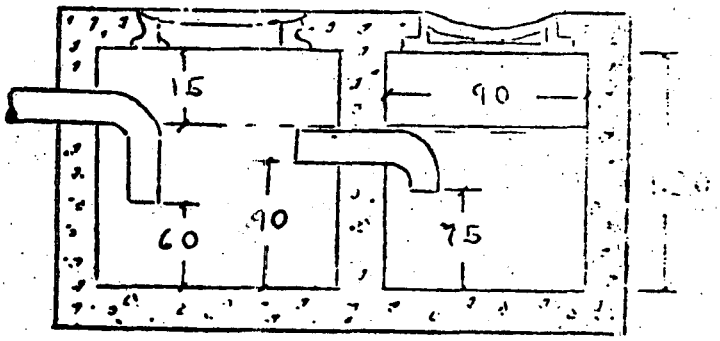
Figura 5



CORTE



DESGRASADOR POR FLOTACION.



DESARENADOR Y TRAMPA DE ACEITE PARA GARAGES.

centro de educación continua
división de estudios superiores
facultad de ingeniería, unam

TRATAMIENTO PREPARATORIO

OPERACION

M. en I. ARNULFO PAZ SANCHEZ

TRATAMIENTO PREPARATORIO

OPERACION.

1.- RECOMENDACION INICIAL.

El trabajo en las facilidades del tratamiento preparatorio requiere precauciones para evitar enfermedades tipicas de transmisión por el agua, como paratifoideas, tifoidea o disenteria, por la frecuencia con la que el operador está en contacto con bombas, rejillas, desmenuzadores, desarenadores y herramientas que se emplean para su operación y mantenimiento. Ello requiere que todos los operadores observen estrictas medidas de higiene personal, principalmente en manos y uñas, cuidandose de lavarlas perfectamente antes de comer o fumar. Un jabón neutro es suficiente, sin embargo, pueden usarse soluciones antisépticas complementarias:

Es recomendable, aunque no obligatoria la vacuna contra tifoidea y tétanos. Se recomienda usar ropa especial durante las horas de trabajo, la cual deberá lavarse separada del resto de la ropa familiar, así como guantes durante la remoción de residuos y "arena".

2.- REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL.

Estas rejillas requieren atención frecuente. A medida que se retiene el material, se obstruye el canal de llegada, originando elevación del tirante aguas arriba, lo que causa sedimentación de materia orgánica, reducción de oxígeno disuelto y condiciones sépticas que pueden producir ácido sulfhidrico, corrosivo, al concreto, metales y pintura.

La limpieza poco frecuente, origina durante su ejecución, descargas subitas de aguas negras sépticas que producen "cargas de choque" INCIDIENDO EN BAJAS EFICIENCIAS.

La limpieza se hace con rastrillos, se deben extremar precauciones durante esta operación para evitar resbalones.

3.- REJILLAS DE LIMPIEZA MECANICA.

Las recomendaciones se canalizarán al mantenimiento preventivo de los equipos y a la inspección contínua, durante la operación para retirar manualmente algunos desechos que el equipo no puede remover. Para hacer esto, se debe primero desconectar la energía, debe tenerse presente que los equipos de movimiento lento son especialmente peligrosos, porque su apariencia no lo indica, sin embargo pueden triturar obstrucciones duras.

4.- REJILLAS DE LIMPIEZA HIDRAULICA.

Las rejillas de limpieza hidráulica, del tipo de la "HYDRASIEVE", requieren un mínimo de atención y la operación se concentrará en inspecciones para remover manualmente material retenido.

5.- DISPOSICION DEL MATERIAL RETENIDO.

El material removido de las rejillas es muy ofensivo y peligroso, produce olores desagradables y atrae ratas y moscas.

Hay tres formas de disposición:

a).- Relleno sanitario

b).- Incineración

c) Desmenuzado o molido.

a).- En el relleno sanitario se debe considerar una capa mínima de 15 cm., de tierra, colocada inmediatamente.

El relleno final debe ser de espesor suficiente para evitar que las moscas entren por grietas causadas por el asentamiento. En plantas pequeñas los operadores pueden ingeniarse para fabricar dispositivos que permitan prensar el material removido para extraer el agua antes de su disposición.

b).- No se recomienda por el costo del combustible.

c).- La práctica de desmenuzar o moler el material, no es aconsejable, ya que aumenta la carga en los procesos subsecuentes.

6.- DESMENUZADORES.-

La operación de desmenuzadores se orientará principalmente al mantenimiento preventivo de motores y partes mecánicas, según señale el manual respectivo. El cambio de dientes y cuchillas cortantes debe hacerse rutinariamente, de acuerdo con las características particulares de cada equipo, la inspección contínua será indispensable para remover manualmente piezas de madera, plástico y hule. Algunos equipos tienen una trampa para piedras y pedazos de metal que deben retirarse periódicamente.

En algunos desmenuzadores hay sellos de mercurio para mantener libre de agua a los baleros. Se hace una especial llamada de atención al peligro que representa el manejo de mercurio.

Este metal es venenoso. La inhalación de vapores puede ser fatal o causar la pérdida del pelo y dientes. Se recomienda trabajar en lugares muy ventilados, usar charolas grandes para evitar que se derrame, no usar anillos de oro y lavarse muy bien después de su manejo.

7.- DESARENADORES.

El termino "arena", en agua negra, incluye material mineral con densidades altas, del orden de 1.5 a 3, compuesto normalmente por constituyentes granulares: arena, vidrio, cascarones, semillas, cenizas, etc. que puede causar excesivo desgaste en las bombas y atascamientos en tuberías y digestores, por lo que su remoción es necesaria.

Esto puede hacerse de varias maneras, siendo la más común por sedimentación diferencial, pasando el agua negra a través de un canal a una velocidad tal, que permita la separación del material mineral de alta densidad y sea capaz de transportar el material orgánico más ligero. Su valor es del orden de 20 a 40 cm/seg., utilizándose comúnmente 30 cm/seg.

Como el gasto durante el día es variable, se tienen diferentes tirantes que producirían diferentes velocidades, por lo que deben instalarse reguladores de velocidad. Estos son generalmente de dos tipos:

a).- Proporcionales o Sutro, con descarga libre.

b).- Canales Parshall, diseñados para descarga libre, o con sumersión que permiten ahorro de carga hidráulica.

En los diseños recientes de desarenadores se trata de dar una forma parabólica o ajustada a ella, a base de una sección trapecial abajo y una rectangular arriba, teniendo una muesca rectangular como regulador de velocidad.

Un operador puede revisar la velocidad del agua en el desarenador utilizando un procedimiento simple a base de medir el tiempo que tarda una pelota o un pedazo de madera en cruzar el canal.

La velocidad en m/seg., será igual al largo del canal en metros, dividido entre el tiempo tardado en segundos.

Aparte de una buena velocidad en el desarenador, no deben existir espacios muertos (sitios en donde no corre el agua) debido a que en ellos se deposita materia orgánica que causará problemas de olores. Esto puede evitarse colocando deflectores. Vease Figura

La operación principal de un desarenador es la remoción del material sedimentado.

Cuando la operación es manual, deben tomarse precauciones especiales de higiene. La remoción se efectúa generalmente en condiciones de olores desagradables, sobre todo cuando no se realiza inmediatamente que se cambia de canal.

Deben usarse botas y guantes y la remoción se hace usando palas. Una vez extraída la arena, los canales deben lavarse con agua limpia utilizando una manguera.

Cuando la limpieza es mecánica, la operación y mantenimiento debe concretarse al buen funcionamiento de los equipos.

En virtud de que la separación de materia orgánica de la mi - neral, que se desea sedimentar, no se consigue en los desare- nadores, se han diseñado unidades con aire que mantiene sus - pendida la materia orgánica permitiendo además, un lavado de la mineral. La extracción de "arena" se hace generalmente - por medios mecánicos. En este caso hay mantenimiento de so - pladores de aire y transportadores de cadena (Tipo REDLER) - o cangilones.

En los sistemas sin aire pueden existir las facilidades para lavar la arena. Esto se hace indispensable si el material se va a usar en rellenos.

La cantidad de arena que se espera manejar en una planta es - muy variable y depende de condiciones particulares. Normal - mente se pueden esperar de 8 a 30 lt., por cada 1000 m^3 en al cantarillados separados y de 30 a 115 lt., por cada 1000 m^3 - en los combinados.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (DEL 4 AL 22 DE SEPTIEMBRE DE 1978)

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
1. FERNANDO ALONZO AVILA LUNA Calz. de la Viga 1418-403-B Col. El Sifón México 13, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Ignacio Ramírez No. 20-2o. Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-35-80-50
2. AGUSTIN ARELLANO SANTIBAÑEZ Vértiz No. 1329-8 Col. Narvarte México 7, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
3. URISTEL AREVALO AREVALO Córdova No. 234 Col. Roma México 7, D. F. Tel: 5-84-59-37	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
4. TIRSO AVENDAÑO ORTIZ Texcoco No. 251-2 Col. Clavería México 17, D. F.	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Ignacio Ramírez No. 20-4o. Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-66-35-71
5. ING. HECTOR M. CARDENAS FARIAS Guerrero No. 379-C-212 Tlatelolco México 3, D. F. Tel: 5-83-88-11	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Ignacio Ramírez No. 20-2o. Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-35-80-50
6. ENRIQUE CONTRERAS MOLINA Ceverino Ceniceros No. 17 Col. Gabriel Hernández México 14, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
7. JORGE A. DIAZ HERNANDEZ Calle 9 No. 53 Netzahualcoyotl Edo. de México	OFNA. PLANTAS DE TRAT. (D.G.C.O.H.) DEPARTAMENTO DEL DISTRITO FEDERAL San Antonio Abad No. 231 - 7o. Piso Col. Obrera México 8, D. F. Tel: 5-78-32-18

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
8. EDUARDO DIAZ PACHECO Ejército de Ote. 4a. Secc. Manz. 21 Módulo 2G Iztapalapa México 13, D. F. Tel: 7-89-58-48	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
9. ING. ROBERTO ESPINOZA FELIX Av. Coyoacán 1028-401 Col. del Valle México 12, D. F. Tel: 5-59-58-94	SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS Ignacio Ramírez No. 20-4o. Piso Col. San Rafael México 4, D. F. Tel: 5-66-35-71
10. JOSE REFUGIO ESPINOZA REYNA Av. 611 No. 88 Unidad Aragón México 14, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO - SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
11. ROSENDO CARLOS FLORES TORRES Av. 513 No. 88-C Unidad Aragón México, D. F.	INSTITUTO DE INGENIERIA-UNAM Ciudad Universitaria México 20, D. F. Tel: 5-50-52-15 Ext. 3601
12. CARLOS GARCIA SALGADO José Justo Alvarez No. 55-B Const. de la Rep. México 14, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
13. LUIS LUNA CIGALES Vicente Guerrero No. 89 Col. Santa Clara Edo. de México	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
14. JULIO ALBERTO MENDOZA Circular de Morelia 2 Depto. 3 Col. Roma México 7, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
15. ING. BERTHA LETICIA NAVARRO GINTHER Circuito Circunvalación Pte. No. 137-A Cd. Satélite Edo. de México	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-60-66

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
16. SERGIO PEREZ ALMARAZ Salomón González Blanco Manz. 9 Lote 3 Col. Adolfo López Mateos México 9, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO - SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-65-44-44
17. ERNESTO PRECIADO DE MENDOZA Calle No. 13 No. 177 Col. Prohogar México 15, D. F. Tel: 5-56-50-68	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
18. MIGUEL ANGEL ROSAS BURGESS Calle Red. Edificio 24 Int. 10 La Patera México 14, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
19. FRANCISCO SALDAÑA MENESES Nextengo No. 81 Santa Cruz Acayucan México 16, D. F.	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
20. ALFREDO SANCHEZ ANGULO Edificio 30 502-B Unidad Lindavista Vallejo México 14, D. F. Tel: 5-87-15-48	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
21. GERARDO SANCHEZ MURATALLA Alicia No. 125 Int. 4 Guadalupe Tepeyac México 14, D. F. Tel: 5-17-39-84	COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO-SARH Balderas No. 55 México 1, D. F. Tel: 5-85-50-66
22. JOSE ANGEL LUNA OTERO Plazuela de los Reyes No. 50 Los Reyes Coyoacán México 21, D. F.	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA-D.D.F. San Antonio Abad No. 231-7o. Piso México 8, D. F.

NOMBRE Y DIRECCION	EMPRESA Y DIRECCION
23. JUAN MIGUEL RODRIGUEZ OLAGUE Ramos Millán Manz. 136 Lote 8 Ampliación Miguel Hidalgo Tlalpan, D. F.	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA-D.D.F. San Antonio Abad No. 231 Col. Obrera México 8, D. F. Tel: 5-78-32-18
24. RAMIRO VILLAGOMEZ TENORIO Privada de los Mendoza No. 25 Huipulco Tlalpan México 22, D. F.	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICAS D.D.F. San Antonio Abad No. 231-7o. Piso Col. Obrera México 8, D. F. Tel: 5-78-32-18
25. ARTURO R. ZARATE HERNANDEZ Tuxpan 45 Col. Roma Sur México 7, D. F.	DIRECCION GENERAL DE CONSTRUCCION Y OPERACION HIDRAULICA-D.D.F. San Antonio Abad 231-7o. Piso Col. Obrera México, D. F. Tel: 5-78-32-18