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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS POTABILIZADORAS

REVISION DE LOS PRINCIPIOS DE HIDRAULICA

ING. FRANCISCO SUZAN COLOMBRES

Noviembre, 1978.

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

RESUMEN

Es nuestra intención en este tema repasar aquellos principios fundamentales en los cuales se basa la medición de los caudales, clasificarlos según los criterios más modernos, así como explicar de manera somera las características principales de algunos dispositivos de aforo que más se utilizan en abastecimiento de agua, desde los más simples y conocidos, hasta los últimos y modernos instrumentos desarrollados por la técnica mundial en esta materia.

No es el objetivo en este curso de fluoruración -ni el tiempo asignado a este tema lo posibilita- el extendernos en la descripción de todos los medidores de flujo, los cuales son muy numerosos en la actualidad, sino solamente, como hemos dicho anteriormente, centrar nuestra atención en algunos de los dispositivos que más se utilizan en la práctica de abastecimiento de agua.

INTRODUCCION

El trabajo que a continuación se expone constituye uno de los temas desarrollados en el "Curso sobre fluoruración de abastecimientos de agua potable" que se celebró en La Habana, en Marzo de 1970.

Por tratarse de la aplicación de principios fundamentales de Mecánica de los Fluidos para la determinación de los gastos o caudales de éstos a través de distintos instrumentos de aforo, entendemos como válida y procedente su publicación en estos momentos.

BREVE RESEÑA HISTORICA SOBRE MEDICION DE CAUDALES.

La medición del flujo es posiblemente el arte más antiguo en la Ciencia de la instrumentación y su historia se extiende hasta las famosas obras hidráulicas y de ingeniería pública de los romanos.

Desde entonces, una larga lista de nombres científicos ilustres se han asociado a la Hidráulica y la Mecánica de los Fluidos. Nombres como los de Arquímedes, Da Vinci, Galilei, Torricelli, Pascal, Euler, Bernoulli, Stokes, Reynolds, Prandtl, Von Karmán y Nikuradse por citar solamente algunos, han pasado a la historia por sus estudios y contribuciones a la solución de los complejos problemas que encierra el flujo de los fluidos.

A lo largo de este cuadro general de desarrollo es de destacar los impresionantes avances logrados en los últimos treinta años en la instrumentación y técnica de la medición del flujo.

Junto a los ya conocidos instrumentos de aforo: vertedores, orificios, canales Venturi y Parshall han surgido como ejemplos notables del progreso hecho en esta rama de la Ingeniería, el tubo de Dall, los medidores de flujo electromagnético y de flujo- masa, los medidores de control automático y de flujo ultrasónico, etc.

ASPECTOS GENERALES Y CLASIFICACION.

Todos los medidores de fluído están constituídos por dos partes fundamentales, que llamaremos:

1. Elemento primario
2. Elemento secundario

Cada uno de estos elementos tiene que realizar funciones diferentes.

El elemento primario está en contacto con el fluído, originándose alguna forma de interacción entre ambos. Esta interacción puede ser la comunicación de movimiento al elemento primario, la aceleración del fluído o puede ser un intercambio de calor.

El elemento secundario transforma la interacción entre el fluído y el elemento primario en volúmenes, pesos o gastos y recoge el resultado.

Por ejemplo, en un metro Venturi (ver fig. I) el cuerpo del medidor junto con la parte adyacente de la tubería y las conexiones de presión, constituye el elemento primario, mientras el elemento secundario consiste en un manómetro diferencial junto con alguna clase de mecanismo para transformar la diferencia de presión en un gasto e indicar el resultado, en algunos casos también esto se registra gráfica y acumulativamente con respecto al tiempo.

La misma clase de combinación se cumplirá en otros tipos de metros.

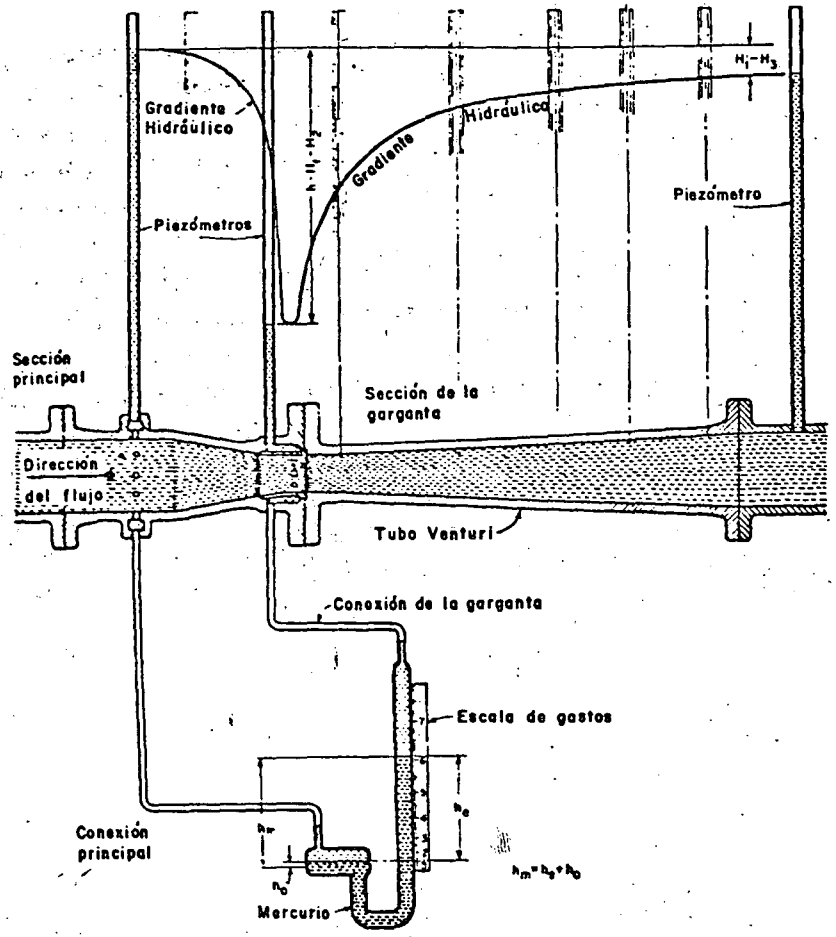


Fig. I - Sección típica de un tubo Venturi

Los dispositivos secundarios, como es obvio, pueden ser variados casi indefinidamente, pero los elementos primarios dependen para su operación de unos pocos principios físicos sencillos. Por lo tanto, los medidores de flujo pueden clasificarse mejor con respecto solamente a la naturaleza del elemento primario o a los principios físicos que intervienen en su funcionamiento, y este enfoque es el que adoptaremos.

Un estudio de la literatura sobre este tema, nos muestra que distintos escritores han usado diferentes principios de clasificación de los medidores de fluídos y que la terminología adoptada ha sido usada muy ligeramente algunas veces.

Por ejemplo, los términos "positivo", "total", "flujo parcial" y "proporcional" han sido usados ambigua o inconsistentemente. Por consiguiente, se ha tratado de adoptar una clasificación, que deberá ser tan clara y lógica como práctica.

De acuerdo con el "ASME Research Committee on Fluid Meters", los medidores de fluídos pueden ser divididos en dos grupos funcionales que son:

1. Medidores de cantidad (peso o volumen)
2. Medidores de gasto o caudal.

Como su nombre lo indica, el primer grupo mide fundamentalmente cantidades; el segundo mide fundamentalmente gastos:

Los medidores que estudiaremos en este curso pertenecen al grupo dos.

A continuación reproducimos la clasificación de los medidores de fluido y métodos de medición de la ASME.

DIVISION	CLASE	TIPO
Medidores de cantidad (Metros contadores)	De peso Volumétricos	Balanzas Trampas basculadoras
	Líquidos	Tanque Pistón reciprocante Pistón rotatorio Disco nutante Paletas deslizantes y rotatorias Impelente de lóbulo y de engrane (rotatorios)
	Gases	Fuelle De tambor sellado con líquido
Medidores de Gasto	Carga (Cinéticos)	Venturi Tobera Tobera-Venturi Orificio en plancha delgada de: borde recto Concéntrico Excéntrico Segmentado Compuerta o área variable Centrífugos: Codo de radio largo De caja espiral de turbina Tubo de Pitot (Tubo de impacto): Tubo de Pitot Estático Pitot Venturi De resistencia lineal o friccional: Tubo Capilar Tapón poroso
	Carga constante y Area	Calibrador: De flujo De flujo crítico
	Area (Geométrico)	De flujo compuerta De cono y flotador De cilindro ranurado y pistón
	Carga-Area	Vertedores Canales
	Fuerza: Conducto abierto	Péndulo hidrométrico Paleta
	Conducto cerrado	Metros de flujo de Momentum
	De velocidad: Conducto abierto o cerrado	De copas (Anemómetros) De propela

DIVISION	CLASE	TIPO
	Conducto Cerrado	Tipo Turbina
	Térmicos:	
	Conducto abierto o cerrado	De alambre caliente
	Conducto cerrado	De calor total
	Métodos Especiales:	
	Conducto abierto o cerrado	De mezclas Salimétricos Electromagnético
	Conducto cerrado	De presión - tiempo De velocidad sónica

DEFINICIONES

Pasaremos ahora a definir un poco más en detalle los medidores de cantidad y de gasto, así como las clases de metros que estudiaremos.

División No. 1. Medidores de Cantidad.

El término "cantidad" es usado aquí para designar aquellos medidores a través de cuyo elemento primario el fluido pasa en cantidades sucesivas y más o menos separadas, ya sean de pesos o volúmenes, en llenados y vaciados alternos de recipientes de capacidades conocidas.

El elemento secundario de un medidor de cantidad consiste en un contador con escalas graduadas adecuadamente, para registrar la cantidad total que ha pasado a través del metro.

División No. 2. Medidores de gasto.

El término "gasto" es usado como el antónimo de cantidad. Se aplica a todo medidor a través del cual el fluido no pasa en cantidades separadas, sino en corrientes continuas. El movimiento de esta corriente fluída circulando a través del elemento primario es utilizado directa o indirectamente para mover el elemento secundario.

En los medidores de gasto, el funcionamiento del elemento primario depende de alguna otra propiedad del fluido, además de la masa o volumen.

Esta propiedad puede ser la energía cinética (metros de carga), la inercia (metros de gases), el calor específico (metros térmicos), etc.

El elemento secundario diseñado para utilizar un cambio en la propiedad o propiedades es excitado para obtener una indicación del gasto y usualmente se une a algún dispositivo que traza los resultados necesarios automáticamente, de tal manera que el observador pueda leer el resultado a partir de un dial o diagrama (ver Figs. II y III). En algunos casos, el elemento secundario indica o registra presiones, ya sean estáticas o diferenciales, por lo que el gasto debe obtenerse por cálculo.

En otros casos, el elemento secundario no solamente indica el gasto, sino que lo integra con respecto al tiempo y registra la cantidad total que ha pasado a través del metro.

En algunos casos las indicaciones y registros del elemento secundario son transmitidos a un punto algo distante del elemento primario.

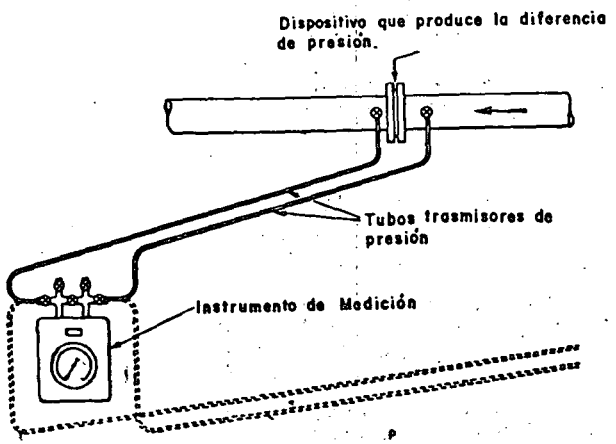


Fig. II - Elemento secundario con instrumento de medición situado por debajo y a distancia del elemento primario.

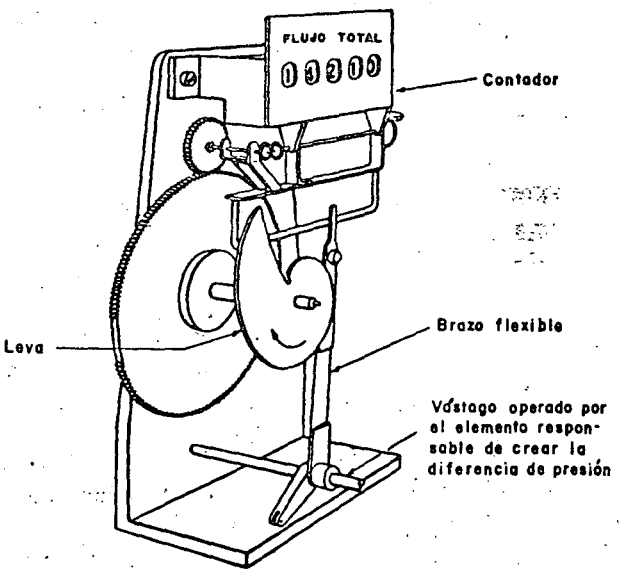


Fig. III- Mecanismo de integración de tipo intermitente.

Clases de medidores que estudiaremos.

Medidores de Carga. Son aquéllos en los cuales la corriente del fluido crea una diferencia de presión o una carga diferencial, a través del elemento primario, esta carga depende de la velocidad y densidad del fluido.

El tubo Venturi, la tobera y el orificio son dispositivos primarios en los cuales se toma la presión estática en dos puntos pertenecientes a dos secciones transversales distintas y, por consiguiente, de diferentes velocidades lineales.

En los tipos de metros citados anteriormente, el elemento secundario del metro, debe incluir, primero que todo, un manómetro de presión diferencial o dos manómetros separados a partir de los cuales puede obtenerse la diferencia de presión. Puede incluir también un mecanismo para transformar la diferencia de presión en gasto de acuerdo a la fórmula conocida del elemento primario, así como adicionar un mecanismo para integrar el flujo total dado.

Medidores de Carga - Área.

Los vertedores y canales se aplican solamente a conducciones libres y en ellos se produce una variación simultánea de carga y área. El elemento secundario es accionado por el cambio en altura de la superficie libre del líquido.

Métodos especiales.

En esta clase, son agrupados varios métodos de medición de gasto que son usados raras veces en la práctica rutinaria comercial de mediciones de flujo, pero son muy usados a menudo en ensayos que implican el flujo de fluidos y su medición.

PRINCIPIOS SOBRE LA MEDICION DE CAUDALES.

La teoría de los medidores de gasto se basa en la consideración del régimen permanente, en el cual las características del fluído, es decir, su densidad, presión, velocidad y temperatura en cualquier punto de una sección transversal del flujo permanecen constantes con respecto al tiempo. Una consecuencia de lo anterior es la constancia del gasto.

En la inmensa mayoría de los casos de interés práctico, el flujo es turbulento, lo cual implica un movimiento caótico de las partículas, intercambio de momentum entre las mismas, etc.

Es evidente que la aplicación de los conceptos de régimen estrictamente permanente y turbulento a un flujo dado simultáneamente no son congruentes, no obstante, si el gasto es sensiblemente constante, podemos considerar los valores medios temporales de la velocidad, presión, etc. y de esta manera generalizamos el concepto de régimen permanente haciéndolo compatible con el de flujo turbulento.

Como en nuestro caso se trata de la medición de un líquido, el agua, podemos considerar perfectamente el fluído como incompresible, o lo que es lo mismo, admitir que su peso específico es constante.

La medición de caudales se basa en dos principios básicos fundamentales aplicados al fluído incompresible en régimen permanente, los cuales son:

1. El teorema de Bernoulli, caso particular de la ecuación general de energía.
2. Ecuación de continuidad, la cual no es más que un caso especial de la ley física general de la conservación de la materia.

Inicialmente, estos principios se aplican al fluído ideal (no viscoso) incompresible en régimen permanente, obteniéndose con ello ecuaciones teóricas. Después mediante experimentación, se determinan los efectos combinados de la viscosidad, no uniformidad en la distribución de velocidades, etc.

La ecuación teórica inicial afectada por un coeficiente adecuado nos permitirá determinar el gasto real que circula a través del medidor.

Los principios anteriores serán aplicados en el estudio específico de algunos de los tipos de medidores que trataremos a continuación.

TIPOS DE MEDIDORES.

Metro Venturi.

Comenzaremos por tratar uno de los medidores más utilizados en la medición de caudales: El metro Venturi correspondiente a la clase metros de carga.

Como hemos mencionado anteriormente, el fluido fluye a través del elemento primario de un medidor de gasto en forma de una corriente continua.

El metro Venturi es en sí el elemento primario básico, constituyendo el elemento secundario el manómetro diferencial conjuntamente con la escala de gastos, tal como lo podemos apreciar en la figura I.

El principio básico fundamental de operación del metro o tubo Venturi, *al igual que de la generalidad de los me*

tros de carga es que al pasar el fluido por el elemento primario, se produce una marcada diferencia de presión estática.

Esto se debe al hecho conocido de que un incremento de velocidad va acompañado por una disminución de la presión. El aumento de velocidad se obtiene al disminuir el área de la sección transversal del flujo.

Este cambio de presión estática es necesario medirlo.

Las consideraciones teóricas usadas como base para el cálculo del gasto a partir de las presiones observadas, son las mismas para todos los metros de carga. Hipótesis similares son hechas también en el desarrollo de las ecuaciones de trabajo.

Debido a lo anterior, solamente deducimos la ecuación del gasto del metro Venturi, ya que dicho análisis es igual en los restantes metros de carga, tales como el metro orificio, el metro tobera, el tubo de Dall, los orificios excéntricos y segmentados, el metro tobera-Venturi, etc.

De estos últimos veremos algunos cualitativamente.

Descripción del instrumento.

El metro Venturi consiste esencialmente en tres partes: la primera, convergente, con el ángulo de convergencia de 19º a 23º y que tiene como finalidad aumentar la velocidad del fluido y disminuir temporalmente su presión estática; la segunda, cilíndrica, que se conoce con el nombre de garganta del metro y tiene una longitud igual a su diámetro interior; y la tercera, divergente, con un ángulo de divergencia entre 5º y 15º que se conoce con el nombre de difusor y tiene como objeto recuperar la velocidad primitiva con la menor pérdida de carga posible.

Tanto en la entrada del metro como en la garganta, existen conexiones para la determinación de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta.

Las proporciones de los metros Venturi usados para aforo de líquidos y gases son aproximadamente las mismas que las adoptadas originalmente en 1887 por su inventor, Clemens

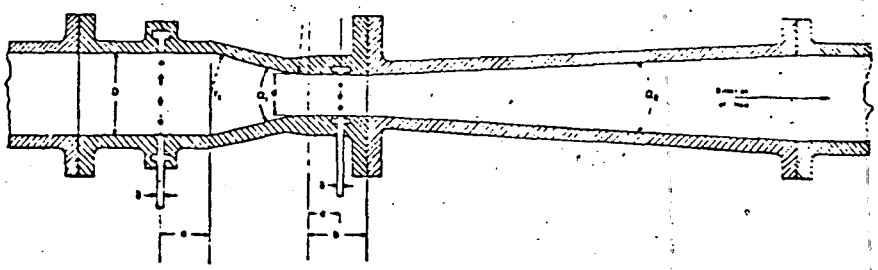
Herschel (en la figura IV se muestran las proporciones que recomienda el Comité para Medida del Flujo de la "Organización Internacional para Normalización" de metros Venturi de diseño Herschel. (Ver figura IV). Comenzando en el plato aguas arriba, la primera porción del metro es una continuación del diámetro interior de la tubería, si bien está terminada a máquina o ha sido fundida por inyección de modo que su interior quede liso y su diámetro interior pueda ser determinado con precisión. La presión estática del fluido en esta porción puede ser obtenida a través de un cierto número de barrenos a espaciamientos iguales en la periferia de la sección, los cuales desembocan en la cámara piezométrica de la cual se obtiene la presión por medio de una conexión a un manómetro.

Después de esta porción cilíndrica, sigue el cono de entrada, el cual tiene un ángulo de convergencia de aproximadamente 21º. La parte cilíndrica y la parte cónica se unen por una superficie curva (ver fig. IV) -Radio r_1. El cono de entrada conduce a la garganta del metro, la cual está terminada a máquina y en la cual existe también una cámara piezométrica de donde se puede obtener la presión estática de la garganta. La transición del cono de entrada a la garganta es también una superficie curva (ver fig. IV) Radio r_2 para evitar la resistencia causada por la arista y también para evitar la posibilidad de que el fluido pueda alejarse de la pared de la garganta a altas velocidades y que por lo tanto, el fluido no llene la garganta completamente. El diámetro de la garganta está usualmente entre 1/3 y 3/4 del diámetro de la tubería y en sus inmediaciones existe generalmente una junta o un registro que permiten la inspección de las condiciones de la garganta y facilitan la medida del diámetro de la garganta.

El extremo de la garganta desemboca en el cono de salida o difusor, el cual tiene un ángulo de divergencia entre 5º y 15º. Este cono termina en un plato para la conexión del metro a la tubería.

Los metros Venturi pequeños por ejemplo, para tuberías menores de 2" se fabrican generalmente de latón o bronce y están terminados a máquina en su interior para re-

ducir mínimo la resistencia. Los metros Venturi mayores, se fabrican generalmente de hierro fundido, con la garganta revestida de latón, bronce o acero níquel y terminada a máquina. Los metros Venturi muy grandes, hasta por ejemplo - 20', se construyen casi completamente de hormigón armado, teniendo solamente la garganta revestida de hierro laminado.



D = Diámetro de la tubería de entrada y de salida
d = Diámetro de la garganta
a = 0.25 D a 0.75 D para 4" ≤ D ≤ 6", 0.25D a 0.50 D para 6" < D ≤ 32"
b = d
c = d/2
δ = 3/16" a 1/2" de acuerdo a D. Mínimo de 4 tomas
r2 = 3.5d a 3.75d
r1 = 0 a 1.375d
α1 = 21° ± 2°
α2 = 5° a 15°

Fig. IV - DIMENSIONES RECOMENDADAS PARA METROS VENTURI DE DISEÑO HERSCHEL.

Variaciones de diseño.

Pequeñas variaciones de las proporciones dadas en la Fig. IV, pueden o no afectar apreciablemente las mediciones. Por ejemplo, pequeños cambios en el cono de entrada del valor de 21° tendrán pequeña influencia en el coeficiente de - descarga; sin embargo, es esencial que la transición entre el cono de entrada y la garganta sea una superficie curva.

El ángulo del cono difusor NO tiene influencia en el coeficiente de descarga, el cual no se afecta aun si se elimina el cono difusor. El ángulo original del difusor (5° a 7°) se utilizó porque produce la resistencia mínima a las - velocidades usuales y a la relación tubería-garganta generalmente utilizada. Si en la operación de un metro Venturi, - se puede permitir una pérdida de carga grande, el cono difusor puede ser omitido ($\alpha 2 = 180°$), y las características - de pérdida de carga para ese metro, serán similares a las - de un metro Tobera. Sin embargo, cuando el ángulo del difusor excede de 15°, el flujo no es uniforme, y se hace difícil la lectura precisa de los manómetros.

Generalmente, las modificaciones que se hacen a los metros Venturi tienden principalmente a disminuir la longitud del metro sin aumentar grandemente la pérdida de carga. Entre estas modificaciones se encuentran el metro Tobera-Venturi, el Orificio-Venturi y el Pitot-Venturi.

Rasante piezométrica y pérdida total en un metro Venturi.

Tal como se indica en la Fig. I, la presión estática a lo largo de un metro Venturi decrece rápidamente de un - máximo a la entrada (H_1) a un mínimo en la garganta (H_2), - después de lo cual aumenta rápidamente al principio y suavemente después hasta que se alcanza un segundo máximo (H_3) - cerca de la unión entre el difusor y la tubería.

Este segundo máximo es menor que el de la entrada - - aproximadamente del 10% al 20% de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta. O sea, si llamamos $h = H_1 - H_2$, y $hf = H_1 - H_3$, tendremos:

$$0.10h < hf < 0.20h$$

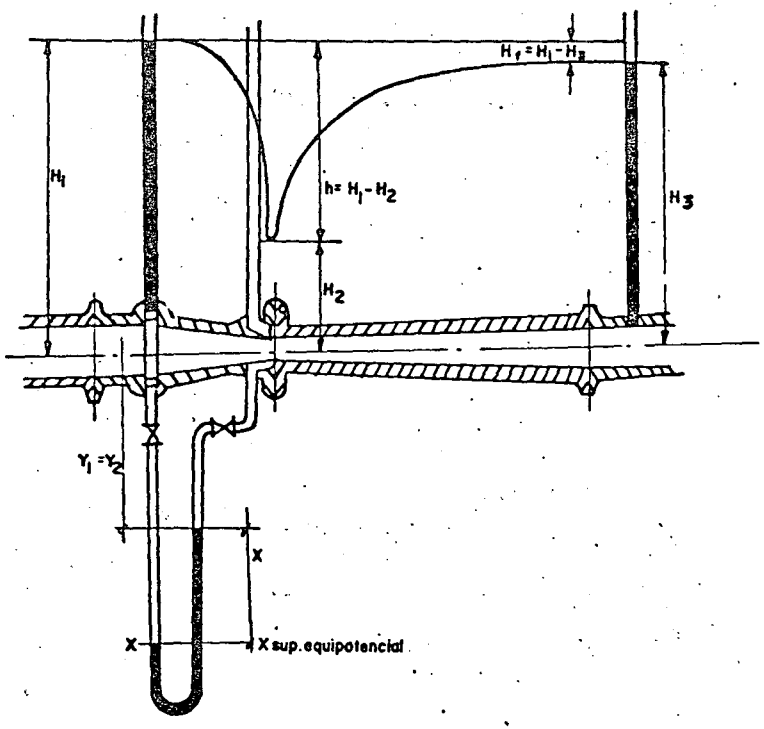


Fig. V.- VARIACION DE LA RASANTE PIEZOMETRICA A LO LARGO DE UN METRO VENTURI.

Podemos decir que entre el 80% y el 90% de la diferencia de presión entre la entrada y la garganta del metro, se restablece en el difusor. Como se indicó previamente, la función del difusor es desacelerar la corriente de fluído uniformemente y con la mínima turbulencia de manera que la diferencia de presión entre la entrada y la salida sea mínima. Sin embargo, es imposible conseguir que sean iguales, y el por ciento de pérdida de carga disminuye cuando la velocidad de la corriente aumenta y también cuando la relación entre los diámetros de la garganta y la tubería

$\beta = \frac{d}{D}$ aumenta.

A continuación deduciremos la ecuación teórica del gasto para fluidos incompresibles del metro Venturi (a partir de la Fig. V), basándonos en el Teorema de Bernoulli y la ecuación de continuidad.

Aplicando el Teorema de Bernoulli entre las secciones 1 y 2 y no considerando las pérdidas por fricción, resulta:

$$\frac{U_1^2}{2g} + Z_1 + \frac{p_1}{W} = \frac{U_2^2}{2g} + Z_2 + \frac{p_1^2}{W}$$

Si la tubería en que está instalado el metro es horizontal, $Z_1 = Z_2$ y por tanto:

$$\frac{U_2^2}{2g} - \frac{U_1^2}{2g} = \frac{p_1}{W} - \frac{p_2}{W}$$

$$U_2^2 - U_1^1 = 2g\left(\frac{p_1}{W} - \frac{p_2}{W}\right)$$

Multiplicando y dividiendo el primer término por U_2^2, resulta:

$$U_2^2\left[1 - \frac{U_1^2}{U_2^2}\right] = 2g\left(\frac{p_1}{W} - \frac{p_2}{W}\right) \qquad (1)$$

Además, por la ecuación de continuidad $A_1U_1 = A_2U_2$, o sea:

$$\frac{U_1^2}{U_2^2} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2$$

donde $A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$

y $A_1 = \frac{\pi D^2}{4}$

BIBLIOTECA DE LAS DIVISIONES DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS
JUL 9 1976
DIVISIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

Por tanto:

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{\frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{d^2}{D^2}$$

Si llamamos β a la relación $\frac{d}{D}$, tendremos:

$$\frac{A_2}{A_1} = \beta^2 \; ; \quad \left(\frac{A_2}{A_1}\right) = \beta^4$$

Luego:

$$\frac{U_1^2}{U_2^2} = \beta^4 \qquad (2)$$

Sustituyendo el valor de (2) en (1):

$$U_2^2 \; (1 - \beta^4) = 2g \left(\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W}\right)$$

$$U_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2g\left(\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W}\right)}$$

Por lo tanto, el gasto teórico a través de la sección será:

$$Qi = A_2 \; U_2 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2g\left(\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W}\right)} \qquad (3)$$

Ahora bien, la diferencia de carga $\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W}$ se puede expresar en función de la diferencia de alturas entre las ramas del manómetro diferencial.

Trazando una superficie equipotencial X - X en el manómetro diferencial, tendremos:

$$P_1 + y_1 W + XW = P2 + y_2 W + XsW$$

pero

$$y_1 = y_2, \text{ luego } y_1 W = y_2 W$$

$$P1 - P2 = XsW - XW$$

Dividiendo toda la expresión entre W, resulta:

$$\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W} = X \quad (s - 1)$$

Si la diferencia de nivel entre las ramas del manómetro diferencial se mide en pulgadas; la diferencia de carga en pies estará dada por:

$$\frac{P_1}{W} - \frac{P_2}{W} = \frac{X}{12} \cdot (s - 1) \qquad (4)$$

Sustituyendo el valor hallado en (4) en la ecuación (3), resulta:

$$Q_1 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2g \; \frac{(s - 1)}{12}} \cdot \sqrt{X}$$

Además, para un metro dado y un líquido manométrico determinado, los términos de la expresión anterior son constantes, con la excepción de X.

Si hacemos:

$$K_1 = \frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \cdot \sqrt{2g \; \frac{(s - 1)}{12}}$$

Resultará:

$Q_1 = K_1 \cdot \sqrt{X}$, o sea, que el gasto teórico o ideal de un metro Venturi es proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia de carga entre la entrada y la garganta. De la expresión anterior podemos afirmar que el gráfico aritmético de Q_1 vs X es una parábola con vértice en el origen de coordenadas.

Coeficiente de descarga.

El gasto efectivo o real a través del metro es rara vez igual al gasto obtenido por medio de las ecuaciones teóricas. Esto es debido a los efectos de la turbulencia, variación de velocidad y transferencia de calor. En general, el gasto efectivo es menor que el gasto obtenido teóricamente. De aquí que para obtener el gasto real a partir de las

ecuaciones teóricas, se tenga que introducir un factor, llamado coeficiente de descarga (C) y el cual está definido por la ecuación:

$$C = \frac{\text{gasto efectivo}}{\text{gasto ideal}} \quad \therefore \quad C = \frac{Q_e}{Q_i}$$

Luego el gasto real Q_e estará dado por:

$$Q_e = CQ_i = CK_i \cdot \sqrt{X}$$

De experimentos realizados se ha demostrado que el coeficiente de descarga C, varía con el número de Reynolds.

La ecuación obtenida para el gasto real o efectivo que pasa a través de un metro Venturi:

$$Q_e = \frac{C\,A^2}{\sqrt{1-\beta^4}} \cdot \sqrt{2g\,\frac{(s-1)}{12}} \cdot \sqrt{X}$$

es igual a la que se obtendría si aplicáramos los principios de Bernoulli y continuidad a los metros orificio, tobera, tobera Venturi, etc., con la excepción que los coeficientes de descarga serían diferentes.

Ventajas y desventajas del metro Venturi.

Ventajas.

Se recomienda cuando:

a) El flujo a medir tiene grandes cantidades de sólidos suspendidos.

b) Se requiere una exactitud máxima en la medición de fluidos altamente viscosos.

c) Se desee una pequeña pérdida de carga.

Usualmente, la última ventaja no es suficiente para decidirse en favor del metro Venturi.

Desventajas.

Su costo inicial es alto y otros medidores tienen características de recuperación de la presión similares o mayores. La pérdida de presión del metro Venturi es alrededor de un 12%, existiendo algunos tipos de medidores cuya pérdida es menor que ésta.

Metro Tobera-Venturi.

Con el avance de la técnica se han propuesto y utilizado con alguna extensión varias modificaciones del tubo Venturi convencional, todas con el objetivo principal de acortar la longitud del tubo sin un aumento considerable de la pérdida de carga total.

No obstante lo anterior, los contornos generales del Venturi original han permanecido inalterables.

Una combinación de los metros Venturi y Tobera ha dado origen al METRO TOBERA - VENTURI, cuyo esquema aparece a continuación.

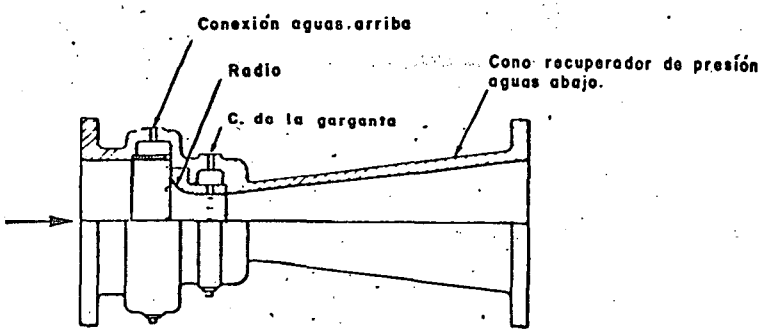


Fig. VI - Metro Tobera - Venturi

En este caso, la entrada es corta y curveada como la de un metro Tobera. La sección de salida puede ser mucho más corta que la del metro-Venturi convencional y ligeramente curveada, de modo que semeje una campana alargada.

Aunque este medidor no tiene la misma eficiencia de pérdidas bajas como un metro Venturi, ya que usualmente pierde menos de un 20% de su presión aguas arriba, su costo es considerablemente menor que el del Venturi.

Tubo de Dall.

Una modificación reciente del Venturi convencional la constituye el denominado Tubo de Dall (ver Fig. VII), el cual fue desarrollado con el objeto de permitir la medición del flujo con la misma precisión que el metro Venturi, pero con una pérdida de presión sustancialmente menor que cualquier otro metro de carga conocido (alrededor de un 5%).

Consiste en un cuerpo cilíndrico corto con platillo, diseñado con una disminución abrupta del diámetro, seguido por una restricción cónica y una salida divergente. El área reducida en el cono de entrada conjuntamente con el diseño de la ranura anular de la garganta, induce una diferencia de presión apreciablemente mayor que la obtenida con los metros Venturi o Tobera de dimensiones similares.

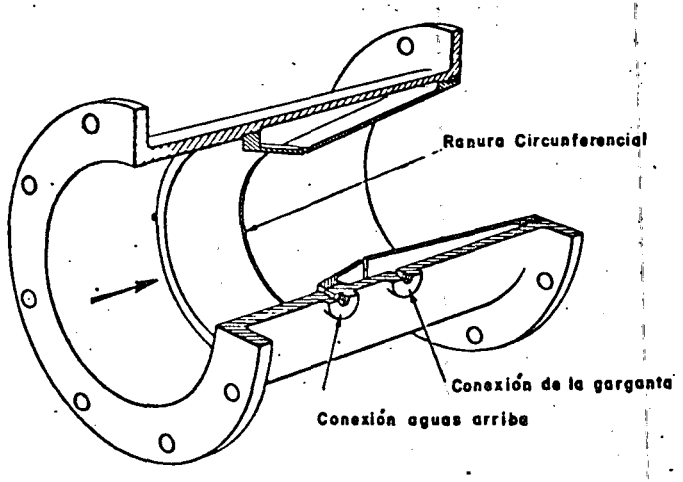


Fig. VII - Tubo de Dall

De un análisis preliminar del tubo de Dall pudiera parecer que los cambios abruptos del contorno no pueden conducir a pequeñas pérdidas de presión, pero en la práctica y por las siguientes razones, lo exactamente inverso es lo que ocurre.

El teorema convencional de Bernoulli se aplica cuando las líneas de corriente son paralelas a las paredes del tubo a través del cual el fluido circula, en los puntos de medición de la presión; utilizando una longitud de garganta paralela, la forma convencional del Venturi es diseñada para asegurar esta condición.

Como se muestra en la figura anterior, en el tubo de Dall esta longitud de garganta paralela es sustituida por una ranura circunferencial formada entre los diámetros más pequeños de dos conos, los cuales forman un ángulo considerable, midiéndose la más baja de las dos presiones en esta ranura.

El efecto del cambio abrupto en el contorno del flujo provoca una curvatura considerable de las líneas de corriente de la ranura, adicionándose por tanto una carga por "curvatura de las líneas de corriente" a la carga diferencial producida de acuerdo con la ecuación de Bernoulli. Es decir, la presión en la garganta es disminuida en una cantidad apreciable y el coeficiente de descarga, por tanto, es mucho menor que la unidad.

Además, la reducción abrupta en diámetro en el punto donde la presión aguas arriba es medida, resulta en un aumento local de la presión, la cual a su vez aumenta la presión diferencial producida por este dispositivo.

A pesar del cambio abrupto en la dirección de las líneas de corriente en la ranura, no hay separación del chorro de las paredes del tubo y consecuentemente no se producirán remolinos o pertubaciones. La eliminación de las pérdidas por remolino y la reducción en la fricción producto de las cortas longitudes de los conos, traen como consecuencia una alta recuperación de la energía.

Aproximadamente, la longitud total de un Tubo de Dall es igual al doble de su diámetro aguas arriba.

Debido a la naturaleza no complicada del contorno del tubo de Dall, en los tamaños más grandes estos elementos primarios pueden ser fabricados fácilmente de acero dúctil, por ejemplo, para mediciones de aire a baja presión.

El tubo de Dall es mucho más corto, más ligero y más barato que un Venturi.

Orificios.

Dentro de la clase metros de carga, finalmente estudiaremos los Medidores o metros Orificios (ver Fig. VIII).- El orificio es posiblemente uno de los más antiguos dispositivos utilizados para medir o regular el flujo de los fluídos. La historia nos muestra que los romanos del tiempo de César utilizaron el orificio para medir el agua que se distribuía a las casas. En años más recientes, el orificio de plancha delgada o de aristas vivas ha sido usado comúnmente para medir la descarga de los fluídos desde un tanque grande a otro o al aire libre. Solamente a partir de las últimas 5 décadas ha sido sistemáticamente estudiado su comportamiento como un dispositivo para la medición del flujo de los fluidos en las tuberías.

Orificios concéntricos.

En su forma más simple y conocida el orificio es simplemente un hueco circular practicado en una plancha lisa delgada (los platos delgados son llamados de "Tipo Fino", su espesor varía de 1/16" a 1/8" para orificios de hasta 10"), la cual, es insertada entre los platillos de una junta en la tubería de tal manera que su plano sea perpendicular al eje de la tubería y el hueco sea concéntrico con la misma.- Algunas veces se usan planchas de mayor espesor llamadas de "Tipo Grueso" (espesor que se usa en orificios de diámetro mayor de 10"), entonces el hueco de la plancha es redondeado sobre el lado de la salida para dejar solamente un borde delgado, mientras la cara de entrada del plato permanece lisa con un ángulo de 90º en el borde del hueco.

Los orificios son provistos algunas veces con un hueco pequeño adicional cuya función es permitir el paso de condensados y gases. Cuando el fluido es un líquido como en nuestro caso, el hueco adicional está situado por encima del orificio, de modo que los gases puedan pasar y no puedan formarse bolsas de dicho fluído.

El uso de tal agujero es considerado frecuentemente una desventaja debido a que puede producir errores en la medición.

Las conexiones de presión que van unidas a un manómetro diferencial o a manómetros abiertos separados, están situadas en huecos laterales construidos en la pared de la tubería sobre ambos lados del platillo o construidos en éste, de tal manera que la diferencia de presión entre ambos lados del orificio pueda medirse.

Como ya sabemos, esta diferencia de presión o carga diferencial es utilizada para determinar el gasto.

Orificios excéntricos y segmentados.

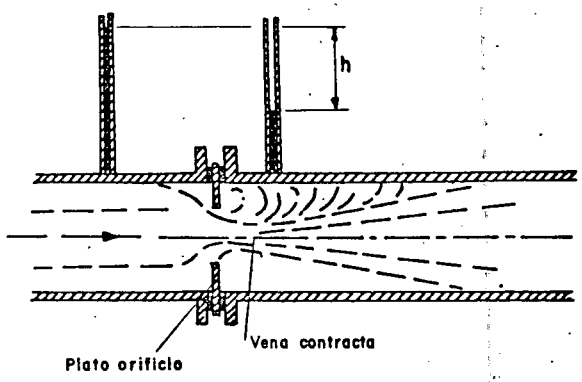
Un orificio excéntrico circular se construye e instala de modo que su centro no coincida con el eje de la tubería. Generalmente, la excentricidad es tal, que un lado de la abertura circular se encuentra a ras con la pared interior de la tubería. Si es líquido, el orificio es tangente a la superficie superior de la tubería, ocurriendo lo contrario, si es gas el fluido circulante.

En los orificios segmentados, la forma del área restringida es un segmento de círculo de aproximadamente el mismo diámetro que la tubería.

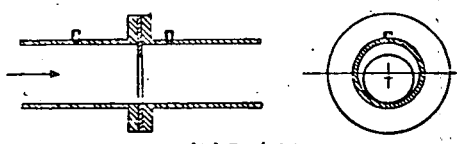
El orificio segmentado es instalado con el segmento sobre el lado opuesto de la tubería donde se encuentran las conexiones de presión.

Las razones para utilizar las formas especiales de orificios anteriores son las siguientes:

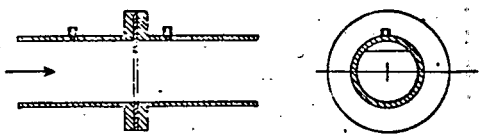
a) El plano de la vena contracta es desplazado a una mayor distancia en dirección aguas abajo que en el caso de un orificio circular concéntrico de la misma área. Esto es ventajoso en aquellos casos de platillos altos que pueden limitar la distancia disponible entre las conexiones de baja presión y la plancha del orificio.



(a) Concéntrico



(b) Excéntrico



(c) Segmentado

Fig. VIII - Orificios

b) El colocar un lado del orificio circular excéntrico o segmentado a nivel con la superficie inferior de la tubería trae como consecuencia un buen drenaje de aquellos sólidos que pueda contener el líquido circulante, teniendo encuenta que éste no sea muy viscoso o abrasivo.

Al utilizar una de estas formas especiales de orificios se está disminuyendo el peligro de que tales materias afecten la precisión del metro.

De los metros que hemos visto hasta ahora, es el menos caro en costo inicial, pero puede convertirse en el más caro en cuanto a operación, debido a su alta pérdida de carga, la cual puede ser de un 60 a un 80% de la diferencia de presión producida por el orificio.

Una de las razones para utilizar el orificio como un elemento primario excelente en la medición del flujo, es la gran abundancia de datos que sobre el mismo existe, los cuales pueden encontrarse en cualquier libro de Hidráulica.

Antes de pasar a estudiar los medidores de carga-área, entendemos que es conveniente establecer un parangón sobre el importante aspecto de las pérdidas de carga entre los medidores de carga analizados anteriormente.

PERDIDA DE CARGA TOTAL.

Cuando se selecciona un medidor puede ser necesario no solamente medir la diferencia de presión en el metro a partir de la cual puede deducirse el gasto, sino conocer también la pérdida de carga total a través del mismo. Esta información puede tener una importancia especial si el líquido es bombeado antes de llegar al metro y es que permite determinar la energía adicional requerida por el líquido, la cual debe ser suministrada por la bomba para vencer las pérdidas en el metro.

Entre los factores que influyen en el valor de la pérdida total tenemos:

a) El tipo de metro

b) La relación de áreas, $\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$

c) Y el ángulo de divergencia del difusor (α); si la relación $\left(\frac{\text{pérdida de carga total}}{\text{diferencia de presión}}\right)$, es aceptada como una medida de la pérdida de carga total, podemos formarnos una impresión de su valor a partir de la siguiente tabla.

Tipo de metro	Pérdida de Carga Total / Diferencia de presión
Venturi.	0.10
Venturi corto. . . .	0.12
Venturi de doble garganta.	0.15
Tubo de Dall.	0.08
Orificio.	0.50

Como podemos observar, el tubo de Dall es el metro donde se producen las menores pérdidas de carga, siendo en el orificio donde las pérdidas alcanzan su máximo valor, como es lógico suponer, dada la geometría interior del mismo.

A continuación presentamos un gráfico (Fig. IX) que nos relaciona la pérdida de presión en % de la máxima diferencia de presión con la relación:

$\beta = \frac{\text{Diámetro de la garganta}}{\text{Diámetro de la tubería}}$, donde podemos precisar con más detalle la influencia de la relación de áreas $\frac{A_2}{A_1}$, (tubería y garganta) en el valor de las pérdidas de carga para distintos metros.

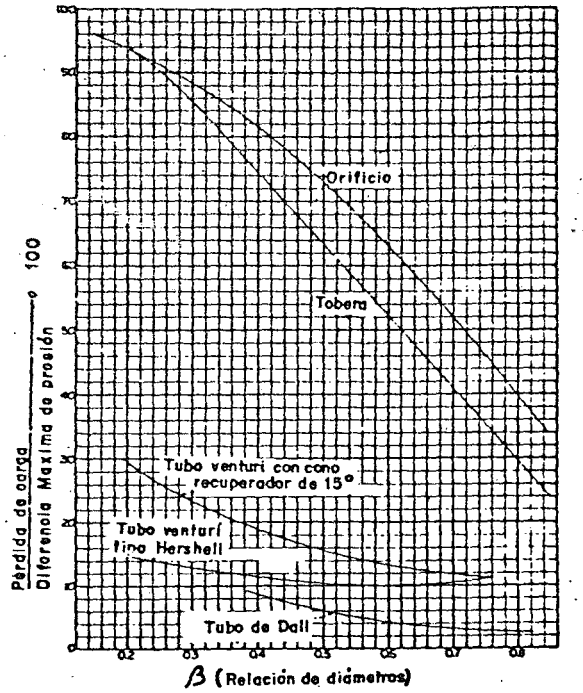


Fig. IX.- PERDIDA DE PRESION TOTAL A TRAVES DE VARIOS ELEMENTOS PRIMARIOS.

Peligros de cavitación.

Aun cuando hasta aquí nada se ha dicho acerca de la presión absoluta en el sistema de medición (nuestra atención ha sido dedicada a diferencias de presión), si la misma en cualquier punto del sistema cae demasiado bajo, el peligro de cavitación aumentará y con él sus consecuencias negativas.

METROS DE CARGA-AREA.

Aspectos Generales. En estos metros, tanto el área de la corriente como la carga, son variables, pero no independientes, siendo el área una función de la carga. Se distinguen de otras clases de medidores de gasto, en que ellos son usados en conducciones abiertas o en conductos cerrados donde exista una superficie libre. Consecuentemente son aplicables a la medición de líquidos solamente. Ejemplos de este tipo de medidor son el vertedor, el cual es en realidad un dique sobre el que circula el líquido y el canal -

Ventu: el cual es una sección formada en un canal de pendiente muy pequeña.

Estos medidores son usados casi exclusivamente para la medición de caudales de agua, aunque se han usado vertedores pequeños para la medición de otros líquidos.

Vertedores.

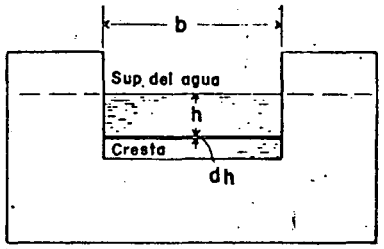
Los vertedores de pared delgada pueden clasificarse en cuatro grupos principales, de acuerdo a la forma del corte o abertura, como sigue:

a) Corte rectangular (la forma original) (ver fig. X).

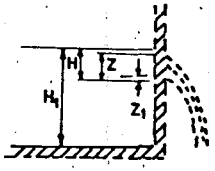
b) Corte triangular, el cual está destinado a aumentar las lecturas de carga a bajos gastos (ver fig. XI).

c) Corte circular.

d) Cortes especiales, tales como el trapecial, el parabólico, etc., los cuales tienen como objetivo principal tener un coeficiente de gasto constante u obtener una variación directamente proporcional entre la carga y el gasto.



(a)
Elementos del flujo sobre un vertedor rectangular.



(b)
Contracciones verticales del flujo sobre un vertedor.

Fig. X

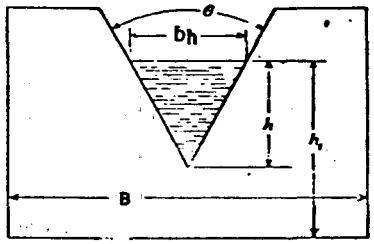


Fig.- XI. Vertedor triangular

Determinación del gasto a través de un vertedor de corte rectangular.

Con referencia a la fig. X, podemos plantear que la velocidad teórica de un filamento o capa de corriente (V) que circula sobre la cresta del vertedor es $V = \sqrt{2gh}$ donde (h) es la distancia vertical desde la superficie al filamento considerado.

La expresión anterior puede obtenerse si aplicamos el conocido principio de Bernoulli entre un punto aguas arriba del vertedor y un punto sobre la cresta.

El elemento de gasto (dq) a través de un área (dA) será:

$$dq = V\, d\, A \qquad (1)$$

$$dQ = \sqrt{2gh}\; bdh \qquad (2)$$

Integrando la expresión anterior entre los límites,

$h = 0$ y $h = H$ tendremos:

$$Q_t = \int_0^H \sqrt{2g}\; b\, h^{\frac{1}{2}}\; dh$$

$$Q_t = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, b \;.\; H^{3/2} \qquad (3)$$

Ecuación que nos determina el gasto teórico a través de un vertedor rectangular de pared delgada.

Para obtener la ecuación real del gasto o caudal, tendremos que introducir en las ecuaciones teóricas anteriores las correcciones necesarias, las cuales deben tener en cuenta:

a) Las contracciones verticales, superior e inferior
b) Las contracciones laterales
c) Convergencia de las líneas de corriente
d) Efecto de la velocidad de aproximación y su distribución no uniforme.

Debido a los factores anteriores el gasto real o efectivo es menor que el teórico, de modo que:

$$Qr = \frac{2}{3}\ Cb\ \sqrt{2g}\ H^{3/2} \quad (4); \text{ por lo tanto, } C = \frac{Qr}{Qt}$$

En el caso de vertedores con contracción (aquéllos en que el ancho del canal de aproximación B, es mayor que la longitud de la cresta del vertedor, b, (véase fig. XII), es práctica común asumir que el efecto de las contracciones laterales es equivalente a reducir la longitud del vertedor en 0.1 H por cada contracción. Es evidente entonces que en un vertedor con contracción, la longitud efectiva será igual a (b -0.2 H).

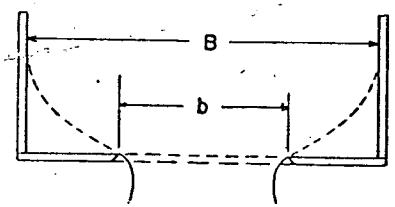


Fig. XII. VERTEDOR CON CONTRACCIONES LATERALES

Sustituyendo en la ecuación (4) el valor anterior, tendremos:

$$Qr = \frac{2}{3}\ C(b-0.2\ H)\sqrt{2g}\ H^{3/2} \qquad (5)$$

El valor del coeficiente C que aparece en las ecuaciones del gasto real a través de los vertedores con y sin contracciones laterales, puede obtenerse a partir del siguiente gráfico (fig. XIII). Este coeficiente puede sustituirse tanto en la ecuación (4) como en la (5).

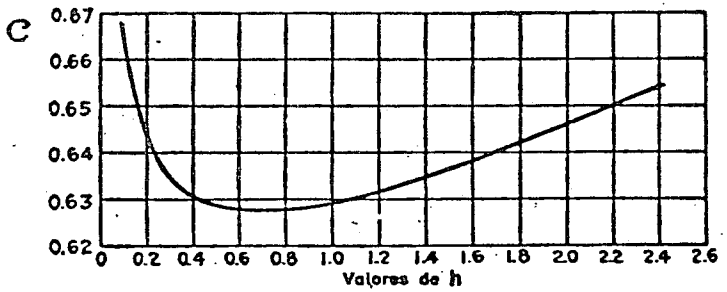


Fig. XIII.- VALORES DEL COEFICIENTE C PARA CANALES RECTANGULARES SIN CONTRACCIONES LATERALES.

Los valores de C obtenidos del gráfico anterior, están sujetos a una tolerancia de ± 3% del máximo valor, debido fundamentalmente, entre otras causas, a las siguientes:

a) La rugosidad relativa de la cara aguas arriba del plato del vertedor y de las superficies de los lados y fondo del canal de aproximación;

b) el filo relativo del borde aguas arriba de la cresta del vertedor y el ancho del umbral del vertedor;

c) la velocidad de aproximación, representada por la relación $\frac{H}{H_1}$, (ver fig. X) y en vertedores con contracciones laterales;

d) la relación $\frac{b}{B}$ (ver fig. XII);

e) la longitud del canal de aproximación;

f) la estabilidad del flujo.

Al aumentar el gasto, aumenta la velocidad de aproximación y la misma afecta tanto al coeficiente C como a la carga H.

Debido a lo anterior, la carga total H_t será mayor que la carga observada H y su valor estará dado por:

$$H_t = H + h_v$$

donde $h_v = \frac{Va^2}{2g}$ (carga debida a la velocidad de aproximación).

Como no conocemos el gasto, la determinación de la carga total se convierte en un problema de aproximaciones sucesivas.

El proceso para su determinación es el siguiente:

1. Con el valor de la carga observada, H, se calcula un gasto, Q.

2. Dividiendo este gasto entre el área del canal de aproximación BH_1, obtendremos un primer valor para Va, el cual nos permite calcular $h_v = \frac{Va^2}{2g}$ y así obtener un valor para la carga total

$$H_t = H + h_v.$$

3. Lógicamente, este valor H_t no es el correcto, por lo que se calcula otro Q con el valor hallado de la carga total y repetimos el proceso anterior.

Normalmente, una aproximación es suficiente.

El error que se comete al utilizar H en vez de H_t en el cálculo de la longitud efectiva (L - 0.2H) es generalmente despreciable.

Para minimizar la variación del efecto de la velocidad de aproximación, el Código Suizo para la Medición del Agua recomienda que

$$\frac{H}{H_1 - H} \leqslant 1 \quad \text{y que} \quad \frac{b}{B} \leqslant 0.33.$$

Si bien los valores de b y h de un vertedor rectangular no tienen límites desde el punto de vista teórico, los trabajos experimentales raras veces se han extendido más allá de longitudes de cresta (b) de alrededor de 4' y de cargas entre 2.5 y 2.75 pies.

Existen varias fórmulas que dan el gasto y el coeficiente C para vertedores rectangulares, producto de los estudios y experimentaciones que se han realizado en distintas épocas y lugares.

Entre ellas tenemos las de Francis, Bazin, Fteley y Stearns, Sociedad Suiza de Ingenieros y Arquitectos, Rehbock etc., existiendo por lo tanto, una serie de limitaciones y recomendaciones, de acuerdo con las características específicas bajo las cuales fueron desarrolladas las fórmulas citadas anteriormente.

Para una información más detallada se puede acudir a cualquiera de los textos mencionados en la bibliografía.

Con respecto a los demás vertedores de pared delgada puede hacerse un análisis similar al hecho para el rectangular, por lo que nos limitaremos a dar la fórmula del gasto para los vertedores triangular y trapecial (Cipolleti).

Triangular:

$$Q = \frac{4}{15} C b_h \sqrt{2g} H^{3/2} \quad \text{(ver fig. XI)}$$

donde el coeficiente C es variable con:

El ángulo de corte, θ, y la carga H.

Trapecial:

$$Q = \frac{2}{3} Cb \sqrt{2g} H^{3/2} \quad \text{(ver fig. XIV)}$$

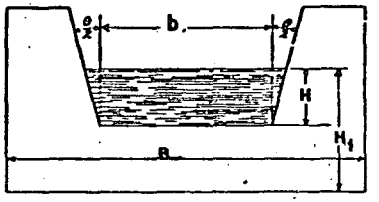


Fig. XIV - Vertedor trapecial

La característica principal de este vertedor propuesto por el hidráulico italiano Cipolleti es que el incremento de gasto producido por el vertedor triangular sea igual a la reducción del gasto debido a las contracciones laterales, o sea:

$$\frac{8}{15}\sqrt{2g}\ \ Tg\ \frac{\theta}{2}\ \ H^{5/2} = \frac{0.4}{3}\sqrt{2g}\ \ H^{5/2}$$

La igualdad anterior puede deducirse fácilmente a partir de las ecuaciones (5) y la del gasto para vertedor triangular.

Y teniendo en cuenta que en esta última se cumple la siguiente ecuación $b_h = 2H\ Tg\ \frac{\theta}{2}$.

Existen otros tipos de vertedores que no son de paredes delgadas, tales como los vertedores de umbral ancho y de perfil práctico, siendo estos últimos muy usados en presas.

Para finalizar con nuestro estudio sobre vertedores veamos cuáles son los métodos más empleados para la medición de la carga. Posiblemente, el método más común y el más exacto es aquel que utiliza una mira hidráulica o escala de gancho (ver fig. XV).

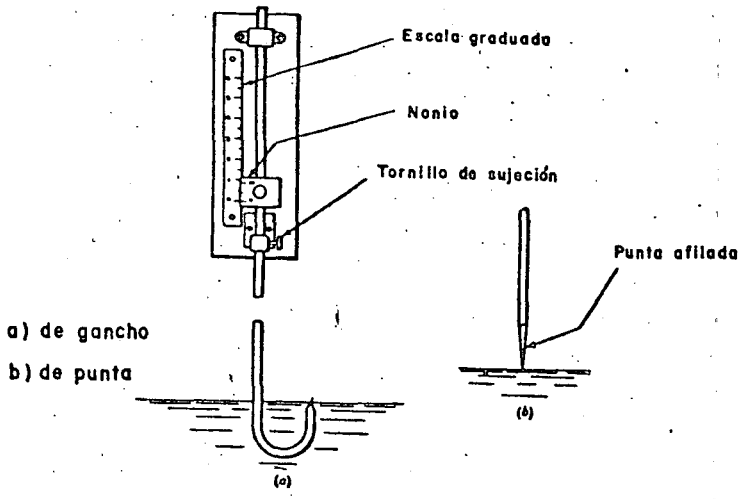


Fig. XV - Miras Hidráulicas

Para medir la carga se sumerge la mira y se eleva lentamente hasta el punto justo donde comienza a sobresalir sobre la superficie del agua. La escala a la cual es unido el gancho, lleva adicionado un nonio. El cero de la escala se obtiene cuando la punta del gancho se encuentra a nivel con la cresta del vertedor.

Los flotadores y los pozos de calma constituyen otros métodos que normalmente se usan en el proceso de medición de la carga sobre un vertedor (ver figs. XVI y XIX).

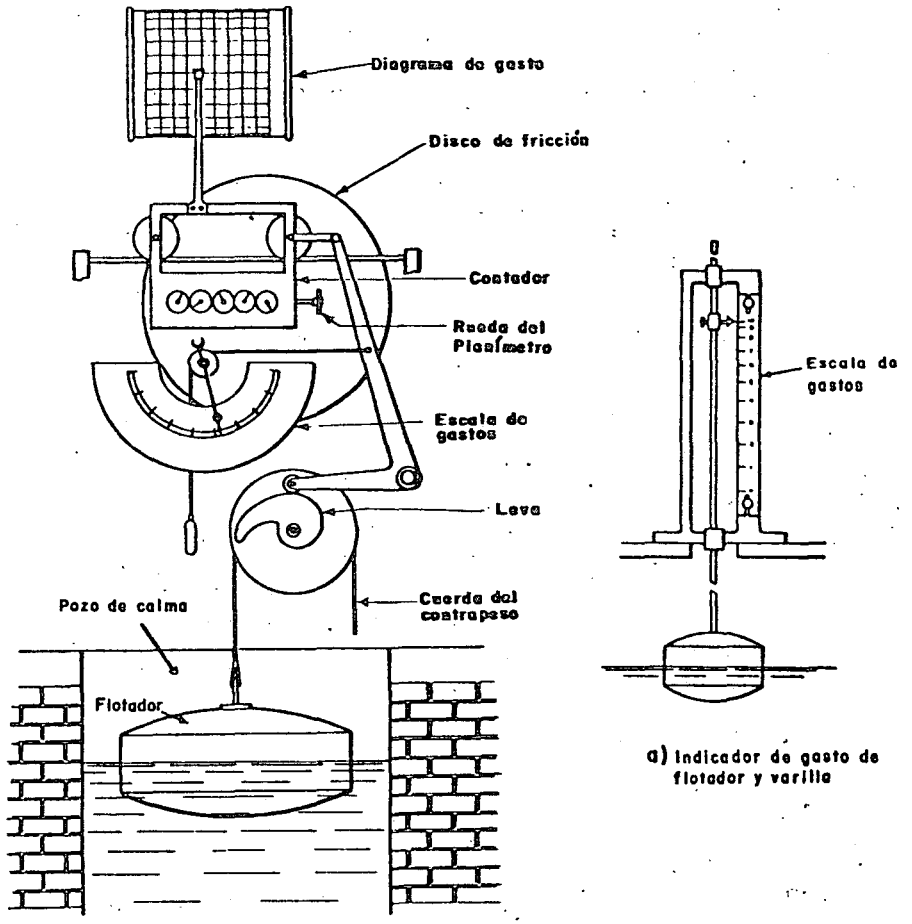


Fig. XVI - Instrumentos utilizados para medir la carga

Los pozos de calma consisten en cajas o tuberías, colocados a un lado del cuerpo del vertedor y conectados a éste mediante una tubería o abertura pequeña cerca del fondo. El líquido se elevará en el pozo a la misma altura que tenga el agua en el vertedor, con la ventaja de que prácticamente permanecerá imperturbable ante las corrientes y remolinos que ocurran en el cuerpo del vertedor. Conviene destacar que los pozos de calma son utilizados también en los canales de aforo (Venturi, Parshall) con el mismo objetivo.

Independientemente del método que se utilice para medir la carga, ésta debe medirse a una distancia lo suficientemente alejada del vertedor para asegurarse de que la misma no sea afectada por la curvatura de la superficie del agua. Es por este motivo que el canal de aproximación del vertedor, es por lo general relativamente ancho y profundo.

Canales de aforo.

Basados en el principio del flujo crítico se han desarrollado varios dispositivos para la medición del flujo. En tales dispositivos, la profundidad crítica es obtenida por la contracción de una elevación sobre el fondo del canal (por ej. un vertedor de umbral ancho muy bajo), o mediante una contracción en la sección transversal, tal como un canal de flujo crítico. A pesar de que el uso del vertedor es un método simple, tiene las desventajas siguientes:

a) pérdidas de carga relativamente altas;

b) si el agua contiene partículas en suspensión, alguna parte de las mismas puede depositarse aguas arriba del vertedor y llegar a afectar el valor del coeficiente de gasto.

Las dificultades anteriores pueden ser superadas, al menos parcialmente, mediante el uso de los canales de flujo crítico.

Estos canales, llamados también canales Venturi se han diseñado de varias formas (ver fig. XVII)

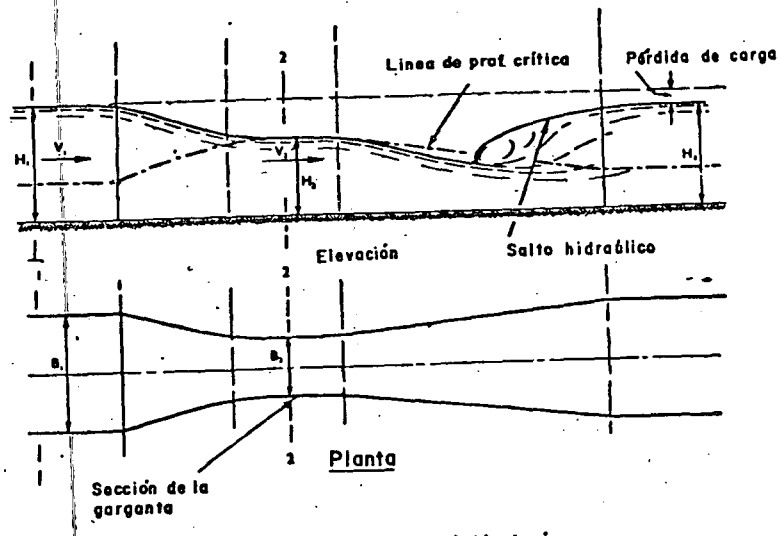


Fig: XVII - Canal Venturi

Normalmente son operados con la condición de flujo libre o no sumergido, teniendo la profundidad crítica en la sección contraída y un salto hidráulico en la sección de salida.

Bajo ciertas condiciones de flujo, el salto puede ser sumergido.

Canal Venturi.

Pasemos ahora a la deducción de la fórmula del gasto a través de un canal Venturi, basados en los conocidos principios de Bernoulli y continuidad.

Consideraremos que el canal es rectangular y que toda la contracción tiene lugar en el ancho.

Lo anterior simplifica considerablemente el trabajo aritmético.

Es bueno aclarar que el análisis teórico que desarrollaremos posteriormente es aplicable a todas las formas de canales Venturi.

De acuerdo con la figura anterior, podemos comprobar que el canal Venturi es similar en apariencia a un tubo de Venturi rectangular abierto, visto en planta.

Como en el caso del tubo Venturi, el ensanchamiento aguas abajo tiene por objeto la recuperación de la carga.

Planteando la Ecuación de Bernoulli sin pérdidas entre las secciones 1 y 2 en la fig. XVII, tendremos:

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g} + H_2 \qquad (1)$$

Es decir, $H_1 - H_2 = \dfrac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$ (2)

Si llamamos B al ancho del canal, podremos plantear que:

$$Q = V_1 B_1 H_1 = V_2 B_2 H_2 \qquad (3)$$

Despejando V_1

$$V_1 = \frac{V_2 H_2 B_2}{H_1 B_1} \qquad (4)$$

Llamémosle

$$e = \frac{B_1}{B_2} \quad y \quad X = \frac{H_2}{H_1}$$

Sustituyendo estos valores en (4) obtendremos:

$$V_1 = \frac{V_2 X}{e}$$

Al sustituir esta expresión de V_1 en la ecuación (2), tendremos:

$$H_1 - H_2 = \frac{V_2^2}{2g} \left(1 - \frac{X^2}{e^2}\right)$$

Despejando V_2:

$$V_2 = \sqrt{2g}\,\sqrt{H_1 - H_2}\,\sqrt{\frac{e^2}{e^2 - X^2}} \qquad (5)$$

Para obtener el gasto real o efectivo tendremos que afectar a la ecuación $Q = V_2 B_2 H_2$ por un coeficiente de gasto, o sea:

$$Qr = C\, V_2\, B_2\, H_2$$

$$Qr = C\, B_2 \sqrt{2g}\; H_2 \sqrt{H_1 - H_2}\; \sqrt{\frac{e^2}{e^2 - X^2}} \qquad (6)$$

Esta ecuación es de la misma forma que la expresión que nos determina el gasto en un metro de carga, la única diferencia es que en este caso las áreas mojadas de las secciones transversales consideradas son variables.

El valor $\sqrt{\dfrac{e^2}{e^2 - X^2}}$ es conocido como "factor de velocidad de aproximación".

Flujo libre.

Si examinamos la ecuación (6) notaremos que para obtener un record continuo del flujo a través del canal Venturi se requiere un instrumento extremadamente complicado, el cual deberá evaluar automáticamente $\sqrt{H_1 - H_2}$, multiplicarlo por H2 y corregir también para la variación de X.

En la práctica, esta complicación es salvada de la siguiente manera:

La garganta del canal Venturi es proyectada con un ancho tal, que permita la formación de una caída hidráulica gradual aguas arriba de la garganta, es decir, en la parte convergente del medidor.

Esto causa que el nivel aguas arriba del Venturi sea remansado. El diseño debe garantizar esta condición para todo el rango de gastos. En estas circunstancias, la profundidad que se produce en la garganta del Venturi, será la profundidad crítica.

Como es lógico, la pérdida de carga que ocasiona el medidor, determinará que la energía total en el canal aguas arriba sea mayor que en el canal aguas abajo del Venturi.

Cuando la profundidad crítica se obtiene en la garganta se dice que el canal Venturi funciona bajo condiciones "libres". Bajo estas condiciones se cumple que el número de Proude,

$$F_{R_2} = \frac{V_2^2}{\sqrt{gH_2}} = 1, \text{ ó sea, } V_2 = \sqrt{gH_2}$$

de donde

$$\frac{V_2^2}{2g} = \frac{H_2}{2}$$

Sustituyendo la expresión anterior en (1) tendremos:

$$H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H2 + \frac{H2}{2} = \frac{3}{2} H_2 \qquad (7)$$

Si despejamos V_1^2

$$V_1^2 = 2g\left(\frac{3}{2} H2 - H1\right)$$

ahora bien, sabemos que $V_1B_1H_1 = V_2B_2H_2$

es decir,

$$V_1^2 = \frac{V_2^2B_2^2H_2^2}{B_1^2H_1^2} = \frac{g\,H_2\,B_2^2\,H_2^2}{B_1^2\,H_1^2}$$

Igualando

$$2g\left(\frac{3}{2} H2 - H_1\right) = \frac{g\,H_2\,B_2^2\,H_2^2}{B_1^2\,H_1^2} \qquad (8)$$

Recordando que:

$H_2 = X\,H_1$ y $B_1 = e\,B_2$ tendremos:

$$2g\left(\frac{3}{2} X\,H_1 - H_1\right) = \frac{g\,(XH_1)\,B_2^2\,(X\,H_1)^2}{(eB_2)^2H_1^2}$$

Simplificando obtendremos:

$$(3X-2)\,e^2 = X^3, \quad ó \quad X^3 - 3\,X\,e^2 + 2e^2 = 0 \qquad (9)$$

Esta ecuación es de gran significación, ya que nos muestra que bajo condiciones libres, la relación $\frac{H_2}{H_1}$ es constante para todos los gastos, estando su valor determinado por el valor de $\frac{B_1}{B_2}$.

Habiendo establecido que para cualquier canal Venturi operando bajo condiciones de descarga libre, la relación $\frac{H_2}{H_1} = X$ es constante y como quiera que $Q = B_2\,V_2\,H_2$, cumpliéndose además, $V_2 = \sqrt{gH_2}$, se puede plantear que $Q = B_2\sqrt{g\,H_2}^{\,3/2}$.

Sustituyendo XH_1 en lugar de H_2 en la ecuación anterior e introduciendo el coeficiente de descarga, C, para condiciones de descarga libre podremos escribir:

$$Qr = C\,B_2\,\sqrt{g}\;H_1^{3/2}\,X^{3/2} \qquad (10)$$

Esta última ecuación es de idéntica forma a la ecuación de flujo del vertedor y muestra que bajo condiciones de descarga libre, el canal Venturi obedece la misma ley de flujo que el vertedor y que solamente es necesario medir la profundidad aguas arriba, H_1. Por consiguiente, tanto para vertedores como para canales Venturi de flujo libre se utilizan idénticos tipos de instrumentos de medición.

Con respecto al valor numérico de X, podemos observar de la ec. (9) que para un valor grande de e, es posible establecer que $3Xe^2 = 2\,e^2$ sin cometer un error apreciable.

De esta forma, $X = \frac{2}{3}$. Esto equivale a asumir que la velocidad aguas arriba V_1 es cero, de tal manera que $H_1 = \frac{3}{2} H_2$ en la ecuación (7).

Si tenemos en cuenta que para $e = 1.5$, $X = 0.723$ y para $e = 3.0$, $X = 0.678$ podemos decir que para $e \geqslant 3$ el asumir que $X = \frac{2}{3}$, produce un error menor que 2%, disminuyendo el mismo a medida que el valor de e aumenta. Si asumimos que

$X = 2/3$ en la ecuación (10), obtendremos una ecuación aproximada para el gasto:

$$Q = C\, B_2 \sqrt{g}\, H_1^{3/2} \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2}$$

$$Q = 0.545\, CB_2 \sqrt{g}\, H_1^{3/2}$$

En el sistema inglés donde $g = 32.2$ pies/seg^2, y además H y B se expresan en pies, tendremos a partir de las ecuaciones anteriores:

$$Q = 5.67\, C\, B_2\, H_1^{3/2}\, X^{3/2} \text{ (pies cúbicos/seg)} \qquad (11)$$

y $$Q = 3.09\, C\, B_2\, H_1^{3/2} \text{ (pies cúbicos/seg)} \qquad (12)$$

En el sistema métrico donde $g = 9.81$ m/seg^2 y las dimensiones H y B se expresan en metros, obtendremos:

$$Q = 3.13\, C\, B_2\, H_1^{3/2}\, X^{3/2} \text{ (m}^3\text{/seg)} \qquad (13)$$

y $$Q = 1.70\, C\, B_2\, H_1^{3/2} \text{ (m}^3\text{/seg)} \qquad (14)$$

Se ha construido un gráfico donde se representa la relación entre $\frac{1}{e}$ y $X^{3/2}$ (ver fig. XVIII). Se ha tomado como abscisa el valor $\frac{1}{e}$ en vez de e para obtener el rango completo de valores de esta última relación dentro de los límites de cero a la unidad.

Este gráfico se utiliza conjuntamente con las ecuaciones (11) y (13) para obtener el gasto.

En la práctica, el valor límite inferior de e se encuentra alrededor de 1.4, o sea, $\frac{1}{e} \approx 0.7$.

Como un valor aproximado para trabajar, puede asumirse $C = 0.95$.

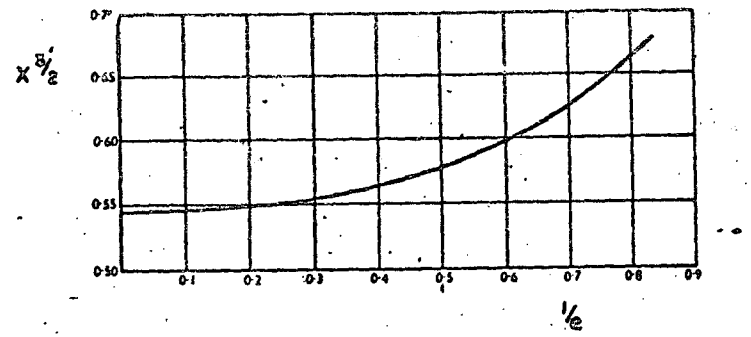


Fig. XVIII.- CURVA QUE RELACIONA LAS RELACIONES DE PROFUNDIDAD Y GARGANTA PARA CANALES VENTURI.

Una vez que el flujo ha pasado la garganta del canal Venturi entra al ensanchamiento aguas abajo donde el flujo puede ser supercrítico o subcrítico, dependiendo de las condiciones hidráulicas en el canal aguas abajo del Venturi.

Si la velocidad en dicho canal es mayor que la crítica, entonces el régimen será supercrítico y la profundidad de circulación continuará disminuyendo a lo largo del ensanchamiento gradual hasta unirse a la profundidad normal del flujo en el canal aguas abajo.

Si por el contrario, la profundidad del flujo es tal, que la velocidad en el canal aguas abajo es menor que la crítica, esto originará un régimen subcrítico en dicho canal.

La condición anterior determina que el régimen pase del estado supercrítico al subcrítico mediante un salto hidráulico, el cual se producirá en aquella sección donde se alcance la profundidad conjugada requerida.

Comenzando con una velocidad aguas abajo mayor que la crítica, si la profundidad aguas abajo es aumentada gradualmente por una obstrucción regulable, llegará un momento en que se produzca una onda estacionaria o salto hidráulico (esto ocurre cuando la profundidad en el canal supera la profundidad crítica); esta onda se irá aproximando al extremo del ensanchamiento a medida que la profundidad aumente progresivamente.

Un nuevo incremento en profundidad causará que la onda entre en el ensanchamiento, avanzando hacia la garganta a medida que aumenta nuevamente la profundidad.

Al mismo tiempo, la altura de la onda irá decreciendo.

El estado límite ocurre cuando la onda alcanza la garganta y desaparece.

Bajo estas condiciones, el canal Venturi estará funcionando justamente libre, cualquier incremento adicional en profundidad producirá un flujo sumergido a través de dicho canal, bajo cuyas circunstancias la relación $\frac{H_2}{H_1}$ deja de ser constante, y para determinar el gasto, será necesario medir tanto H_1 como H_2, utilizándose entonces la ecuación (6).

Denominaremos la profundidad de circulación en el canal aguas abajo en el canal Venturi como H_3, la cual puede alcanzar teóricamente el valor de H_1 para descarga libre sin sumergir el canal Venturi. En la práctica, aun bajo las condiciones límites sin salto hidráulico, no es posible recuperar toda la carga en el ensanchamiento aguas abajo. Además, en la práctica debe permitirse un factor de seguridad para asegurar que el canal Venturi funcione libremente. No es posible calcular el valor exacto de H_3 a partir de los datos hidráulicos del canal. La pérdida de carga que es necesario rebajar, es determinada en el diseño del canal Venturi. Con un canal rectangular donde el ancho aguas abajo, B_3 es igual al ancho aguas arriba, B_1, puede asumirse que el valor límite de H_3 es $0.8H_1$.

De las consideraciones anteriores se desprende que antes de diseñar un canal Venturi de flujo libre para un canal particular, el primer paso es calcular la relación profundidad/gasto para el canal, y entonces calcular el ancho de la garganta que produce un valor de H_1, lo suficientemente mayor que el valor correspondiente de H_3 para todo el rango de gastos del metro.

En muchos casos sucede que mientras a gastos grandes se obtiene flujo libre, a gastos pequeños la profundidad H_3 excede el valor límite correspondiente de H_1 para descarga libre, produciéndose, por tanto, la sumersión del flujo.

Normalmente, en vez de disminuir el valor del ancho B_2, lo cual puede producir altas pérdidas de carga para gastos grandes, se eleva el nivel de la base del canal Venturi una cantidad adecuada y entonces se construye una pequeña caída hacia atrás en el lado aguas abajo del Venturi.

Flujo sumergido.

Solamente en raras ocasiones, es que se requiere un canal Venturi que trabaje bajo condiciones de sumersión. Debe notarse que en este caso, cuando el grado de sumersión aumenta, el valor de $(H_1 - H_2)$ disminuye rápidamente cuando H_2 aumenta, disminuyendo, por tanto, el gasto también. En estas condiciones es en extremo complicado diseñar un instrumento que evalúe exactamente la raíz cuadrada de un pequeño valor y la multiplique por un valor considerablemente mayor (ver ecuación (6)).

En la gran mayoría de los casos es más fácil proporcionar un canal Venturi de tal manera que siempre opere bajo condiciones libres.

Cuando el canal Venturi funciona sumergido es imprescindible eliminar la complicación adicional del factor variable $\sqrt{\frac{e^2}{e^2 - X^2}}$ haciendo la relación $e = \frac{B_1}{B_2}$ lo suficientemente grande.

En estas circunstancias, el valor de este término en la ecuación del gasto es sensiblemente constante. Puede asumirse un valor medio de $X = \frac{H_2}{H_1}$ entre su valor a descarga libre y su valor bajo el máximo grado de sumersión. El máximo valor de x debe estar entre 0.9 y 0.95.

Canal Parshall.

Uno de los canales de flujo crítico más extensivamente usado sobre todo en los E.U., es el canal Parshall. Este canal de diseño empírico fue desarrollado por R.L. Parshall en la estación Experimental de Agricultura de Colorado en

1920 (ver fig. XIX). Se emplea tanto en riego como en otras ramas de la Hidráulica.

Consiste en una sección de entrada con paredes convergentes y piso a nivel, la sección de la garganta con paredes paralelas y el piso con pendiente hacia aguas abajo y la sección de salida con paredes divergentes y pendiente adversa en el piso. Puede ser construído de madera, chapa metálica u hormigón.

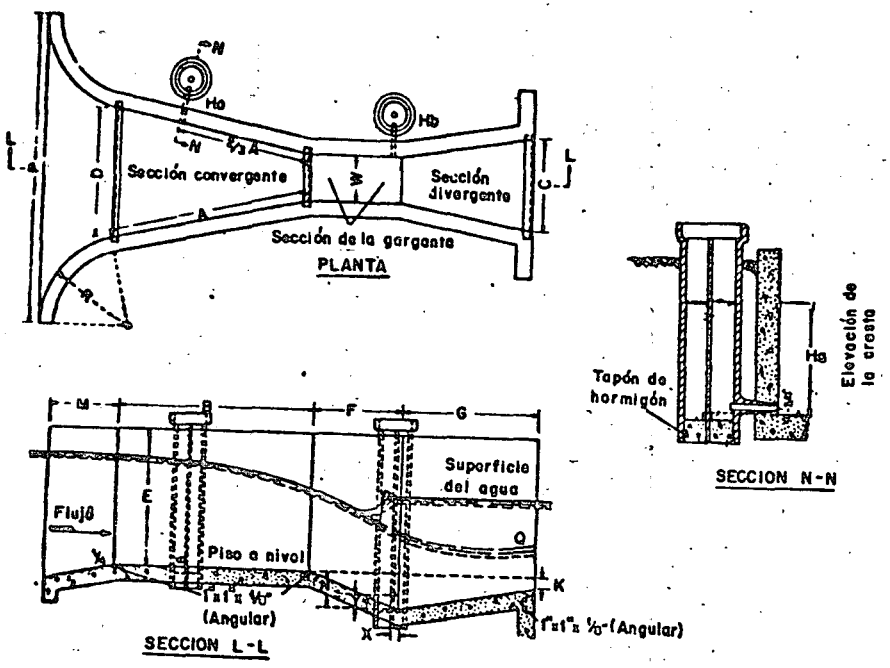


Fig. XIX - Planta, elevación y dimensiones de un canal Parshall

Definición de las dimensiones:

W: Tamaño del canal en pulg. o pies.

A: Longitud de la pared lateral de la sección convergente.

C: Ancho del extremo aguas abajo del canal; 2/3 A: Distancia desde el extremo de la cresta al punto de medición.

B: Longitud axial de la sección convergente.

D: Ancho del extremo aguas arriba del canal.

E: Profundidad del canal.

F: Longitud de la garganta.

G: Longitud de la sección divergente.

K: Diferencia en elevación entre el extremo más bajo del canal y la cresta.

M: Longitud del piso de aproximación.

N: Profundidad de depresión de la cresta por debajo de la garganta.

P: Ancho entre los extremos de los muros de alas curveadas.

R: Radio del muro de ala curveada.

X: Distancia horizontal del punto de medición (M_b) desde el punto más bajo de la garganta.

Y: Distancia vertical del punto de medición (M_b) desde el punto más bajo de la garganta.

El tamaño del canal (W) es determinado por la distancia horizontal entre las paredes verticales paralelas de la garganta y tiene igual longitud que la cresta.

La cresta es la línea donde el piso a nivel de la sección de entrada convergente se une con el piso inclinado de la garganta.

La fig. XIX junto con la tabla 1 da la forma y dimensiones apropiadas para canales de varios tamaños.

La deducción de la ecuación del gasto para este caso, se basa en los mismos principios y conceptos que nos sirvieron para obtener la expresión del gasto en los canales Venturi, razón por la cual nos limitamos a presentar las ecuaciones de gasto correspondientes a diferentes tamaños de canales Parshall. Estas relaciones gasto-profundidad han sido obtenidas empíricamente y son las siguientes: (Ver tabla 1)

Ancho de garganta	Ecuación
3"	$Q = 0.992\ H_a^{1.547}$
6"	$Q = 2.06\ H_a^{1.58}$
9"	$Q = 3.07\ H_a^{1.53}$
12" a 8'	$Q = 4WH_a^{1.522W^{0.026}}$
10' a 50'	$Q = (3.6875W+2.5)H_a^{1.6}$

En las ecuaciones anteriores:

Gasto (Q), en pies^3/seg

Ancho de garganta (W) en pies

Lectura de carga (H_a) en pies

Cuando la relación de cargas $\frac{H_b}{H_a}$, llamada también % de sumergencia, excede los límites de 0.6 para canales de 3, 6 y 9 pulgadas, 0.7 para canales de 1 a 8 pies y 0.8 para canales de 10 a 50 pies, el flujo pasa a ser sumergido y habrá que medir tanto (H_a) como (H_b). Como ya sabemos, el efecto de la sumergencia es reducir la descarga. En este caso, el gasto calculado por las ecuaciones anteriores debe ser corregido por una cantidad negativa.

Se han elaborado una serie de diagramas, que permiten determinar las correcciones por sumergencia para canales Parshall de varios tamaños, los mismos pueden encontrarse, por ej. en el libro "Open-Channel Hydraulics" de Ven Te Chow, Cap. 4, págs. 76-77.

Al igual que en el canal Venturi, en el canal Parshall es recomendable el funcionamiento libre. Por ello es necesario situar la cresta de forma tal que ocurra el flujo libre.

Si las condiciones no permiten el funcionamiento con flujo libre, el % de sumergencia H_b/H_a debe ser mantenido dentro de lo posible, por debajo del valor límite práctico de 95%, ya que el canal no medirá confiablemente si la sumergencia es mayor. El tamaño y elevación de la cresta dependen del gasto a ser medido, del tamaño del canal y consecuen

Tabla 1.- DIMENSIONES Y CAPACIDADES DEL CANAL DE MEDICION PARCHALL, PARA VARIOS ANCHOS DE GARGANTA, W.

W	A	3/4 A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacidad a flujo libre Mín.	Capacidad a flujo libre Máx.
PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PULG.	PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PIES PULG.	PULG.	PULG.	PIES.	PIES.
0 3	1 6¾	1 ¾	1 6	0 7	0 10¾	0 6	0 6	0 6	1	2¼	1 4	1 0	2 6¼	1	1¼	0.02	1.8
0 6	3 ¾	1 4¾	2 0	1 3¼	1 3¾	0 0	1 0	1 0	3	4¼	1 4	1 0	2 11¾	2	2	.05	3.9
0 9	3 10¾	2 1¾	2 10	1 8	1 10¾	0 6	1 0	1 0	3	4¼	1 4	1 0	3 0¾	3	3	.08	8.9
1 0	4 6	3 1¾	4 4¾	2 0	2 6¾	1 0	2 0	3 0	3	6	1 8	1 3	4 10¾	3	3	.11	16.1
1 6	5 3	3 6	4 7¾	2 6	2 9¾	1 0	2 0	3 0	3	6	1 8	1 3	5 6	3	3	.15	24.6
2 0	6 0	4 3	4 10¾	3 0	3 4¾	1 0	2 0	3 0	3	6	1 8	1 3	6 1	3	3	.42	33.1
3 0	6 6	4 9	5 4¾	3 6	3 11¾	1 0	2 0	3 0	3	6	1 8	1 3	7 3¾	3	3	.61	50.4
4 0	7 0	5 3	5 10¾	4 0	4 5¾	1 0	2 0	3 0	3	6	2 0	1 0	8 10¾	3	3	1.2	67.9
5 0	7 6	5 9	6 4¾	4 6	4 11¾	1 0	2 0	3 0	3	6	2 0	1 0	10 1¾	3	3	1.0	85.0
6 0	8 0	6 0	6 10¾	5 0	5 6¾	1 0	2 0	3 0	3	6	2 0	1 0	11 3¾	3	3	2.0	103.5
7 0	8 6	6 6	7 4¾	5 6	6 0¾	1 0	2 0	3 0	3	6	2 0	1 0	12 6	3	3	3.0	121.4
8 0	9 0	7 10¾	8 0	6 0	6 11¾	1 0	2 0	3 0	3	6	3 0	1 0	13 8¾	3	3	3.5	139.5

temente, de la pérdida de carga a través del canal. Existen diagramas que permiten calcular la pérdida de carga (ver libro: Open Channel Hydraulics).

Debido a la contracción de la garganta, la velocidad del agua a través del medidor es mayor que en el canal. Por esta razón, cualquier materia en suspensión, por ejemplo, arena o limo o cantos rodados a lo largo del fondo, puede ser transportada dejando libre de depósitos al medidor o canal Parshall. Cuando en la corriente están presentes restos de erosión pesados, el canal Parshall, al igual que el vertedor, puede ser anulado debido a la deposición de los desechos, produciendo entonces resultados no confiables o inseguros.

Como muchos dispositivos aforadores, el canal de flujo crítico tiene ciertas desventajas. Por ejemplo, no puede ser usado directamente combinado con compuerta de carga; es más costoso para construir y requiere una mano de obra más calificada en su construcción que otros dispositivos usados comúnmente, tales como vertedores u orificios sumergidos. En muchos libros y manuales de Hidráulica (por ejemplo, referencias 1, 6 y 9) puede encontrarse fácilmente información técnica sobre otras clases de métodos y dispositivos de aforo en conducciones libres.

METODOS ESPECIALES.

Medidores magnéticos de flujo.

Introducción.

El camino convencional para el diseño de equipos de medición, bajo condiciones industriales, requiere la introducción de alguna forma de obstrucción en la trayectoria del fluido en las conducciones forzadas.

El uso de tal sistema era una parte inherente del problema, ya que en el pasado, éste era el unico medio utilizable para producir una variación en la energía del fluido, variación que era una medida del gasto de circulación.

Se han inventado diferentes medios de medición, como por ejemplo: el anemómetro de alambre caliente, el cual a

pesar de toda su utilidad práctica, fue limitado a trabajos de laboratorio.

El principio electromagnético de medición de flujo está entre los pocos sistemas que han adoptado una vía completamente "no hidráulica" sobre el problema.

Si bien no reemplaza a ninguna de las otras formas de metros industriales de flujo, el metro electromagnético es una expansión importante en el rango de equipos de medición, ya utilizable, puesto que permite tratar con ciertas aplicaciones, las cuales escapan de las capacidades de los equipos medidores de flujo que emplean principios puramente hidráulicos.

Es de interés destacar que la aplicación práctica de este principio se debe en gran medida a las técnicas electrónicas modernas.

Principio de operación.

La operación del metro electromagnético se basa en la misma ley que gobierna la operación de todos los generadores electromagnéticos dinámicos, es decir, el metro electromagnético es similar en principio a un dinamo.

Esta ley establece que cuando un conductor eléctrico se mueve a través de un campo magnético en una dirección perpendicular a éste, y a las líneas de fuerza, se genera una fuerza electromotriz (f.e.m) en el conductor que es proporcional al número de líneas de fuerza que cortan el conductor en la unidad de tiempo.

La relación entre la f.e.m. generada y la velocidad del conductor está dada por la ecuación:

$$E = B\,l\,v \times 10^{-8} \qquad (1)$$

Donde E es la f.e.m. en volts, B es la intensidad de campo en unidades c.g.s., l es la longitud del conductor en cm y v es la velocidad del conductor en cm/seg.

Como $v = \frac{Q}{A}$, tendremos:

$$E = Bl \frac{Q}{A} \times 10^{-8} \quad \therefore \quad Q = \frac{A\,E}{B\,l} \times 10^{8} \qquad (2)$$

Ecuación que nos permite determinar el gasto de circulación.

La dirección de la f.e.m. está dada por la regla de la mano derecha de Fleming, siendo perpendiculares entre sí, - B, l y v.

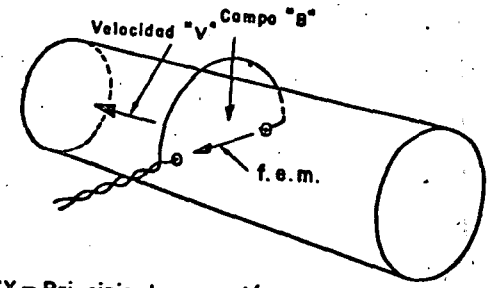


Fig. XX – Principio de operación de los metros de flujo electromagnético

En el metro electromagnético el conductor es el líquido circulante, el cual puede ser considerado como una serie continua de discos pasando a través del campo magnético, el diámetro interior de la tubería es directamente proporcional a la longitud del conductor, mientras el campo magnético es generado por un imán o magneto.

Si se mantiene constante la intensidad de campo B, la única variable en el lado derecho de la ecuación (1) es la velocidad del flujo v.

Consecuentemente, el voltaje generado será directamente proporcional a la velocidad de flujo.

En la práctica, cualquier variación en la intensidad de campo produce fluctuaciones en el abastecimiento de voltaje.

Este puede anularse completamente usando un instrumento de medición energético especial del tipo "null balance"- del mismo origen que el magneto.

El primer análisis matemático detallado del medidor de flujo electromagnético, fue hecho por E. Williams en 1930,- aunque ya en 1915 C. Smith y J. Slepian obtuvieron la patente de un dispositivo basado en dicho principio, y en 1920, se hicieron experimentos en la medición de caudales de río por este medio, por Young, Gerard y Jevons.

El primer intento de medir el flujo a través de tuberías circulares de esta manera, parece haber sido de A. Kolin, cuyo interés era la medición del flujo de sangre en los sistemas de circulación.

En 1939 le fue otorgada una patente.

Detalles constructivos.

El tubo de flujo es hecho generalmente de una aleación no conductora, y no magnética, tal como el acero inoxidable sustenítico, aislado del líquido que circula.

También es necesario que el tubo de flujo tenga una resistividad eléctrica alta para asegurar que el flujo magnético no desvíe el líquido circulante y también para minimizar las corrientes de remolino.

El diámetro interior del tubo de flujo es protegido por un recubrimiento aislante, seleccionado adecuadamente para cada aplicación particular, como por ejemplo, neopreno o vidrio.

El recubrimiento es solamente necesario en la vecindad de los electrodos para prevenir algún corto-circuito de la f.e.m., aunque en la práctica el tubo es recubierto totalmente, haciéndolo así adaptable para un alto rango de líquidos corrosivos. Desde el punto de vista de su operación, - no es necesario el recubrimiento si el tubo de flujo es hecho de un material no metálico, no magnético y no conductor, tal como un plástico o fibra de vidrio.

El potencial eléctrico es detectado por dos electrodos de metal esencialmente de tipo puntual -hechos de acero - -

inoxidable o platino- donde es necesario una resistencia alta a la corrosión. Los electrodos son situados diametralmente opuestos con sus superficies a ras con la superficie interior del recubrimiento o de la tubería, si no está recubierta de manera que no sea perturbado el flujo.

Para un mayor conocimiento acerca de los detalles eléctricos del sistema puede consultarse los textos 5 y 7 de la bibliografía.

Ya que el diámetro interior del metro coincide con el de la tubería donde el metro se instala, no habrá alteración en la geometría del sistema y por tanto, no habrá obstrucción en la circulación del líquido.

Consecuentemente, no se producirán pérdidas de presión adicional debido a la instalación del metro.

La única energía absorbida es la tomada desde los principales abastecimientos eléctricos para excitar el circuito eléctrico.

La energía de salida del elemento detectante guarda una relación lineal con la velocidad de flujo. Este es un hecho importante cuando se requiere un rango grande de flujo.

Además, esta proporcionalidad entre la energía de salida y la velocidad de flujo es independiente de la viscosidad del líquido medido, consecuentemente, la circulación de líquidos no newtonianos puede medirse exactamente.

Además, la energía de salida no es alterada por variaciones en la densidad del líquido y es insensible a las variaciones en la distribución transversal de velocidades en la sección de aforo de la tubería.

Como resultado de esto, no es necesario tomar precauciones para obtener condiciones hidráulicas imperturbables aguas arriba y/o aguas abajo de la sección de aforo. Siempre se podrá obtener el gasto en sus unidades correspondientes.

Un hecho de valor considerable en algunas aplicaciones es que si hay una disminución en el área de la sección

transversal del flujo, por ejemplo, debido al incrustamiento sobre la superficie interior del medidor de tubo de flujo, el aumento resultante en velocidad v, con el mismo gasto o caudal es compensado automáticamente por la disminución en diámetro, la cual es proporcional a 1 (ver ecuación (1)).

En consecuencia, la lectura del instrumento en términos de gasto, tiende a permanecer inalterable (ver ecuación (2)).

Debido a que el metro electromagnético no tiene partes movibles, excluyendo por supuesto, el mecanismo asociado con la presentación del elemento, hay una ausencia completa de inercia mecánica. Este factor, combinado con la característica lineal, permite que el metro siga fielmente las fluctuaciones grandes y rápidas en el gasto. Si se requiere un record permanente de variaciones de gasto puede emplearse una forma convencional de mecanismo registrador y si se diseña de manera que no tenga verticalmente inercia, las variaciones rápidas de flujo pueden exhibirse sobre la carta perfectamente. En el caso de una manecilla indicadora o índice, las lecturas de ésta son prácticamente imposibles de seguir.

La velocidad máxima normal más baja es del orden de 1 pie/seg. no habiendo límite superior.

La potencia consumida por la instalación eléctrica del metro electromagnético varía con el tamaño y es del orden de 300 volts amperes (VA) para un metro de 2" aumentando hasta alrededor de 2000VA para un metro de 18".

No hay limitaciones en el tamaño de estos metros desde el punto de vista de diseño, habiendo sido hecho en tamaños que varían desde $\frac{1"}{10}$ hasta 72" de diámetro, siendo este último tamaño construido de fibras de vidrio.

Al igual que todos los demás tipos de metros de flujo, el electromagnético tiene también ciertas limitaciones. La más importante de éstas es que la sustancia circulante debe ser conductora.

Contro ıtomático.

Consiste en un dispositivo que mide el valor de la variable controlada (el gasto por ejemplo) y opera para corregir o limitar la desviación de esta variable controlada de una referencia determinada (o sea, un valor dado del gasto que es necesario mantener).

Sistema de control automático.

Es una distribución u ordenación adecuada de uno o más contralores automáticos conectados en circuito cerrado con uno o más procesos.

Medios de medición.

Los medios de medición consisten en aquellos elementos de un control automático que comprende la determinación y comunicación del valor de la variable controlada a los medios de control.

Elementos de control final.

Es aquella porción del circuito de control que cambia directamente el valor de la variable controlada.

Variable manipulada.

Es aquella cantidad o condición que es variada por el contralor automático, a fin de afectar el valor de la variable controlada.

Punto de ajuste.

Es aquella magnitud de la variable controlada que el contralor debe mantener.

Señal del punto de ajuste.

Es una señal recibida por el contralor como una medida del valor del punto de ajuste.

Un sistema de control automático consiste generalmente en:

a) Medios de medición
b) Contralor
c) Elementos de control final.

Estos elementos reaccionan unos sobre otros y así se forma un ciclo o circuito cerrado, como se ilustra en la siguiente figura:

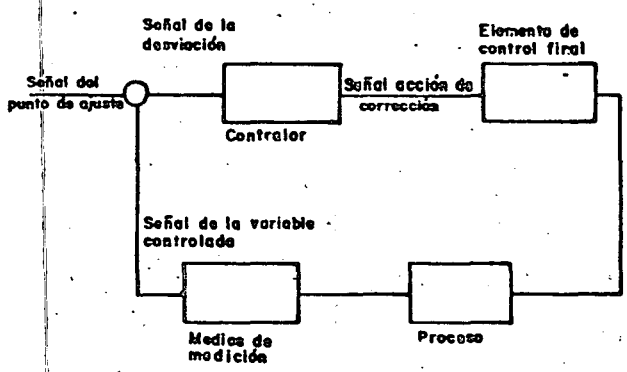


Fig. XXI - DIAGRAMA DE UN CIRCUITO DE CONTROL

Cualquier medio de control mantiene una variable controlada relativamente constante, o la transforma como una función de alguna otra variable. El contralor que recibe la señal desde los medios de medición, compara ésta con la señal del punto de ajuste y responde a éstos con una señal resultante dirigida hacia el elemento de control final, el cual produce la corrección en el proceso. El proceso reacciona ante esta corrección, la cual es percibida por los medios de reacción y la señal de la variable controlada es modificada consecuentemente.

Consecuentemente, el principio electromagnético no puede ser empleado para la medición de flujos de gases, vapores productos de petróleo y líquidos similares que tienen una conductividad muy baja, como por ej. el agua destilada.

Para que el metro sea insensible a las variaciones en la resistencia del líquido, la resistencia efectiva de éste entre los electrodos no debe exceder, digamos el 1% de la impedancia del circuito externo. La conductividad mínima permisible del líquido medido para obtener una exactitud comercial normal, por lo tanto, es determinada por el diámetro interior del tubo de flujo.

Se especifica un valor mínimo de 100 microombos por cm^3.

Los últimos diseños de este equipo son insensibles a la longitud de cable entre el elemento detectante y el amplificador, por ej. un cable de 5000' de longitud no debe afectar la exactitud del registro en más de 0.1%. La exactitud absoluta es de ± 1% para los flujos típicos máximos.

En el momento actual al menos, el metro electromagnético es mucho más caro que cualquier otra forma de metro de la misma capacidad.

Aplicación, instalación y mantenimiento.

Este equipo es perfectamente adaptable para la medición de flujos de sustancias, tales como minerales triturados, pulpas, bebidas, etc., así como emulsiones, tales como aceite en agua y jugos viscosos, pero teniendo siempre en cuenta que sus conductividades sean lo suficientemente altas.

Debido al principio de operación del metro, es lógico que al medir el gasto, el volumen de cualquier materia en suspensión estará incluido en dicho gasto.

La simple construcción del tubo de flujo permite que éste sea limpiado y esterilizado sin dificultad con tal que se seleccione un material de recubrimiento adecuado.

La instalación del tubo de flujo es un trabajo de instalación de tubería recta.

Para evitar cualquier perturbación que pueda ser causada por la entrada de aire, cuando se instala el tubo de flujo en una tubería horizontal, los electrodos deben coincidir con el diámetro horizontal.

El tubo de flujo en sí no requiere otro mantenimiento que no sea limpieza, etc., determinada por la naturaleza de la aplicación. El elemento de medición eléctrica necesita un mantenimiento normal de acuerdo con sus características.

CONTROLES AUTOMATICOS.

Los instrumentos descritos en las páginas anteriores miden un determinado proceso, el cual consiste en el flujo de fluidos.

Esta medición es un requisito para el control automático de dicho flujo.

Antes de pasar a describir sucintamente el funcionamiento de un sistema de control automático, es necesario proceder a la definición de algunos conceptos importantes, relacionados con la nomenclatura usada en esta rama de la Ingeniería.

Variable controlada.

Es aquella cantidad o condición que es medida y controlada.

Señal de la variable controlada.

Es la señal transmitida por los medios de medición, la cual es una función de la magnitud de la variable controlada.

Desviación.

Es la diferencia entre la magnitud real de la variable controlada y una referencia determinada.

Los diferentes pasos de que consta este circuito de control cerrado son los siguientes:

1. Detección de la desviación de la variable controlada del punto de ajuste por los medios de medición.
2. Señal desde los medios de medición al controlor, indicando la desviación.
3. Acción del controlor.
4. Señal de corrección desde el controlor al elemento de control final.
5. Acción de corrección por el elemento de control final.
6. Reacción del proceso y modificación consecuente de la cantidad medida de la variable controlada.
7. Detección de la modificación de la variable controlada por los medios de medición.
8. Señal modificada desde los medios de medición al controlor.

Si la señal modificada del paso (8), corresponde a la señal transmitida cuando la variable controlada está en el punto de ajuste, entonces el ciclo de corrección termina.

Ahora bien, si la desviación del punto de ajuste persiste, se repite el mismo ciclo.

El paso (8) es la señal para el éxito o fracaso de la acción.

Los controlores pueden ser: eléctricos, neumáticos, hidráulicos, de operación automática de función tiempo.

Para poder entender mejor lo anterior se impone un ej.:

Consideremos como proceso el flujo de agua a través de una tubería. Supongamos además que el gasto debe ser constante debido a las necesidades existentes.

Mediante un dispositivo primario, que puede ser un metro de carga, como por ejemplo, un metro orificio se produce un incremento de energía cinética y por ende una diferencia de presión que es detectada en el elemento secundario. Esto

determinará un valor de la variable controlada (gasto) en un registrador convenientemente instalado.

Así, los medios de medición enviarán una señal al controlor en correspondencia al gasto medido. Si esta señal no coincide con la correspondiente al gasto requerido (punto de ajuste) existirá una desviación. El controlor enviará una señal de corrección hacia el elemento de control final, el cual producirá la corrección necesaria en el gasto. Esta corrección causará que los medios de medición detecten otro gasto y por lo tanto, la señal de la variable controlada será distinta a la inicial. Si ésta coincide con la señal correspondiente al gasto requerido, habrá terminado el ciclo de corrección, pero si no coincide, se repiten los mismos pasos hasta que el gasto medido coincida con el punto de ajuste.

Normalmente es usada una válvula como elemento de control final, entonces, la corrección de la misma consistirá en una mayor o menor abertura. En muchos casos, la válvula no trabaja en posiciones intermedias, sino completamente abierta o cerrada.

Para una mayor información acerca de este tema, pueden consultarse los libros de: W. G. Holzbock, "Automatic control, Principles and Practice" e "Instruments for measurement and control", Reynold Publishing Corporation.

RECONOCIMIENTO.

Queremos por este medio, expresar nuestro agradecimiento al Ing. Dicsdado Pérez Franco por sus valiosas sugerencias en cuanto al alcance y composición del presente trabajo.

BIBLIOGRAFIA.

1.- ADDISON, Herbert. "Hydraulics Measurement". John - Wiley and Sons Inc. Nueva York, 1941.

2.- ADDISON, Herbert. "A treatise on applied Hydraulics". Edición Revolucionaria. La Habana, 1968.

3.- DORTICOS, Pedro L. "Calibración de metro Venturi". 1965.

4.- ECKMAN, Donald P. "Industrial instrumentation". Instituto del Libro. La Habana, 1967.

5.- HOLZBOCK, Wermer G. "Instruments of Measurement and-Control".

6.- KING, H.W. and BRATER, B.F. "Manual de Hidráulica". UTEHA, 1962.

7.- LINFORD, Al. "Flow Measurement and Meters", E. and F.N. Spon Ltd.

8.- VEN TE CHOW. "Open channel Hydraulics", 1959.

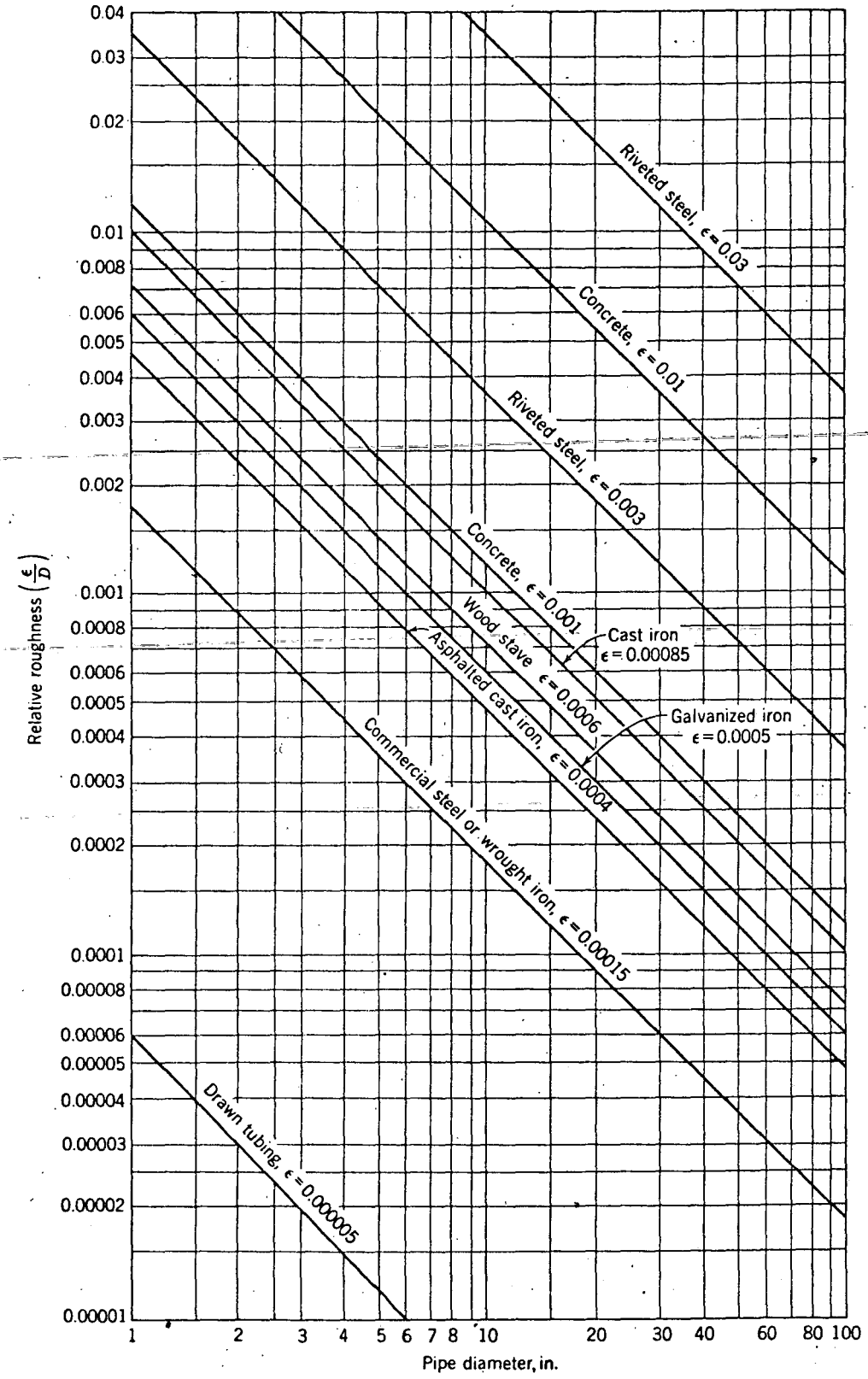
9.- Fluid Meters. Their theory and application. ASME, 1959.

10.- Water Measurement Manual. "U. S. Bureau of reclamation". May 1953, pág. 43-58.

appendix C

Equipment Design Data

Appendix C-1. RELATIVE ROUGHNESS AS A FUNCTION OF DIAMETER FOR PIPE OF VARIOUS MATERIALS.
[Moody, L. F., *Trans. ASME*, **66**, 671–84 (1944).]



Appendix C-2a. REPRESENTATIVE EQUIVALENT LENGTH IN PIPE DIAMETERS (L/D) OF VARIOUS VALVES AND FITTINGS (CRANE CO.)

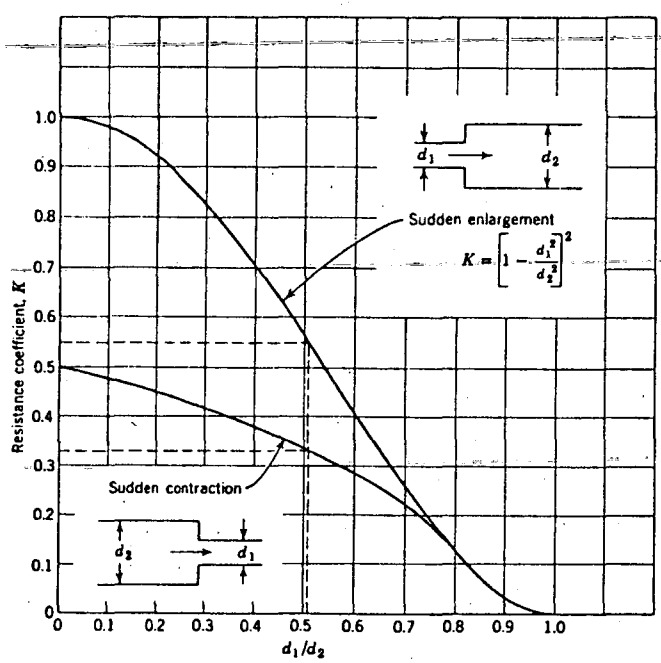
Description	Equivalent Length in Pipe Diameters (L/D)
Globe valves	
Conventional	
With no obstruction in flat, bevel, or plug type seat—Fully open	340
With wing or pin guided disk—Fully open	450
Y-pattern	
(No obstruction in flat, bevel, or plug type seat)	
With stem 60 degrees from run of pipe line—Fully open	175
With stem 45 degrees from run of pipe line—Fully open	145
Angle valves	
Conventional	
With no obstruction in flat, bevel, or plug type seat—Fully open	145
With wing or pin guided disk—Fully open	200
Gate valves	
Conventional wedge disk, double disk, or plug disk	
Fully open	13
Three-quarters open	35
One-half open	160
One-quarter open	900
Pulp stock	
Fully open	17
Three-quarters open	50
One-half open	260
One-quarter open	1200
Conduit pipe line—Fully open	3*
Check valves	
Conventional swing—0.5†—Fully open	135
Clearway swing—0.5†—Fully open	50
Globe lift or stop—2.0†—Fully open	Same as globe
Angle lift or stop—2.0†—Fully open	Same as angle
In-line ball—2.5 vertical and 0.25 horizontal†—Fully open	150
Foot valves with strainer	
With poppet lift-type disk—0.3†—Fully open	420
With leather-hinged disk—0.4†—Fully open	75
Butterfly valves (6-inch and larger)—Fully open	20
Cocks	
Straight-through	
Rectangular plug port area equal to 100% of pipe area—Fully open	18
Three-way	
Rectangular plug port area equal to 80% of pipe area (fully open)	
Flow straight through	44
Flow through branch	140

* Exact equivalent length is equal to the length between flange faces or welding ends.
† Minimum calculated pressure drop (psi) across valve to provide sufficient flow to lift disk fully.

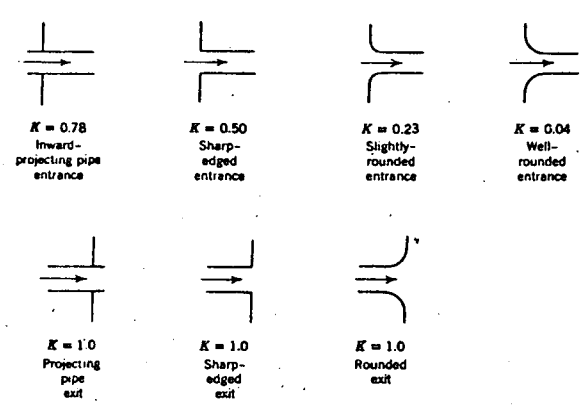
Appendix C-2*a*.—*Continued.*

Description	Equivalent Length in Pipe Diameters (L/D)
Fittings	
90-degree standard elbow	30
45-degree standard elbow	16
90-degree long radius elbow	20
90-degree street elbow	50
45-degree street elbow	26
Square corner elbow	57
Standard tee	
With flow through run	20
With flow through branch	60
Close pattern return bend	50

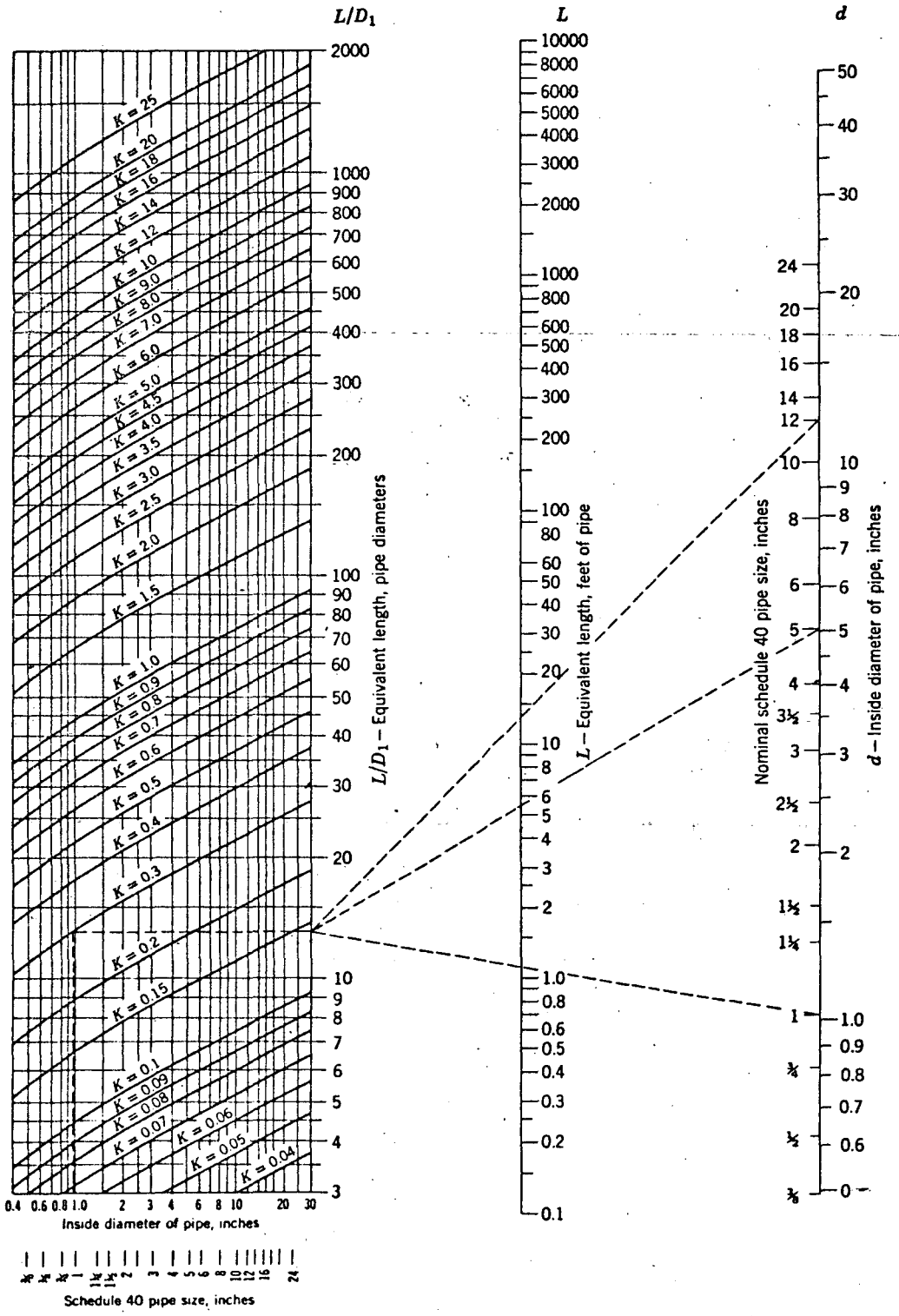
Appendix C-2*b*. RESISTANCE DUE TO SUDDEN ENLARGEMENTS AND CONTRACTIONS. (CRANE CO.)



Appendix C-2*c*. RESISTANCE DUE TO PIPE ENTRANCE AND EXIT. (CRANE CO.)



Appendix C-2*d*. EQUIVALENT LENGTHS L AND L/D AND RESISTANCE COEFFICIENT K. (CRANE CO.)

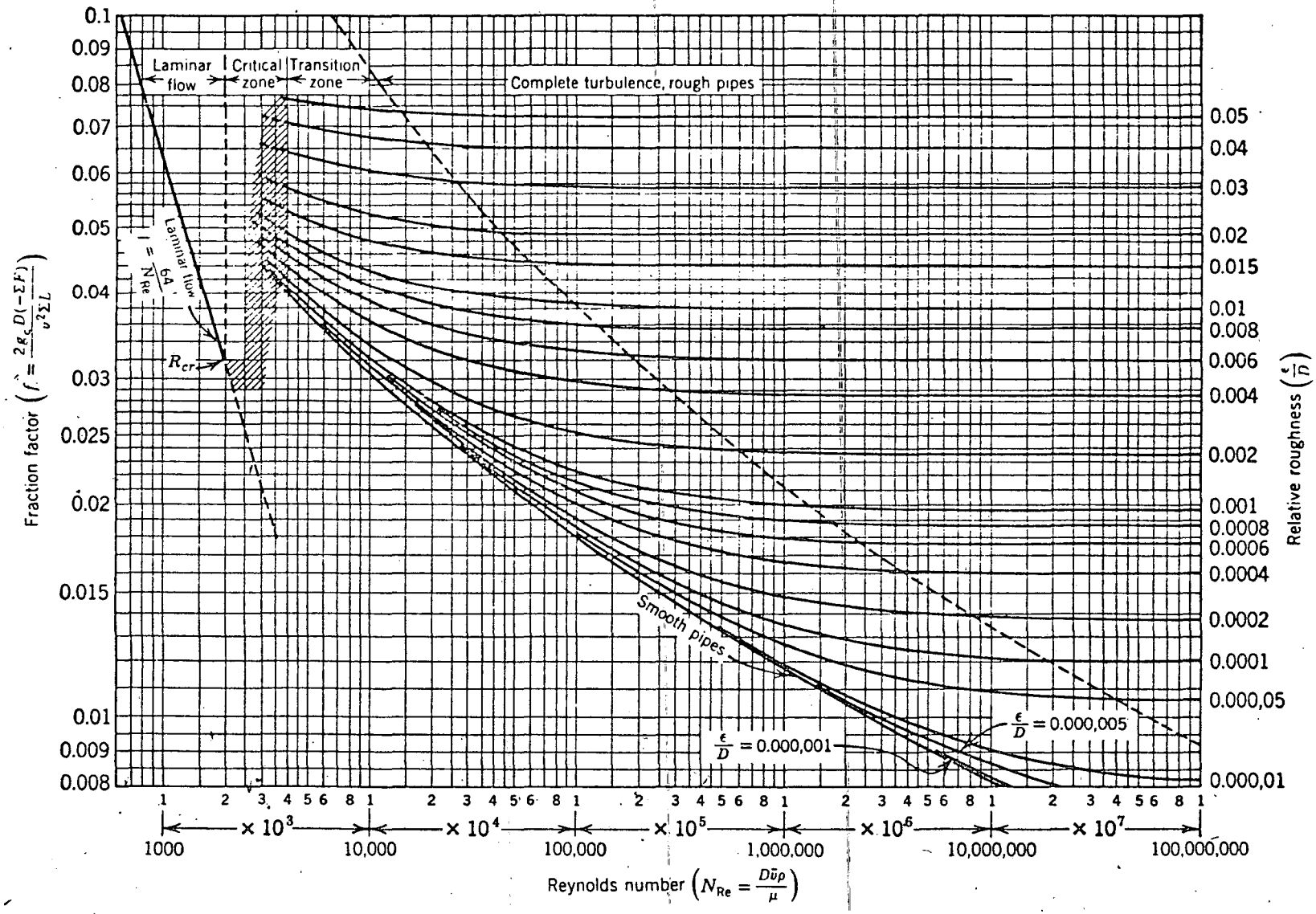


Problem: Find the equivalent length in pipe diameters and feet of Schedule 40 pipe, and the resistance factor K for 1-, 5-, and 12-inch fully opened gate valves.

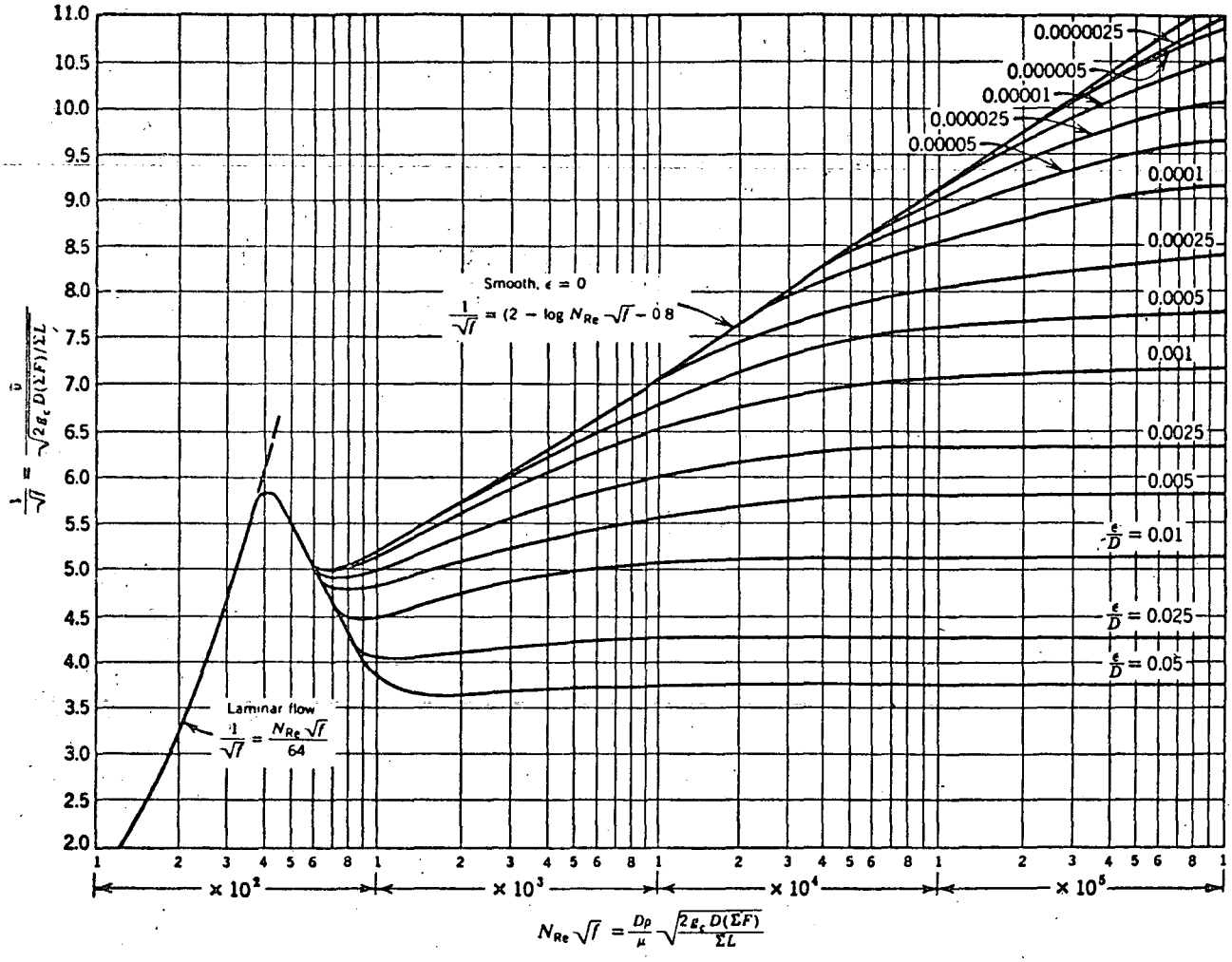
Solution

Valve Size	1″	5″	12″	*Refer to*
Equivalent length, pipe diameters	13	13	13	App. C-2*a*
Equivalent length, feet of Sch. 40 pipe	1.1	5.5	13	Dotted lines
Resist. factor K, based on Sch. 40 pipe	0.30	0.20	0.17	on chart

Appendix C-3. FRICTION FACTOR AS A FUNCTION OF REYNOLDS NUMBER WITH RELATIVE ROUGHNESS AS A PARAMETER.
[Moody, L. F., *Trans. ASME*, **66**, 671–84 (1944).]



Appendix C-4. FRICTION FACTOR AS A FUNCTION OF KÁRMÁN NUMBER.
(From G. G. Brown and Associates, *Unit Operations*, John Wiley and Sons, New York, 1950.)



Appendix C-6. DIMENSIONS OF STANDARD STEEL PIPE (ASA STANDARDS B36.10–1939)

Nominal Pipe Size, in.	Outside Diameter, in.	Schedule No.	Wall Thickness, in.	Inside Diameter, in.	Cross-Sectional area of Metal, sq in.	Inside Sectional Area, sq ft	Circumference, ft, or Surface, sq ft/ft of length	
							Outside	Inside
⅛	0.405	40	0.068	0.269	0.072	0.00040	0.106	0.0705
		80	0.095	0.215	0.093	0.00025	0.106	0.0563
¼	0.540	40	0.088	0.364	0.125	0.00072	0.141	0.0954
		80	0.119	0.302	0.157	0.00050	0.141	0.0792
⅜	0.675	40	0.091	0.493	0.167	0.00133	0.177	0.1293
		80	0.126	0.423	0.217	0.00098	0.177	0.1110
½	0.840	40	0.109	0.622	0.250	0.00211	0.220	0.1630
		80	0.147	0.546	0.320	0.00163	0.220	0.1430
¾	1.050	40	0.113	0.824	0.333	0.00371	0.275	0.2158
		80	0.154	0.742	0.433	0.00300	0.275	0.1942
1	1.315	40	0.133	1.049	0.494	0.00600	0.344	0.2745
		80	0.179	0.957	0.639	0.00499	0.344	0.2505
1¼	1.660	40	0.140	1.380	0.669	0.01040	0.435	0.362
		80	0.191	1.278	0.881	0.00891	0.435	0.335
1½	1.900	40	0.145	1.610	0.799	0.01414	0.498	0.422
		80	0.200	1.500	1.068	0.01225	0.498	0.393
2	2.375	40	0.154	2.067	1.075	0.02330	0.622	0.542
		80	0.218	1.939	1.477	0.02050	0.622	0.508
2½	2.875	40	0.203	2.469	1.704	0.03322	0.753	0.647
		80	0.276	2.323	2.254	0.02942	0.753	0.609
3	3.500	40	0.216	3.068	2.228	0.05130	0.917	0.804
		80	0.300	2.900	3.016	0.04587	0.917	0.760
3½	4.000	40	0.226	3.548	2.680	0.06870	1.047	0.930
		80	0.318	3.364	3.678	0.06170	1.047	0.882
4	4.500	40	0.237	4.026	3.173	0.08840	1.178	1.055
		80	0.337	3.826	4.407	0.07986	1.178	1.002
5	5.563	40	0.258	5.047	4.304	0.1390	1.456	1.322
		80	0.375	4.813	6.112	0.1263	1.456	1.263
6	6.625	40	0.280	6.065	5.584	0.2006	1.734	1.590
		80	0.432	5.761	8.405	0.1810	1.734	1.510
8	8.625	40	0.322	7.981	8.396	0.3474	2.258	2.090
		80	0.500	7.625	12.76	0.3171	2.258	2.000
10	10.75	40	0.365	10.020	11.90	0.5475	2.814	2.620
		80	0.593	9.564	18.92	0.4989	2.814	2.503
12	12.75	40	0.406	11.938	15.77	0.7773	3.338	3.13
		80	0.687	11.376	26.03	0.7058	3.338	2.98

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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE

PLANTAS POTABILIZADORAS

B O M B A S Y M O T O R E S

Ing. Domingo Díaz Salgado

noviembre, 1978

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

40

REGLAS

PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

WORTHINGTON

40 REGLAS

PARA EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE BOMBAS CENTRIFUGAS

Selección-Instalación-Operación-Mantenimiento

Por: Igor J. Karassik y Roy Carter.
De Worthington Corporation.

Las siguientes reglas, evidentemente fundamentales, ayudarán a obtener el servicio más seguro, el mantenimiento más económico, y la mayor vida posible de las bombas centrífugas. El mantenimiento adecuado no principia con la reparación o la reposición de las partes dañadas, sino con una buena selección e instalación, es decir, evitando que haya que reponer o reparar. Estas reglas versarán, por lo tanto, sobre cuatro temas bien diferenciados: Selección, Instalación, Operación y Mantenimiento.

Selección

1-Indíquese al fabricante de bombas, la naturaleza exacta del líquido a manejar.

Tal descripción debe explicar de qué líquido se trata, su composición y propiedades químicas y sus características físicas, entre las que no deben faltar: la temperatura de operación, el peso específico y la viscosidad y la presencia de cualquier substancia extraña en suspensión indicando el diámetro máximo de las partículas si se trata de sólidos.

2-Especifíquense los gastos o caudales máximos y mínimos que pueden llegar a necesitarse y la capacidad normal de trabajo.

Debe incluirse toda la gama de variaciones esperadas desde el mínimo hasta el máximo.

3-Se dará una información semejante, relativa a la presión de descarga o planos y datos para calcularla.

4-Proporciónese al fabricante un plano detallado del sistema de aspiración o succión, existente o deseado.

5-El fabricante necesita saber si el servicio es continuo o intermitente.

Esto evitará la instalación de una bomba para trabajo ligero en un servicio pesado, o viceversa.

6-Indíquese de qué tipo o tipos de energía se dispone para el accionamiento.

Recuérdese que la continuidad del servicio depende de la seguridad de una fuente constante de energía.

7-Especifíquense las limitaciones del espacio disponible.

Las bombas no deben ser instaladas en lugares reducidos que dificulten el mantenimiento y la inspección. Frecuentemente, es preferible utilizar una bomba vertical en lugar de la horizontal, cuando es vital la economía de espacio, o para obtener las mejores condiciones de succión.

8-Hay que estar seguros de que se dispone de un lote completo de refacciones o partes de repuesto.

Las bombas deben inspeccionarse periódicamente, y hay que reponer las partes desgastadas o dañadas. Aun en los casos en que no sea imprescindible la continuidad del servicio, deben tenerse disponibles partes de repuesto para permitir llevar a cabo puntualmente los programas de mantenimiento.

9-Consérvense suficientes partes de repuesto "a mano".

No todas las bombas son del tipo estándar, y el fabricante puede no tener en existencia permanente ciertas refacciones; pero recomendará cuáles son las que conviene que el usuario tenga siempre disponibles en su poder.

Instalación

10-Las bases de las bombas deben de ser rígidas.

Las bases de concreto construidas sobre terreno firme son las más satisfactorias. Si la bomba está montada sobre una base de acero, deberá colocarse directamente sobre los cimientos principales del edificio, vigas o muros, o tan cerca de ellos como sea posible.

11-Debe cimentarse la placa de asiento de la bomba.

Ello dará rigidez al conjunto, previniendo el deslizamiento lateral de la placa de asiento, y reducirá las vibraciones.

12-Debe comprobarse el alineamiento entre la bomba y su sistema de accionamiento.

Háganse las correcciones necesarias. Aun cuando una unidad se alinea en la fábrica antes de ser embarcada, es necesaria una cuidadosa comprobación en el "campo" o en la planta, debido al frecuente desalineamiento durante el tránsito. Si la bomba va a manejar líquidos calientes, la verificación debe efectuarse a la temperatura de operación.

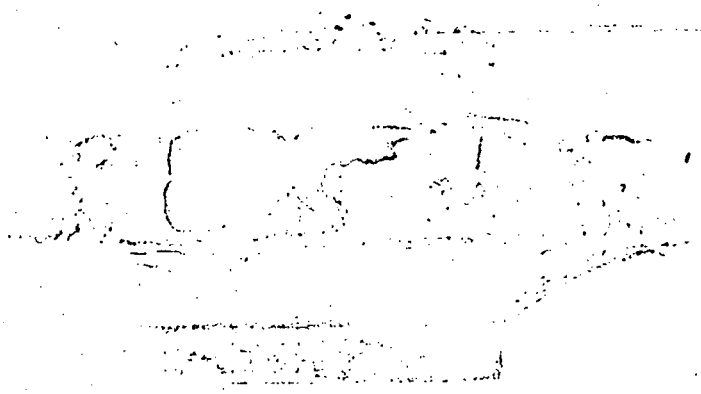
13-Las tuberías no deben ejercer esfuerzos sobre la bomba.

El alineamiento más cuidadoso de la bomba y de sus sistema de accionamiento puede desaparecer fácilmente si hay que forzar las tuberías para conectarlas con la bomba.

14-Úsense tuberías de diámetro amplio, especialmente en la (succión) aspiración.

Generalmente deben usarse tubos mayores, en una o dos medidas, que el diámetro de la brida o rosca de la succión. No deben usarse codos de pequeño radio en la aspiración de la bomba. No se instalarán tubos con codos o conexiones que produzcan cambios de dirección o de diámetro, tales que originen perturbaciones en la

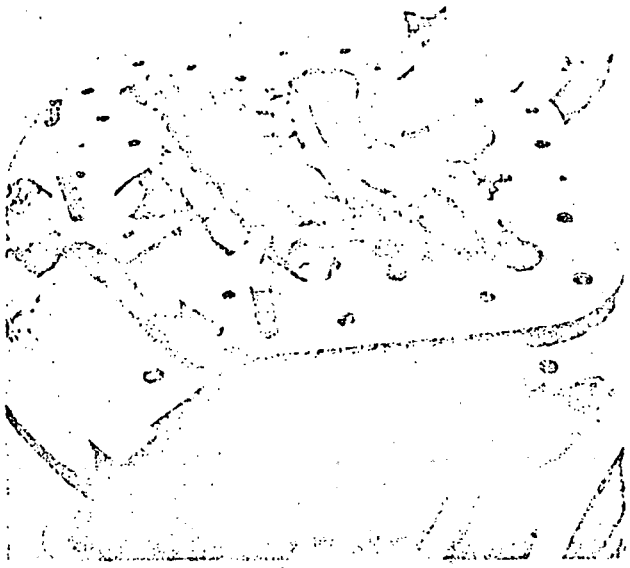
Carcaza que presenta pruebas evidentes de los efectos de "abrasión y corrosión" producidos por el líquido manejado. Si se hubiera dado al fabricante la información previa completa, éste hubiera podido seleccionar adecuadamente el material con que la bomba debía construirse.



Este impulsor muestra claramente los daños causados por la "cavitación" originada al vaporizarse el líquido en forma de burbujas dentro del impulsor y al condensarse éstas al salir de él a la zona de altas presiones, en forma de "implosiones" que ametrallan el material.
Esto se hubiera evitado indicando al fabricante la naturaleza exacta del líquido a manejar y las condiciones de trabajo y pidiéndole consejo sobre cómo instalar el sistema de succión. (Reglas No. 1 y No. 4).

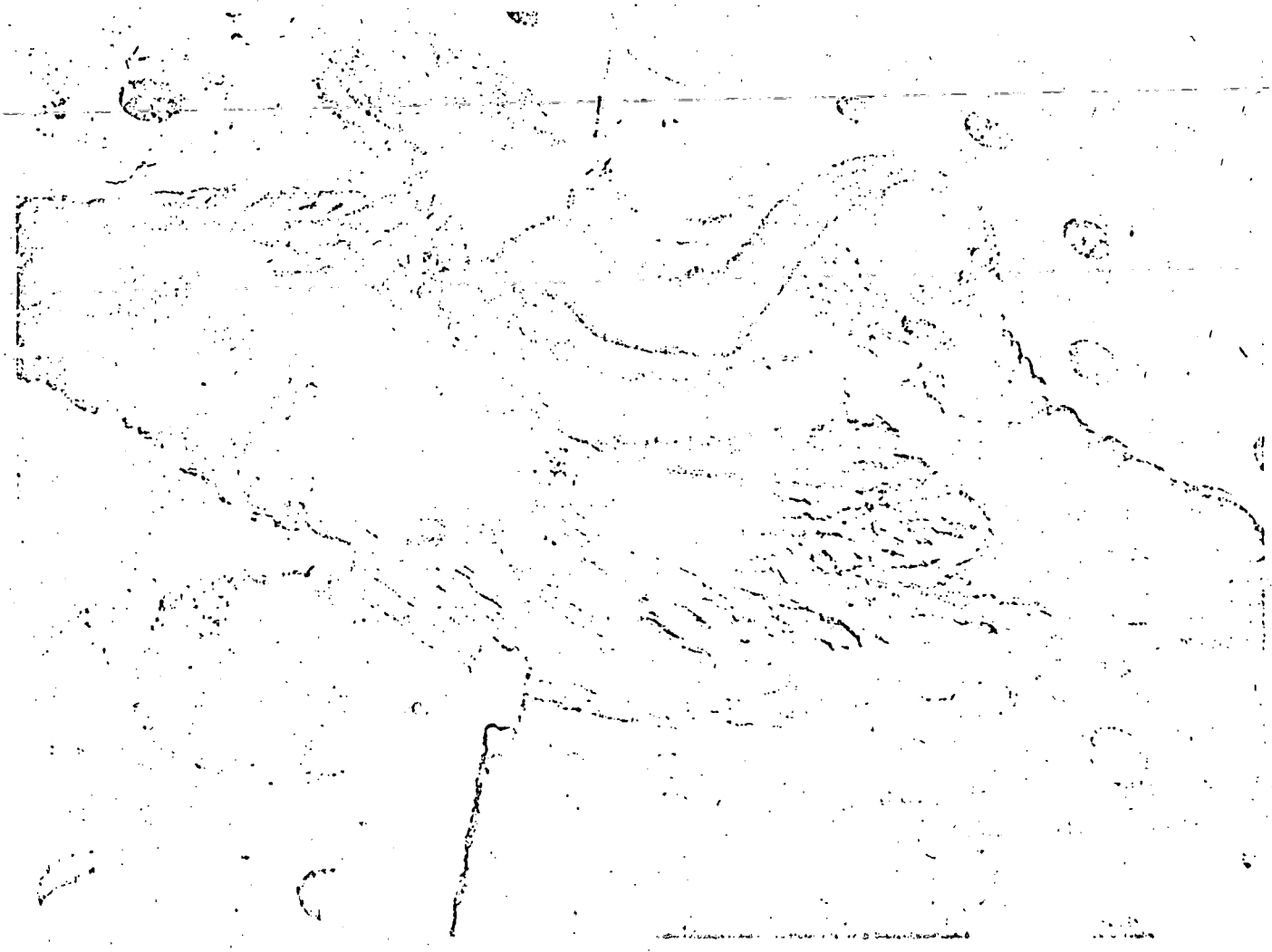
"La cavitación" dejó rastros palpables al resultar menor la presión Efectiva Neta de Aspiración (PENA-NPSH) que la requerida por el modelo de bomba utilizado. O el seleccionador no conocía el NPSH disponible, o el instalador no tuvo en cuenta el requerido. (Reglas No. 1 y No. 4).

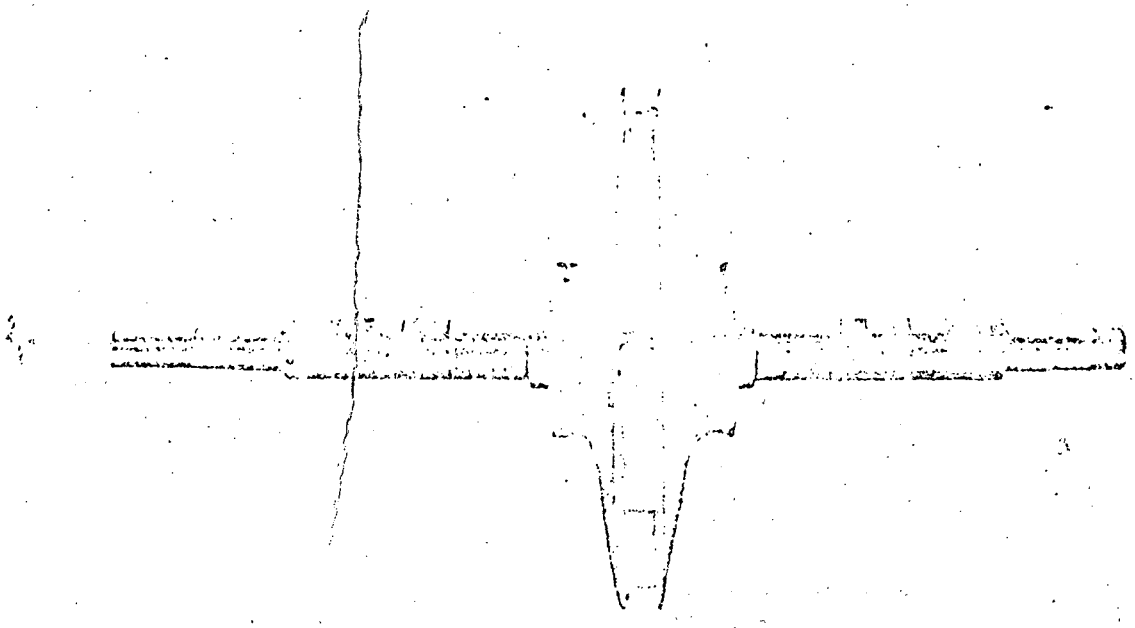
La "Corrosión", destruyó esta carcaza. Indudablemente que el remedio es el uso de otro material más resistente a las soluciones ácidas bombeadas. (Regla No. 1).



Las partículas "abrasivas" hicieron estragos en la bomba. El desconocimiento de las características precisas del fluido motivó una selección errónea. La solución será, o purificar el líquido antes del bombeo, o utilizar material más adecuado. Deberá estudiarse qué solución es la más económica. (Regla No. 1).

"Una economía mal entendida".
Restos de lo que fue una buena bomba que manejó indebidamente un líquido muy abrasivo a "alta velocidad".
Será más larga la vida útil del equipo si se utiliza una bomba de baja velocidad (mayor precio) y de material más resistente. (Regla No. 1).





Las flechas se deterioran y llegan a romperse al resultar víctimas, casi siempre indirectas, de muchos de los efectos que aquí se enumeran, desde el mal alineamiento hasta la corrosión y la abrasión, que destruyen o lesionan apoyos, baleros, anillos de desgaste, camisas, etc. Tales defectos repercuten siempre en las flechas, dañándolas con efectos secundarios.

distribución adecuada del flujo dentro de la bomba.

15-Colóquense válvulas de purga en los puntos elevados de la bomba y de las tuberías.

Si los vapores o gases purgados son nocivos o inflamables, entúbense las salidas hasta lugares seguros.

16-Instálense conexiones ("calientes") para altas temperaturas.

Las bombas que vayan a manejar líquidos calientes deberán tener conexiones para altas temperaturas.

17-Instálese una conexión de derivación (by-pass).

Si existe la posibilidad de tener que operar la bomba hasta el punto de gasto cero, instálese una válvula de derivación. Esta no deberá descargar cerca de la succión de la bomba, sino en algún punto lo suficientemente alejado para que pueda disiparse el calor desarrollado en la bomba al trabajar sin circulación de líquido.

18-Dispóngase un abastecimiento adecuado de agua fría.

Refrigérense los rodamientos y las cajas de empaque.

19-Instálense medidores de flujo y manómetros adecuados.

Sin estos instrumentos, no se sabrá cómo está trabajando la bomba.

Operación

20-No debe estrangularse nunca la succión de la bomba para disminuir el gasto.

Tal práctica produce peligrosa "cavitación" en la bomba. El estrangular la descarga es más sencillo y no causa perjuicios.

21-No se operará la bomba "en seco".

El líquido bombeado es necesario para enfriar y lubricar los conductos internos. Una bomba que trabaja sin líquido, generalmente se sobrecalienta y se traba. NUNCA DEBE ARRANCARSE UNA BOMBA CON LA VALVULA DE ASPIRACION CERRADA.

22-No debe trabajarse una bomba con gastos excesivamente bajos.

Primero, aunque el servicio admita, en determinadas circunstancias, capacidades reducidas, el diseño de la bomba puede ser tal que dichos gastos provoquen gran reacción radial y hasta rotura de la flecha. Segundo, el diseño hidráulico puede ser tal que un caudal reducido produzca averías en el impulsor. Tercero, parte de la energía consumida por la bomba se gasta en calentar el líquido y, si no hay flujo suficiente de éste, la bomba se sobrecalentará y se pegará. Como una regla burda, el gasto mínimo, para proteger la bomba contra sobrecalentamientos, es aproximadamente de 30 galones por minuto y por cada cien caballos de potencia absorbida en el punto de gasto cero.

23-Efectúense observaciones frecuentes.

Investíguense inmediatamente los cambios que se observen en el ruido de una bomba trabajando. Obsérvense frecuentemente las temperaturas de los rodamientos y de las cajas de empaque. Háganse lecturas frecuentes de los manómetros y compruébense los caudales, para ver si las presiones y los gastos corresponden a las condiciones normales de operación.

24-NO DEBE PRETENDERSE IMPEDIR TOTALMENTE EL GOTEO DE LAS CAJAS DE EMPAQUE.

Se necesita un ligero goteo para proporcionar lubricación y enfriamiento adecuados a la empaquetadura.

25-No debe usarse agua demasiado fría en los rodamiento enfriados por agua.

Si así se hiciera, se provocaría un enfriamiento excesivo en las cajas de los baleros, produciéndose la condensación de la humedad, que se emulsiona con el lubricante.

26-No debe utilizarse demasiado lubricante en los rodamientos "antifricción".

Si se está usando grasa, el rodamiento deberá estar "empacado" con grasa aproximadamente en su tercera parte. Si es de lubricación por aceite, el nivel no deberá exceder del marcado en el indicador correspondiente.

27-Si las cajas de empaque necesitan ser "re-empaquetadas", úsese empaquetadura nueva.

No se añadan uno o dos anillos al empaque viejo, pues se puede incluso tapar la abertura del líquido sellador.

28-INSPECCION SEMESTRAL.

1-Compruébese el libre movimien-

to de los casquillos de la caja de empaque, límpiense y acéitense los pernos y las tuercas de los casquillos del prensa-estopas, e inspecciónese la empaquetadura.
2-Chéquese el alineamiento entre la bomba y su accionamiento, y corríjase si es necesario.
3-Drénense los baleros lubricados por aceite, y vuélvanse a llenar los depósitos correspondientes.
4-En los baleros lubricados por grasa verifíquese la cantidad y la consistencia de la grasa.

29-INSPECCION ANUAL.

Hágase anualmente una inspección total de cada bomba.
Especialmente:
1-Remuévanse los rodamientos para limpiarlos y ver si no presentan defectos.
2-Quítense los empaques e inspecciónese el desgaste de las camisas.
3-Desconéctese el cople y compruébese el alineamiento.
4-Verifíquese y límpiese el drenaje, el sello hidráulico y la tubería del enfriamiento por agua.
5-Recalíbrense todos los instrumentos y háganse pruebas completas del rendimiento de la bomba.

Mantenimiento y Reparación

30-No debe desmontarse totalmente una bomba para su inspección general.

A menos de que exista una evidencia definitiva de que el rendimiento de la bomba ha decrecido, o de que se advierta ruido o sobrecarga de la máquina motriz que revelan un serio problema interno.

31-Es preciso tener un gran cuidado en el desmontaje.

Téngase mucho cuidado al efectuar una revisión completa. Con bombas de carcaza bipartida horizontalmente, levántese la parte superior verticalmente, de manera que no se dañen las partes internas. Extráigase el rotor también verticalmente para evitar daños a los impulsores, anillos de desgaste, etc. Márquense todas las partes tal y como vayan siendo removidas. Examínense todas las piezas y puntos importantes. Anótense todas las tolerancias existentes y compárense con las originales.

32-Es necesario un cuidado especial al examinar y reacondicionar los ajustes "metal con metal".

Póngase especial empeño en hacer el trabajo correctamente donde haya partes fijas, tales como los anillos de carcaza que asientan en la misma.

33-Límpiense completamente los conductos de agua de la carcaza y repíntense.

Esto debe siempre efectuarse al hacer una revisión completa. Obsérvense la corrosión y la erosión de los conductos. Si se aprecian desgastes excesivos, estúdiese con el fabricante la posibilidad y la conveniencia de la substitución por materiales más resistentes.

34-Al iniciarse una revisión total, deben tenerse disponibles juntas nuevas.

Exceptuando algunos diseños especiales, la mayoría de las carcazas de las bombas centrífugas tienen juntas que suelen dañarse al desmontar la bomba. Las nuevas juntas deberán tener el mismo espesor que las originales. Los "filos" interiores de las juntas deben ajustar con precisión a lo largo de las partes internas de los conductos de líquido de la bomba. Las superficies de contacto de la junta deben estar absolutamente limpias antes de colocarse ésta.

35-Estúdiense la erosión, la corrosión y los efectos de cavitación en los impulsores.

Insistimos en que, si el desgaste es muy severo, debe consultarse al fabricante, porque puede haber disponible otro material más adecuado. Si existen serias muestras de cavitación, puede ser posible cambiar la bomba de lugar para mejorar la succión aumentando la altura neta positiva de aspiración (ANPA ó NPSH) disponible, y cabe la circunstancia de que exista otro impulsor de diseño especial, de menor NPSH requerido, que pueda trabajar satisfactoriamente con las condiciones de aspiración existentes.

36-Verifíquese la "concentricidad" de los nuevos anillos de desgaste antes de montarlos en los impulsores.

Si hay necesidad, después de esta verificación hágase un ligero "rebaje" para lograr que las piezas sean concéntricas.

37-Revísense todas las partes montadas en el rotor.

Compruébese si son coaxiales las superficies que encajan unas en otras. Así se evitará flexionar la flecha cuando se aprietan las tuercas de la bomba.

38-Para volver a obtener servicio adecuado de la caja de empaques, muchas veces es preciso cambiar la flecha o las camisas de flecha.

En algunos casos, será posible reconstruir estas superficies por soldadura o por metalización. Sin embargo, tal método generalmente no es bueno y es preferible montar piezas nuevas.

39-Opérese con gran cuidado al montar los baleros sobre la flecha.

Es un método sencillo calentar ligeramente los baleros, provocando así la expansión del anillo interior, lo que es preferible a obligar a la fuerza a la flecha a pasar por él. Si así se hace, la fuerza debe aplicarse con una prensa de tornillo o con un martillo blando, golpeando alternativamente en uno y otro lado de un tubo que asiente sobre el anillo interior del rodamiento.

40-Llévese un registro completo de las inspecciones y reparaciones.

El llevar tal registro revelará las bases del mantenimiento preventivo, lo que reducirá la frecuencia y el costo del trabajo del mantenimiento propiamente dicho.

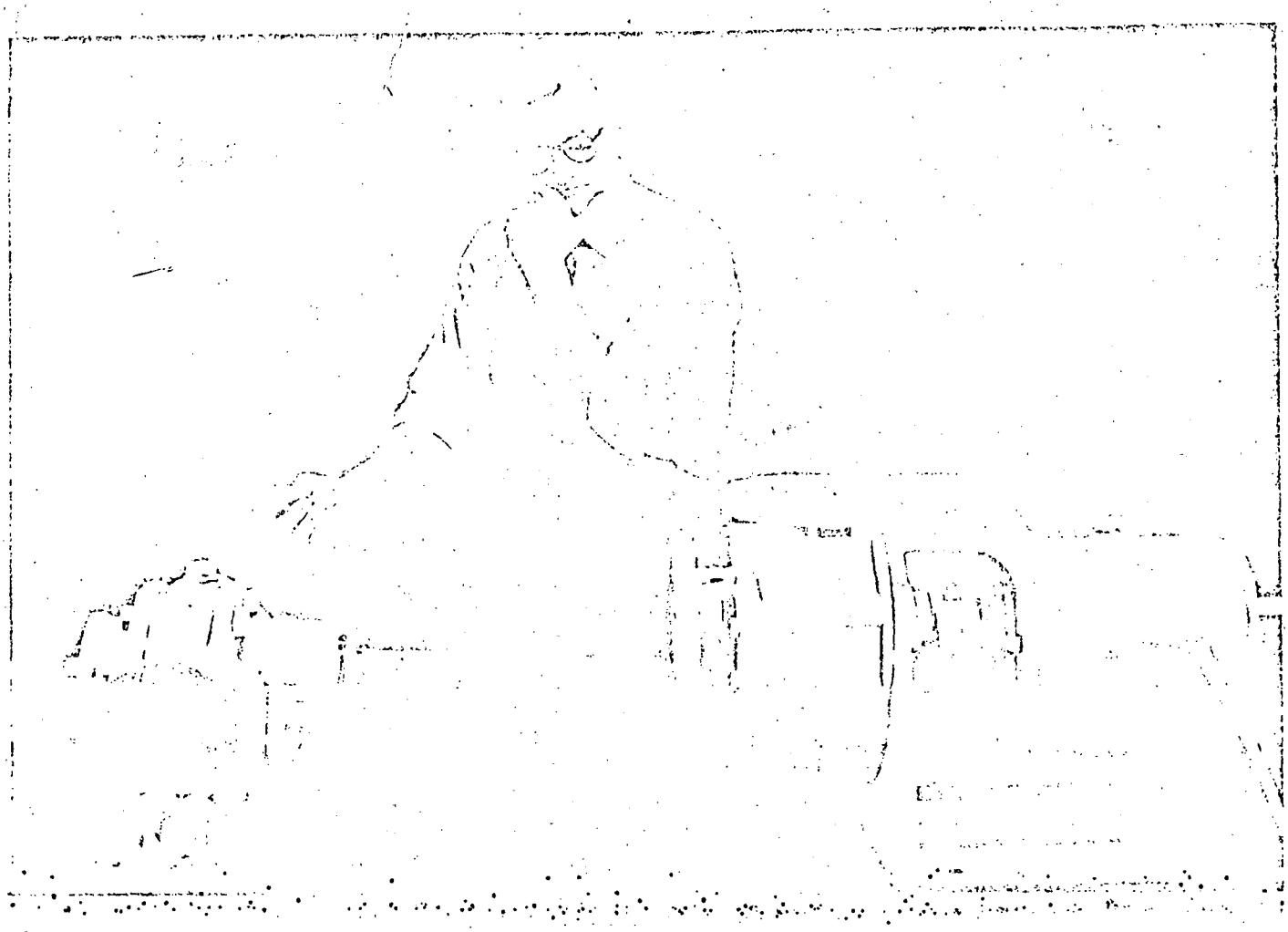
Traducido de "Power and Fluids"

OFICINAS DE VENTAS:

FABRICA, VENTAS Y SERVICIO
MEXICO, D. F.
Av. Poniente 140 No. 859
Esq. Av. Ceylán
Tel. 567 51-00 Telex 0177-2-527
Colonia Industrial Vallejo

SUCURSAL EN MONTERREY
Gonzalitos No. 919 Tel. 46-76-80
Telex 038-797

SUCURSAL EN GUADALAJARA
López Mateos Sur No. 573 local 16
Teléfono 21-38-09



¿Rotativa? ¿Centrífuga? ¿ Cuál será la mejor para su caso específico?

Algunas veces le será fácil elegir. Por ejemplo:

1. Usted escogerá sin titubear una bomba rotativa de engranes cuando tenga que manejar líquidos bastante viscosos (de más de 2,500 S.S.U.) o cuando sean deficientes las condiciones de succión, o si es preciso un desplazamiento positivo del líquido.

2. Usted no dudará en utilizar una bomba centrífuga si trata de manejar agua o mezclas acuosas; líquidos corrosivos o abrasivos, o que posean baja viscosidad (2,500 S.S.U. o menos), o productos derivados del petróleo.

3. Pero la duda le detendrá en muchos casos que no estén incluidos en la anterior clasificación, y aun más, en aplicaciones cuyos líquidos a manejar posean, combinadas, características que aparecen en 1 y 2. Otros aspectos del problema complicarán su elección: Costo inicial, costo de operación, cualidad lubricante del líquido, espacio disponible, características de la instalación.

En el caso 3, no vacile ni un instante: haga una visita, telefonée o escriba a WORTHINGTON DE MEXICO, S. A.

UN TECNICO EXPERTO RESOLVERA SU DUDA.

OFICINAS DE VENTAS:

SUCURSAL EN MONTERREY

Gonzalitos No. 919 Tel. 46-76-80
Telex 038-797

FABRICA, VENTAS Y SERVICIO
MEXICO, D. F.

Av. Poniente 140 No. 859
Esq. Av. Ceylán
Tel. 567-51-00 Telex 017712-527
Colonia Industrial Vallejo

SUCURSAL EN GUADALAJARA

López Mateos Sur No. 573 local 16
Teléfono 21-38-09

WORTHINGTON DE MEXICO, S. A.

WORTHINGTON

TABLA DE FALLAS DE BOMBAS CENTRIFUGAS

10 Síntomas	47 Posibles Causas (Los números corresponden a la tabla inferior.)
I - La bomba no da agua:	1—2—3—4—6—11—14—16—17—22—23.
II - Capacidad insuficiente	2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—14—17—20 22—23—29—30—31.
III - Presión baja:	5—14—16—17—20—22—29—30—31.
IV - La bomba se "desceba" después de arrancar:	2—3—5—6—7—8—11—12—13.
V - La bomba necesita potencia excesiva:	15—16—17—18—19—20—23—24—26—27—29—33—34 37.
VI - La caja de empaques gotea demasiado:	13—24—26—32—33—34—35—36—38—39—40.
VII - La empaquetadura se destruye rápidamente:	12—13—24—26—28—32—33—34—35—36—37—38—39 40
VIII - La bomba vibra o hace ruido:	2—3—4—9—10—11—21—23—24—25—26—27—28 30—35—36—41—42—43—44—45—46—47.
IX - Los baleros tienen poca duración:	24—26—27—28—35—36—41—42—43—44—45—46—47.
X - La bomba se sobrecalienta o se "traba":	1—4—21—22—24—27—28—35—36—41.

Descripción de las CAUSAS, que revelan los REMEDIOS.

(Los números romanos indican los síntomas que pueden acusar cada falla)

FALLAS DE LA SUCCION

1—La bomba no ha sido cebada (I-X).
2—La bomba y/o la tubería de succión no están completamente llenas del líquido (I - II - IV - VIII).
3—La altúra de aspiración es demasiado grande (I - II IV - VIII).
4—Margen insuficiente entre la presión en la succión y la presión de vaporización del líquido a bombear (I - II - VIII - X).
5—Cantidad excesiva de gas o de aire en el líquido (II - III - IV).
6—Bolsas de aire en la línea de succión (I - II - IV).
7—Entrada de aire en la línea de succión (II - IV).
8—Entrada de aire en la bomba a través de la caja de empaque (II - IV).
9—Válvula de pie demasiado pequeña (II - VIII).
10—Válvula de pie parcialmente obstruída (II - VIII).
11—La entrada de la tubería de succión está insuficientemente ahogada (I - II - IV - VIII).
12—La tubería del "sello de agua" está tapada (IV - VII).
13—La caja de sello está mal colocada en la caja de empaques, impidiendo que el líquido sellador la inunde para formar el sello (IV - VI - VII).

FALLAS DEL SISTEMA

14—Menor velocidad de la debida (por baja frecuencia de la corriente eléctrica o por motor de número de polos incorrecto; por estar mal regulada la velocidad del motor de combustión; por quedar sobrecargado el motor, o frenado el grupo en alguna forma (I - II III).
15—Mayor velocidad de la indicada por error en el número de polos, etc. (V).
16—Sentido de rotación equivocado (Puede que baste intercambiar los cables de dos fases) (I - III - V).
17—La carga total dinámica del sistema es mayor que la estimada al calcular la bomba (alturas o distancias erróneas, diámetros insuficientes de las tuberías o de las conexiones, etc.) (I - II - III - V).
18—La carga total dinámica del sistema es menor que la que sirvió para seleccionar la bomba (Datos equivocados, que producen un caudal excesivo) (V).
19—Peso específico del líquido diferente del estimado (V).
20—La viscosidad del líquido no es la que sirvió para calcular el equipo (II - III - V).
21—Se está trabajando con menor gasto del debido (VIII - X).
22—Bombas que se hacen trabajar indebidamente "en paralelo" (I - II - III - X).

FALLAS MECANICAS

23—Cuerpos extraños llegan al impulsor (I - II - V - VIII).
24—Desalineamiento (V - VI - VII - VIII - IX - X).
25—La cimentación no es rígida o firme (VIII).
26—Flecha doblada (V - VI - VII - VIII - IX).
27—Alguna parte que gira está rozando con otra fija (V - VIII - IX - X).
28—Baleros dañados (VII - VIII - IX - X).
29—Anillos de desgaste en mal estado (II - III - V).
30—Impulsor averiado (II - III - VIII).
31—Defectuosa junta de empaque de la carcaza, que permite fugas internas, y recirculaciones (II - III).
32—La flecha o las camisas de la flecha están desgastadas o rayadas en puntos en contacto con la empaquetadura (VI - VII).
33—Empaque mal colocado (V - VI - VII).
34—El tipo de la empaquetadura usada no es el adecuado para las condiciones de trabajo (V - VI - VII).
35—La flecha está descentrada, por desalineamiento o por estar dañados los baleros. (VI - VII - VIII - IX - X).
36—Rotor "desbalanceado", provocando vibraciones (VI - VII - VIII - IX - X).
37—El manguito (collarín) del prensaestopas quedó demasiado apretado, impidiendo el flujo del líquido necesario para la lubricación del empaque (V - VII).
38—Falla en el abastecimiento del líquido enfriador de las cajas de empaque (VI - VII).
39—Excesiva tolerancia en la caja de empaque entre la flecha y la carcaza, ocasionando que el empaque pase al interior de la bomba (VI - VII).
40—Tierra o arena en el líquido sellador, ocasionando que las flechas o las camisas de flecha se rayen (VI - VII).
41—Excesivo empuje causado por fallas mecánicas dentro de la bomba o por la del dispositivo que tiende a establecer el equilibrio hidráulico, si la bomba está dotada de tal aditamento (VIII - IX - X).
42—Cantidad excesiva de grasa o de aceite en la caja de rodamientos antifricción, o falta de enfriamiento, lo que provoca una elevación excesiva de temperatura en los cojinetes (VIII - IX).
43—Falta de lubricación (VIII - IX).
44—Instalación inadecuada de los baleros (maltratados al ensamblar), mal montaje de baleros múltiples o empleo de baleros sencillos cuando deben ser dobles (VIII - IX).
45—Tierra o polvo en los baleros (VIII - IX).
46—Oxidación de los baleros, debida a entradas de agua dentro de sus cajas. (VIII - IX).
47—Enfriamiento excesivo de baleros enfriados por agua, provocando la condensación de la humedad atmosférica dentro de sus cajas y haciendo que el agua de condensación pase al aceite (VIII - IX).

WORTHINGTON DE MEXICO, S. A.

FCW 1099-S2-1-668 3500

WORTHINGTON

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO

DIRECCION GENERAL DE OPERACION

INSTRUCTIVO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO ELECTRICO PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE LA C. A. V. M.

AGOSTO DE 1977

I N D I C E

C A P I T U L O I

C A P I T U L O II

CAPITULO I

SUBESTACION ELECTRICA

Tomando en consideración las capacidades de los equipos de bombeo, las tarifas de energía eléctrica y la localización de los pozos para abastecimiento de agua potable que construye la Comisión de Aguas del Valle de México, se ha llegado a la selección de subestaciones cuyo diagrama unifilar se muestra en la fig. No. 1, donde se muestran los elementos más simples para proteger y controlar la energía en alta tensión.

Por lo que respecta a la alimentación de la Compañía de Luz, ésta en su poste de acometida instala un juego de fusibles SMD-20 y un juego de apartarrayos cuyo neutro está eléctricamente conectado al sistema de tierras en alta tensión de la subestación, además en este poste van montadas las mufas de los cables que alimentan a la subestación.

Las subestaciones son del tipo compacta con gabinetes metálicos para servicio intemperie y comprenden la sección de acometida (1), sección de interruptor-fusibles-apartarrayos (2) y sección de acoplamiento en algunos casos (3) (fig. 1).

La sección de acometida está destinada a la recepción del cable alimentador y alojamiento de las mufas terminales de éste, propiedad de la Compañía de Luz.

En esta sección no se aloja el equipo de medición en alta tensión; siempre y cuando la carga del pozo no exceda de 200 KW, lo cual permite localizar el equipo de medición en el lado de baja tensión a la salida del transformador (fig. 1).

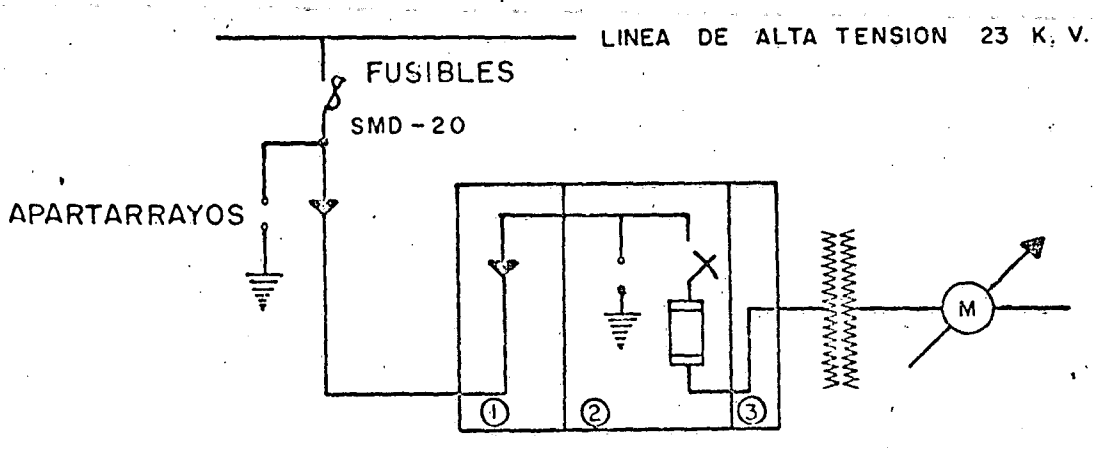


Figura 1

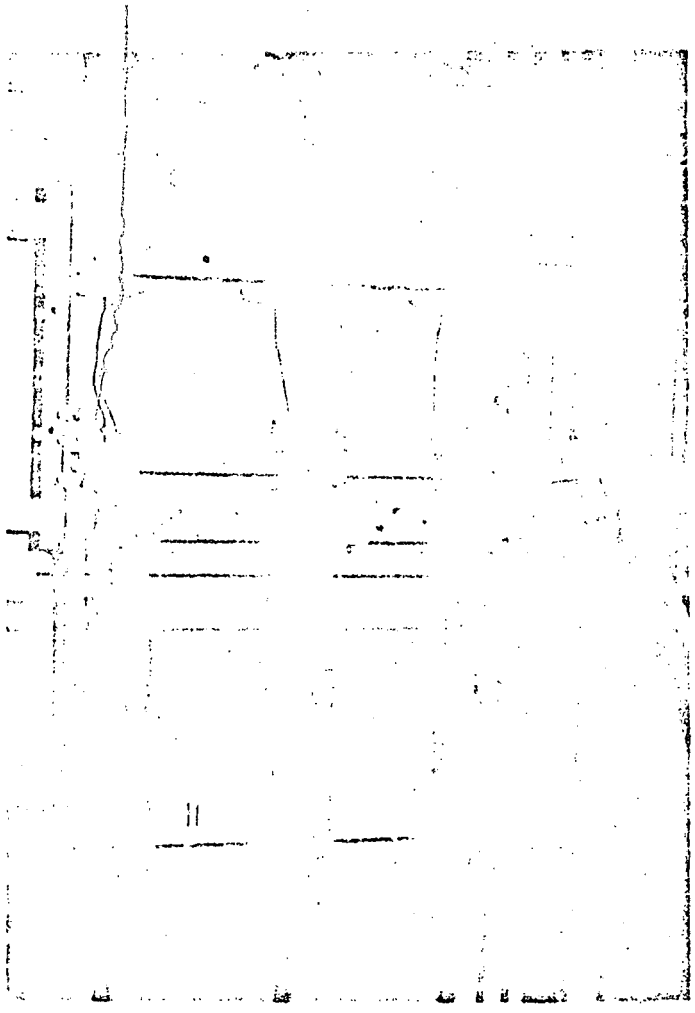
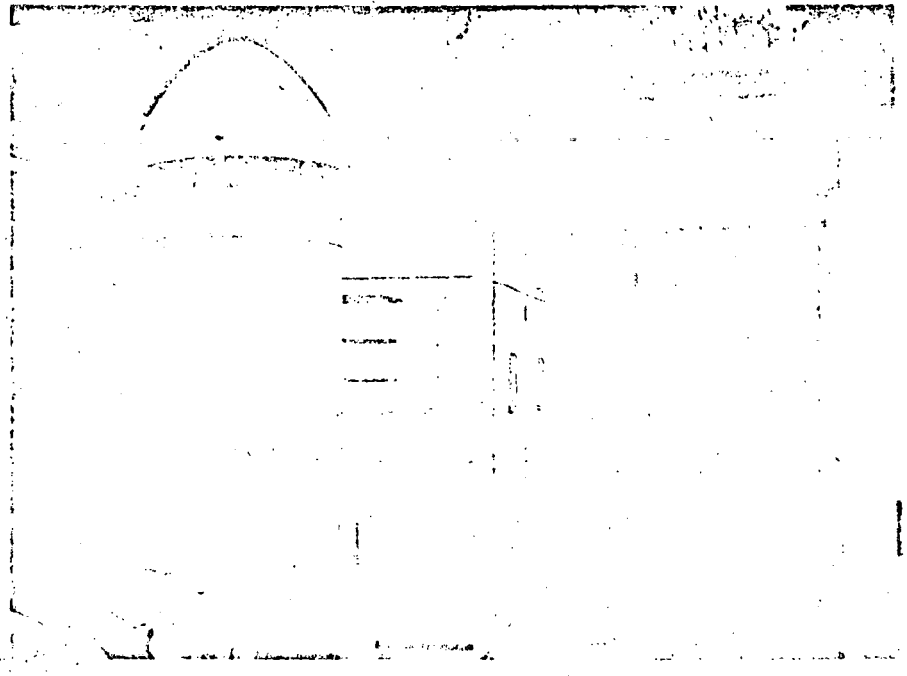


Figura 3



SUBESTACION COMPACTA SERVICIO INTEMPERIE POZOS SISTEMA SUR

de palanca y va provisto de cuchillas de corriente principales y auxiliares, montadas sobre un marco de base con ayuda de aisladores de resina sintética acanalados que sirven de apoyo. Las cuchillas de paso de corriente se accionan por medio de un eje de maniobra que descansa sobre el marco de base.

Las cuchillas de corriente secundarias se han conectado en paralelo con las principales, con el objeto de que, al tener lugar la desconexión, se hagan cargo de la extinción del arco. Por este motivo, en los puntos de contacto las cuchillas secundarias de corriente son de un material resistente al fuego y están provistas de una cámara plana de extinción de arco. Mediante un dispositivo mecánico especial, se ha conseguido que las cuchillas de arco se accionen siempre después de las cuchillas seccionadoras principales.

Aplicación

Los seccionadores de carga son aparatos de maniobra para instalaciones de alta tensión, que pueden interrumpir corrientes de servicio y que al desconectar dan lugar a una apertura apreciable. Se emplean para conectar líneas aéreas o cables, para seccionar circuitos, así como para la conexión y desconexión de transformadores con carga.

El seccionador de carga está adosado a los correspondientes elementos de protección, tales como fusibles de alta tensión, dispositivos de maniobra rápida (accionamiento de maniobra brusca), acoplamiento de desenganche libre y dispositivos de disparo.

En el proceso de apertura, las cuchillas de arco quedan retenidas, estableciendo pleno contacto, hasta que las cuchillas seccionadoras principales recorren el 80% aproximadamente, de su trayecto de maniobra. Entonces, las cuchillas de arco se liberan y se desconectan bruscamente, extinguiéndose el arco en la cámara.

Funcionamiento

Al tener lugar la conexión, las cuchillas de arco se retienen mediante pernos de bloqueo y un disco de levas, a suficiente distancia de las cámaras de extinción, hasta que se conectan las cuchillas seccionadoras principales. Durante el proceso de cierre de estas últimas, se tensan los muelles, los cuales provocan la actuación de las cuchillas de arco después de su liberación en conexión de maniobra brusca. Como consecuencia de este proceso de maniobra, las citadas cuchillas se conectan directamente sin avances previos.

Características

El seccionador de carga está provisto con 3 portafusibles para fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva, que en combinación con éste pueda eliminar las fallas de cortocircuito en las instalaciones. En el caso de fundirse un fusible el seccionador de carga debe abrirse automáticamente, ya que abren el circuito antes del primer pico de corriente (fig. 4) haciendo que la duración del arco sea muy corta produciendo sobretensiones elevadas.

Este tipo de fusibles (limitadores de corriente) de alta tensión y alta capacidad además de requerir la desconexión inmediata en el momento de falla de cortocircuito, requieren de dispositivos de sobrecarga que actúen sobre el mecanismo de disparo del seccionador, por lo cual hay que tener especial atención para la calibración y mantenimiento de estos elementos.

Las curvas características de estos fusibles se muestran en la fig. 5, las cuales se necesitan para la coordinación eléctrica con otros aparatos de protección, con hacer notar que estos fusibles sólo protegen contra corto circuito y que tienen una tolerancia de ± 20%.

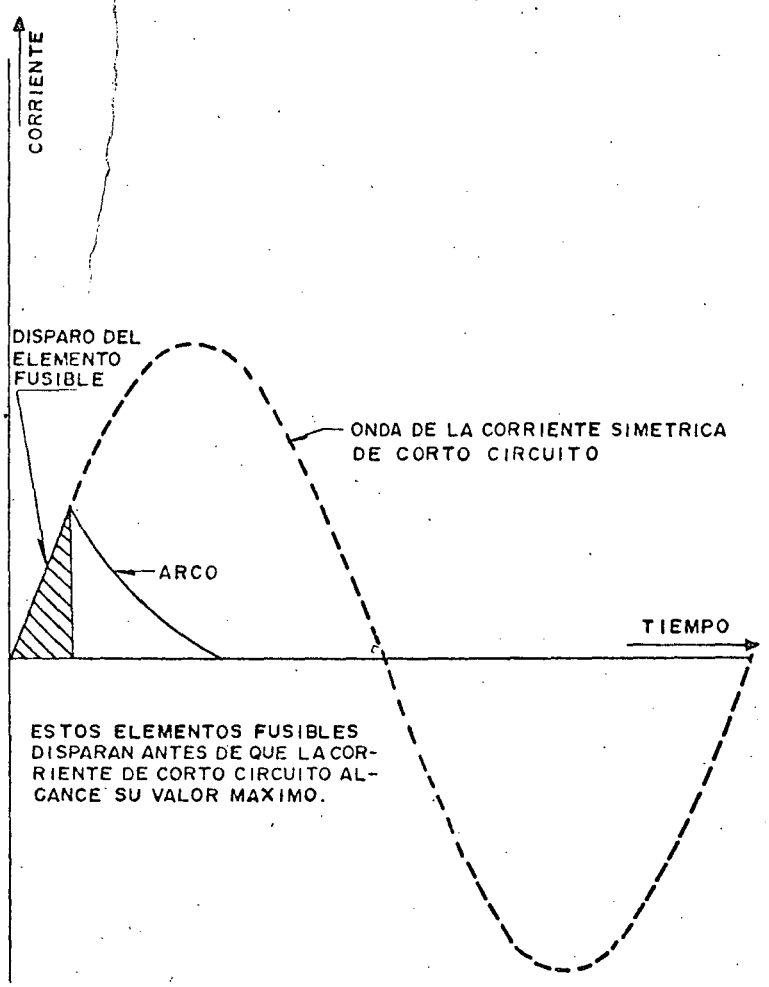


Figura 4

Explicación gráfica de la operación de los fusibles limitadores de corriente.

Selección de fusibles

En la selección de estos fusibles es muy importante tomar en consideración la corriente de entrada que es de 12 a 14 veces la corriente nominal en 0.1 seg. para transformadores. Por ejemplo para seleccionar la capacidad de los fusibles de un transformador de 225 KVA en 23 KV, se tiene:

$$I_n = \frac{KVA \times 1\,000}{\sqrt{3} \times E}$$

$$I_n = \frac{225 \times 1\,000}{1.73 \times 23\,000}$$

$I_n = 5.65$ Amp.

$I_e = I_n \times 14$

$I_e = 79.1$ Amp.

Con este valor en las curvas de la fig. 5 se determina el valor del fusible, que es de 10 Amp.

Sin embargo, el fabricante de estos fusibles proporciona una tabla para la selección de este tipo de fusibles con diferentes capacidades de transformadores (ver tabla I).

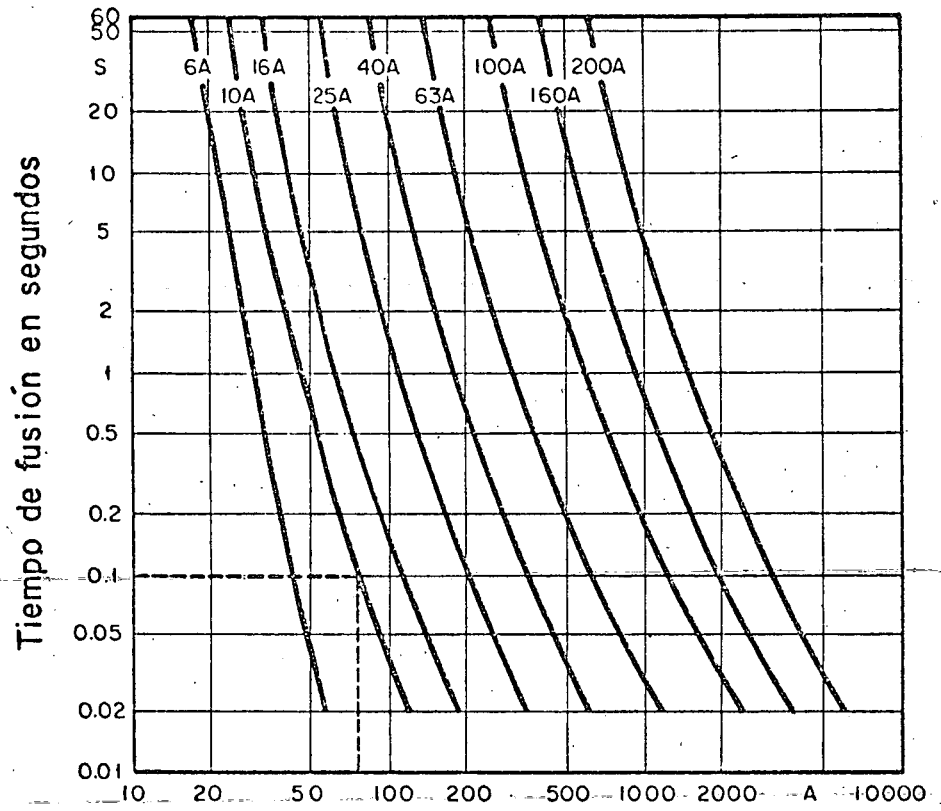


Figura 5
Intensidad de la corriente A (valor efectivo) curvas características del tiempo de fusión.

Selección de los fusibles

TABLA I

Potencia nominal del Transformador	TENSION DE SERVICIO		
	13.2 - 13.8 KV	20 - 23 KV	34.5 KV
KVA	A	A	A
45	6	6	—
75	10	6	—
112.5	10	6	6
150	16	10	6
225	25	16	10
300	25	16	16
500	40	25	25
750	63	40	40
1 000	100	63	40
1 500	125	100	63

A = Intensidad nominal de los fusibles.

Operación y Mantenimiento

La subestación de energía eléctrica para un consumidor que contrata con una empresa vendedora de fluido eléctrico en alta tensión, es el lugar de la industria o establecimiento en general que recibe mucha atención en un principio, ya que desde ese lugar provendrá la energía eléctrica en baja tensión (440/254 Volts) para el funcionamiento del equipo, alimentación del alumbrado y equipos auxiliares, pero el cual después de transcurrido algún tiempo debido a que trabajan casi sin hacer ruido y no ofrecen problemas, nada más queda como el lugar donde es mejor no entrar porque es peligroso, pues hay "Alta Tensión" y queda medio olvidado.

En la actualidad es necesario darle cabida en el programa de mantenimiento, con objeto de lograr que el equipo que la forma, opere en las mejores condiciones para que tenga una larga duración, no ofrezca peligro para el personal y evitar que se suspenda un servicio por una falla del equipo de la subestación.

Para dar mantenimiento a estas subestaciones, es necesario tener muy presente la secuencia de operación de estos equipos.

Cuando sea necesario desconectar la subestación para realizar trabajos de mantenimiento o eventualmente por fusión de algún fusible, colóquese los guantes para manejo de alta tensión, opere sobre una tarima aislante apropiada y observe las siguientes operaciones:

a) Cerciórese si se debió a un cortocircuito, en su caso, es recomendado por el fabricante que con este tipo de fallas se reemplacen los 3 fusibles, ya que es posible pierdan su calibración los que no accionaron.

b) Desconecte todas las cargas de baja tensión.

c) Opere el seccionador con carga hasta la posición "O", en donde se elimina el trinquete que únicamente permite abrir la puerta de acceso al seccionador si éste está desconectado.

d) Abra la puerta del seccionador bajo carga, dejándola así por espacio de 15 segundos antes de realizar algún trabajo dentro del gabinete. **Cerciórese que tanto las cuchillas principales como las de arqueo, hayan operado correctamente.**

e) Descargue a tierra por medio de un cable flexible conectado al sistema de tierras y a la punta de una pértiga haciendo contacto en las terminales de alta tensión del transformador.

f) Proceda al cambio de fusibles, observando que la flecha indicadora esté en la posición correcta.

g) Una vez ya instalados los fusibles y habiendo quedado en orden, proceda a cerrar la puerta.

h) Opere con rapidez la palanca operadora del seccionador de la posición "O" a la posición "I".

Una vez cada seis meses o por lo menos una vez al año, es necesario pedir una libranza a la empresa suministradora de energía eléctrica, para que se desconecte el servicio por un tiempo razonable, procediendo a la limpieza y mantenimiento general, para lo cual se hacen las siguientes recomendaciones:

1) Limpieza de las superficies de los aisladores con trapos limpios y secos.

2) Asegurarse que las uniones portadoras de energía de alta tensión, se encuentren bien apretadas (recorrer todos los tornillos).

3) Verifique el funcionamiento del seccionador bajo carga, conectándolo y desconectándolo, para ello introduzca suavemente en el orificio del

INSTRUCTIVO DE OPERACION Y MANTENIMIENTO DE EQUIPO ELECTRICO PARA SISTEMAS DE BOMBEO DE LA C.A.V.M.

INTRODUCCION

Cuando se conoce y se entiende el funcionamiento de los equipos electromecánicos para sistemas de bombeo, los resultados de operación serán positivos, evitando así la suspensión de tan importante servicio.

Preocupación constante de la Comisión de Aguas del Valle de México es el de preparar a su personal que tiene a su cargo la operación y conservación de estas máquinas, para lo cual se ha elaborado el presente instructivo tomando como base los equipos instalados en sus sistemas de bombeo.

Estos equipos de bombeo requieren de un buen sistema de control y distribución de energía eléctrica que les permita obtener los mejores resultados de operación.

Básicamente en las estaciones de bombeo existen tres secciones que controlan y protegen la energía eléctrica hasta obtener la energía mecánica requerida para el bombeo y son las siguientes:

Subestación Eléctrica
Equipo de Baja Tensión
Motor Eléctrico.

La subestación eléctrica comprende los elementos básicos para controlar la energía en alta tensión proporcionada por la compañía suministradora de flujo eléctrico, además de proteger en esta sección las sobrecargas y cortocircuitos que reciba el transformador, que es de primordial importancia en una estación de bombeo.

Otra de las secciones con que cuenta una estación de bombeo, es el equipo de baja tensión que permite el control del motor de la bomba y servicios auxiliares de la estación, así como el de eliminar las fallas de sobrecarga y cortocircuitos, de tal manera que afecten lo menos posible al transformador.

Todo lo anterior es con el objeto de obtener la energía eléctrica cómo y cuando se requiera para hacer posible la operación del motor eléctrico, máquina que transformará la energía eléctrica a energía mecánica indispensable para el bombeo.

disco externo del mecanismo el vástago de la palanca hasta la ranura roja, accione sin demasiada fuerza la palanca desde la posición "O" hasta "I", observando que tanto las cuchillas principales como las de arqueo, conecten con la precisión requerida y que el contacto sea el adecuado, cualquier anomalía que note al realizar esta prueba no trate de remediarla, es más conveniente que personal especializado de la fábrica realice el ajuste correspondiente.
Conecte el seccionador como se ha indicado y observe al pulsar cualquiera de los balancines donde opera el vástago de los fusibles, la apertura inmediata de las cuchillas.

4) Verifique que los clips de abrazadera de los fusibles, tengan el adecuado contacto.

5) Una vez reanudado el servicio, energice la subestación únicamente después de haber efectuado las pruebas de campo aquí descritas, NO lo haga antes de haberse cerciorado realmente que todo está en orden. **RAZONE SIEMPRE** la secuencia de operaciones, **¡recuerde, su primer error es el último!**

Protección con interruptor RAF-6 y fusibles limitadores de corriente

En los Ramales Los Reyes Línea Ecatepec (plano CA-D-2-264), los Reyes Línea Ferrocarril Nezahualcóyotl y Tizayuca-Pachuca, la Comisión de Aguas del Valle de México ha instalado subestaciones similares a las descritas anteriormente sólo que como medio desconectador en alta tensión se utiliza un interruptor RAF-6 (fig. 6). Asimismo estos interruptores requieren relevadores (fig. 7) para protección contra sobrecarga, y de fusibles limitadores de corriente para despejar fallas de cortocircuito que operen el mecanismo de disparo del interruptor.

Para la selección de fusibles en estas subestaciones deben tomarse en consideración las indicaciones anteriormente descritas ya que también se utilizan fusibles limitadores de corriente. Asimismo las secuencias de operación y mantenimiento son las mismas, sólo que por lo que respecta al interruptor deberá verificarse el correcto funcionamiento del mecanismo que es por medio de una palanca y a base de vueltas para el cierre y apertura de éste. No hay que olvidar también el chequeo de los balancines donde opera el vástago de los fusibles.

Por lo que respecta a los relevadores, es muy conveniente checar su correcto funcionamiento haciéndole pasar la corriente de sobrecarga por medio de un aparato que mida tiempo-corriente (fig. 8).

Protección con fusibles de potencia

En los Ramales Atlamica y Teoloyucan se han instalado subestaciones con un sistema de operación y protección diferente a los anteriores utilizando únicamente fusibles de potencia en ácido bórico tipo SMD-20 (fig. 9).

Estas subestaciones son también del tipo compacto con gabinetes metálicos para servicio intemperie y comprenden la sección de acometida (1), la sección de fusibles (2).

Como puede verse en el plano CA-G-35 el medio de desconexión y protección es el mismo fusible SMD-20, que para hacer la maniobra de desconexión es **indispensable** quitar la carga del transformador parando el motor de la bomba por medio del circuito de control y con el interruptor general de baja tensión, además estas subestaciones cuentan con un interruptor límite de seguridad, instalado en la puerta de la sección de fusibles, que al momento de abrirla interrumpe el circuito de control del arrancador de la bomba.

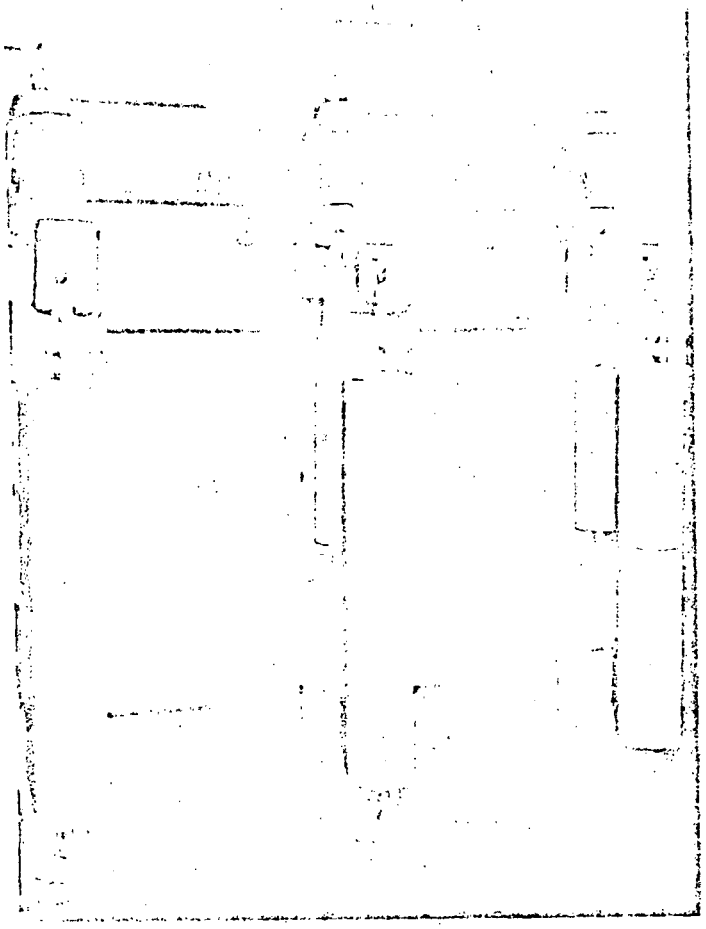


Figura 6

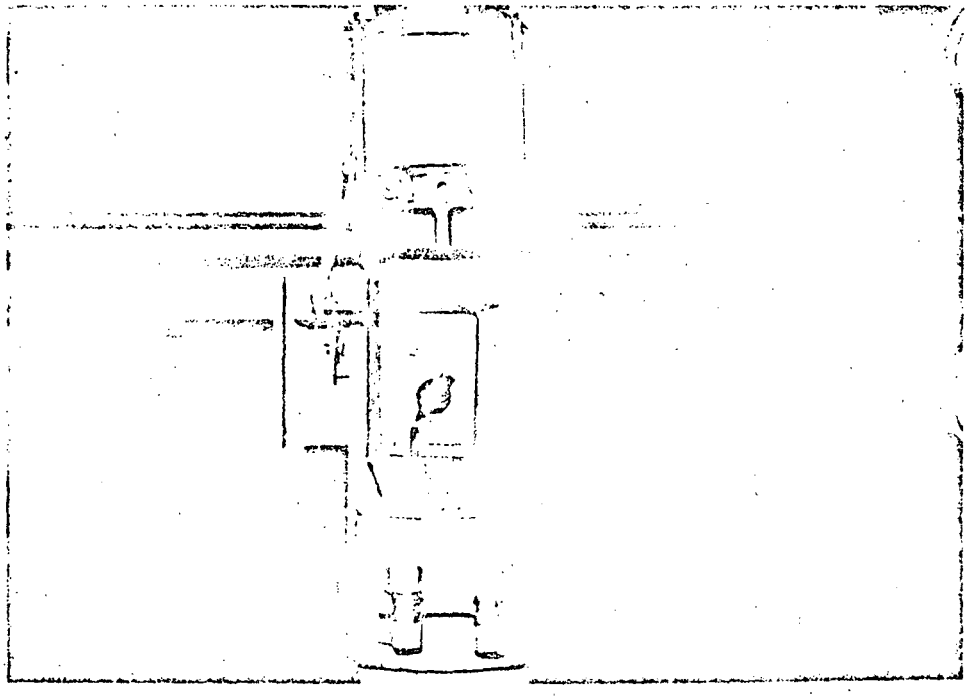


Figura 7

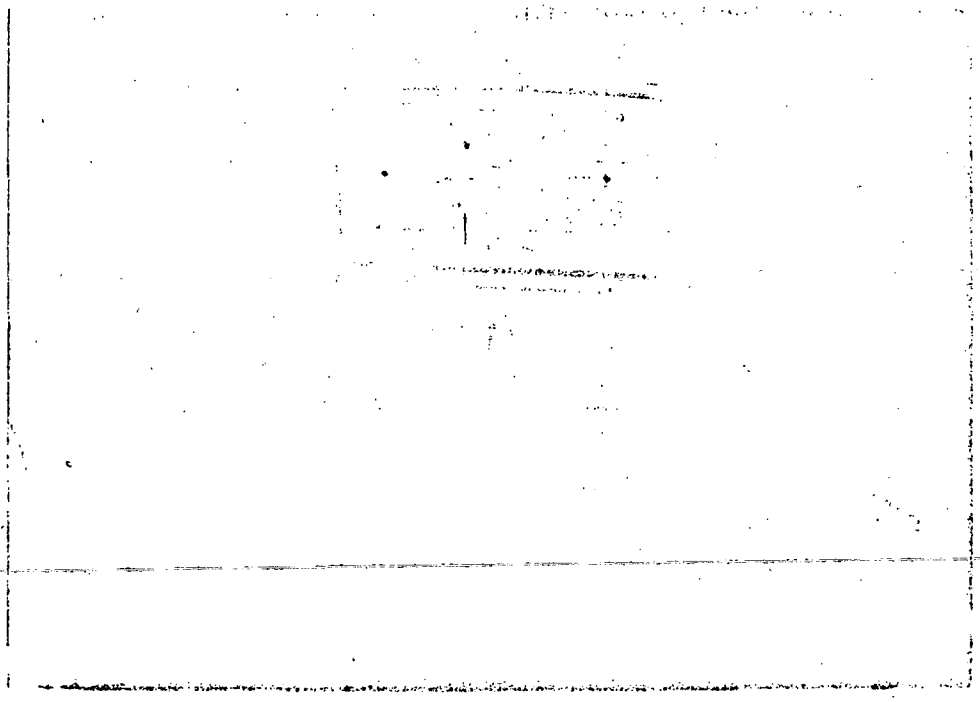


Figura 8

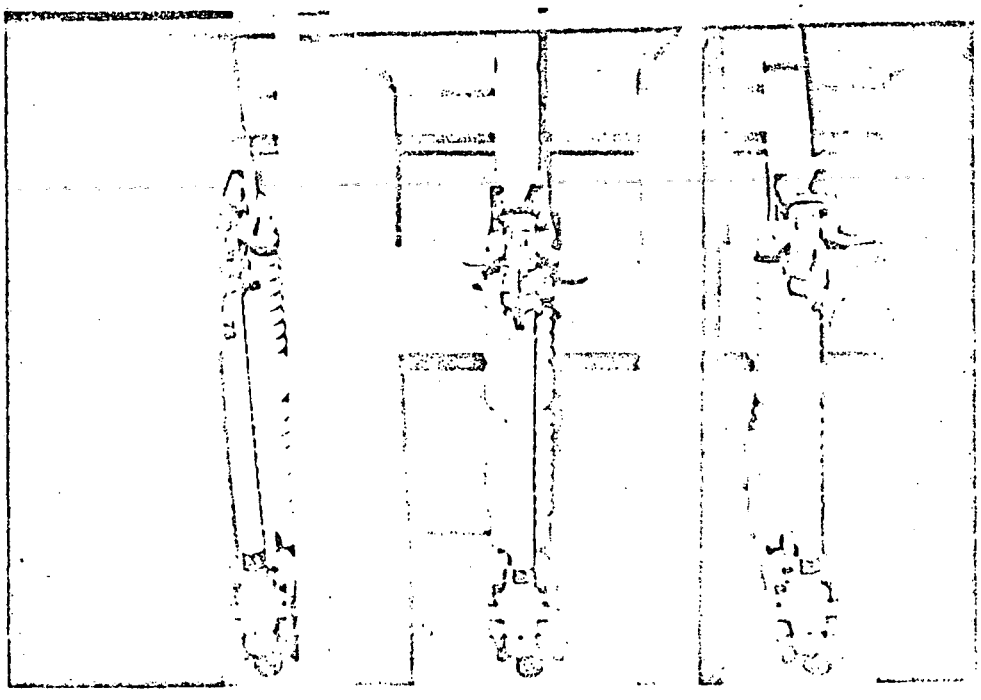
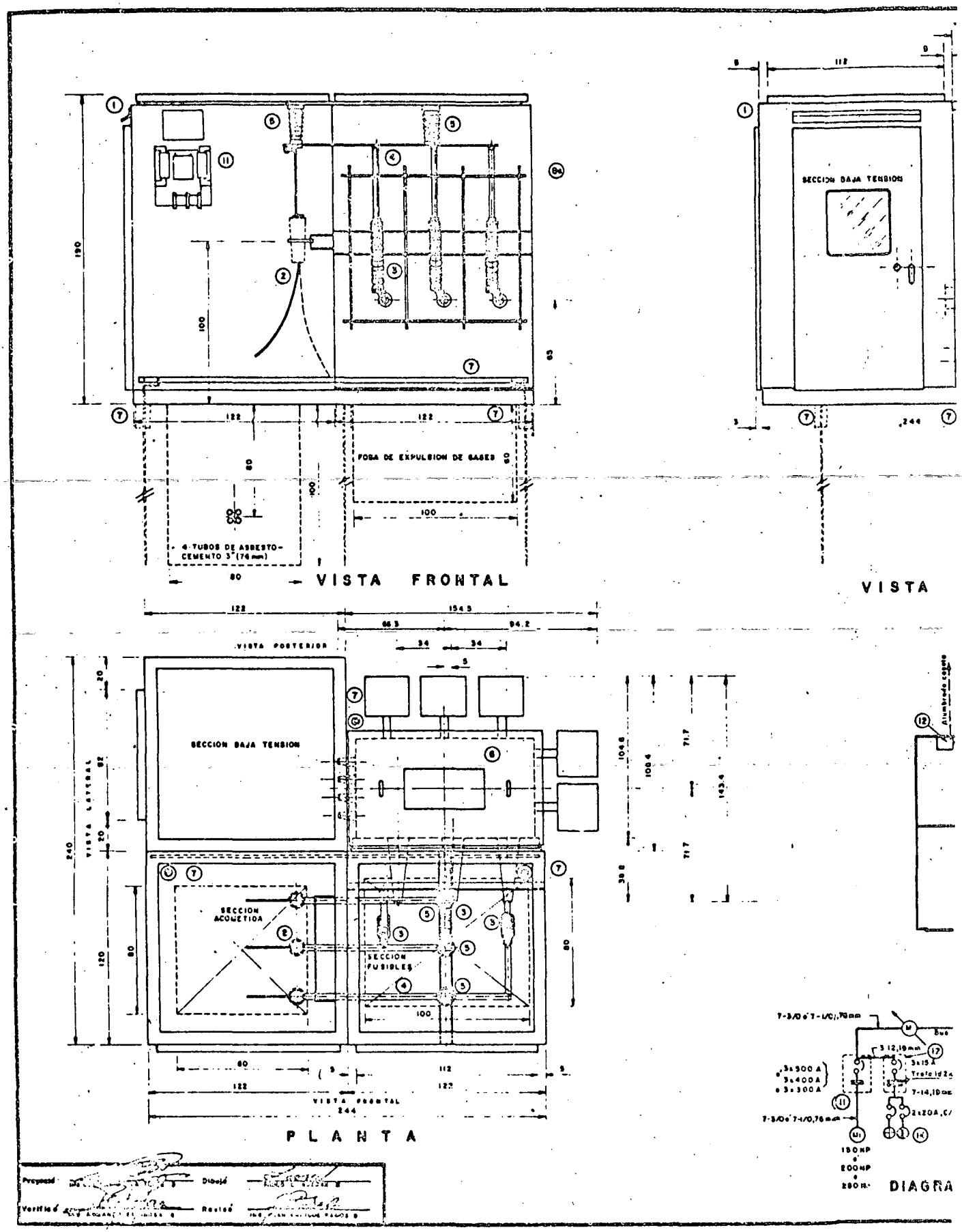
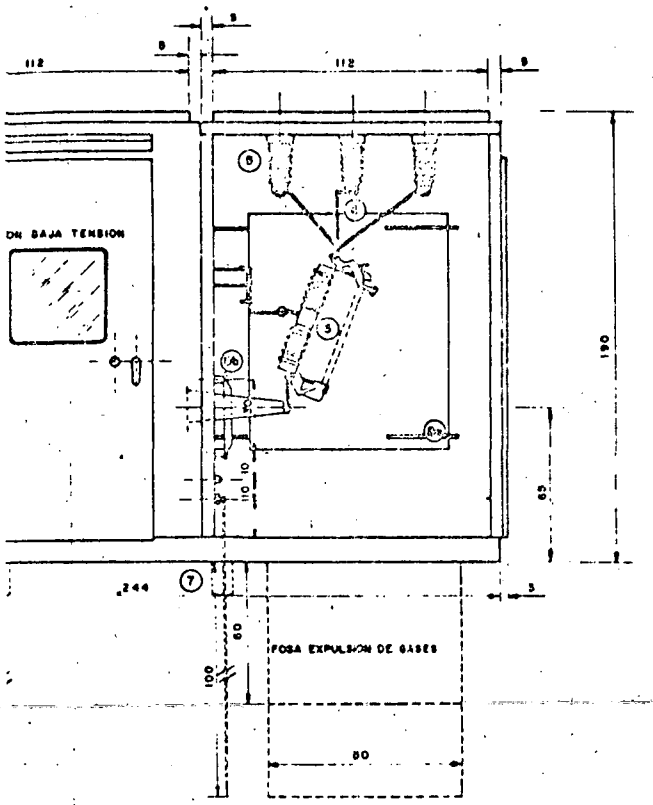


Figura 9


SECCION BAJA TENSION
FOSA DE EXPULSION DE GASES
4 TUBOS DE ASBESTO-CEMENTO 3" (76 mm)
VISTA FRONTAL
VISTA
VISTA POSTERIOR
VISTA LATERAL
SECCION ACOMETIDA
SECCION FUSIBLES
VISTA FRONTAL
PLANTA
Alumbrado exterior
DIAGRA
Proyectó
Dibujó
Verificó
Revisó

18a.



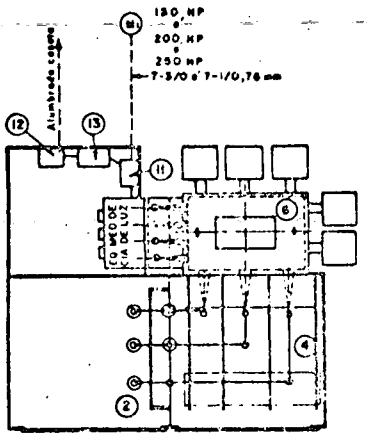
VISTA LATERAL

RELACION DE EQUIPO MATERIAL Y DATOS COMPLEMENTARIOS

No.	DESCRIPCION	MARCA	EX-DGE
1	Subestación compacta servicio intemperie, fabricada con lámina de acero rolada en frio de 3.18 mm de espesor (CAL 11 USG) Soldados a un proceso previo de desoxidacion y acabados con dos capas de esmalte gris ASA - 61 secados al horno, formada por tres secciones, una de acometida para Cia de luz otra para alojar un juego de fusibles de potencia y otra para baja tension, con puertas embisagradas		4842
2	Mufas para acometida de la Cia Suministradora		
3	Cortocircuitos de potencia en ácido bórico Tipo SMD - 20 apertura vertical, Tipo indicador, 23 KV, 200 E Amp 500 MVA simetricos.	S & C.	4245
4	Línea de alimentacion (Buses) formada por barras de cobre de 51x6 mm		
5	Aislador soporte de Resibloc para 23 KV, Tipo 525, Flasheo en seco 110 KV, en húmedo 75 KV	BALTEAU	4313
6	Transformador autoenfriando en aceite de 150, 200 ó 250 KVA, 20x23 KV conexión Delta, 440/254 V conexión Estrella, 3 ø 50/60 C P S		2930
7	Sistema de tierras formado por barra de Cu A lo largo del gabinete y cable de Cu desnudo semiduro Cal 1/0 AWG conectado a varillas de Cu Tipo Copperweld de 3.05 m x 1.50 cm diametro	CONDUMEX	2884
8	Pértiga de 1.82 m. x 32 mm. de ø, de fibra de vidrio con herramienta Universal, para operar fusibles de Potencia		
8a	Mampara de Baelas, de 9.5 mm		
8b	Resistencia calefactora		
	MATERIAL USADOS EN BAJA TENSION		
9	Conductores de Cu., Forro vinanel 600 calibres indicados	CONDUMEX	2884
10	Tubería conduit galvanizada pared gruesa, diámetros indicados	CUAUTEMOC	2795
11	Arrancador magnético combinado A T C	C H	
12	Centro de carga Tipo C H 4 S	C.H.	
13	Transformador monofásico de 440/220 - 127 V		
14	Contacto monofásico.	DOMEX	3367
15	Conduleta línea ovalada para conexiones	CROS N.	

NOTAS:

- El arrancador de la bomba se desconectará mediante un dispositivo que al momento que se abra la puerta de la seccion de fusibles de la subestacion.
- La entrada de los tubos se determinará cuando Cía. de Luz indique la localización del poste de acometida



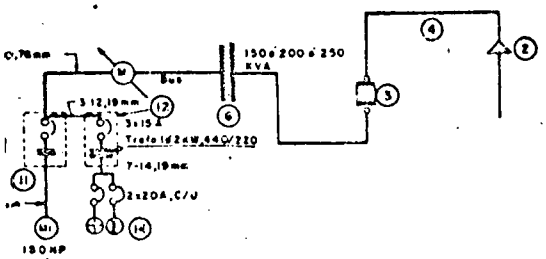


DIAGRAMA UNIFILAR

SRH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
DIRECCION TECNICA

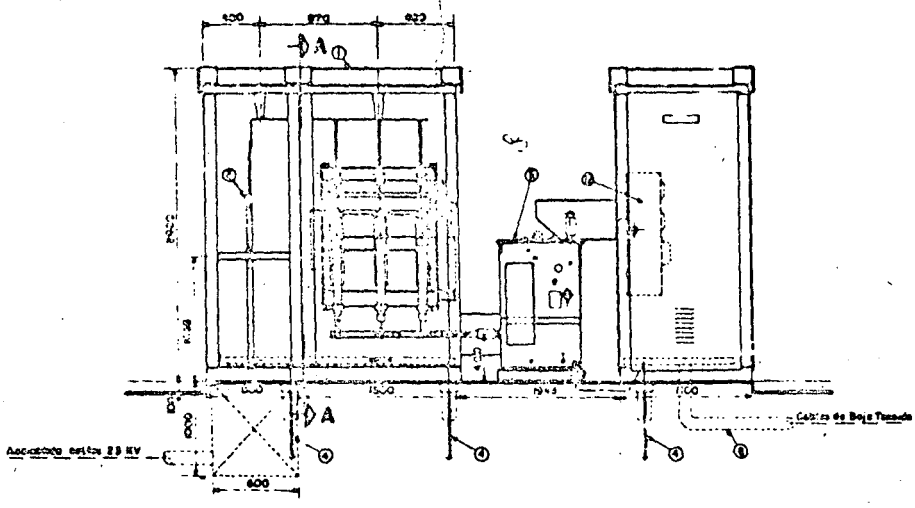
SUBESTACION COMPACTA SERVICIO INTEMPERIE HASTA 200 KV

VOCAL SECRETARIO — VOCAL EJECUTIVO

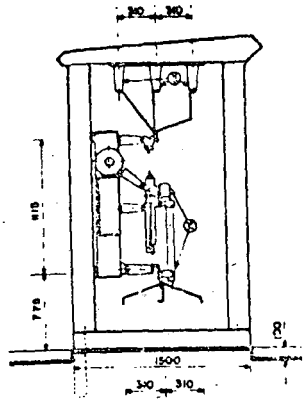
SECRETARIO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y PRESIDENTE DE LA COMISION

MEXICO, D.F. MARZO - 1974

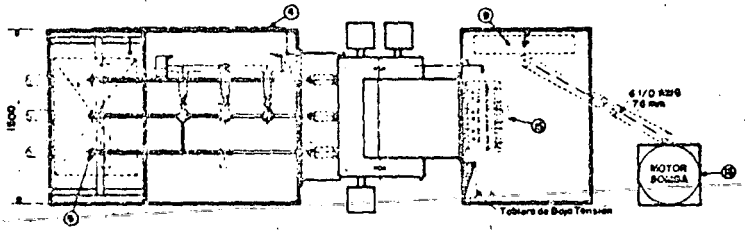
CA - 0 - 38



VISTA FRONTAL



CORTE A-A



VISTA EN PLANTA

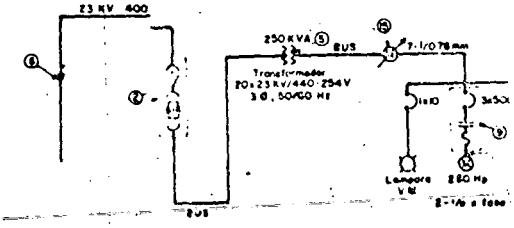
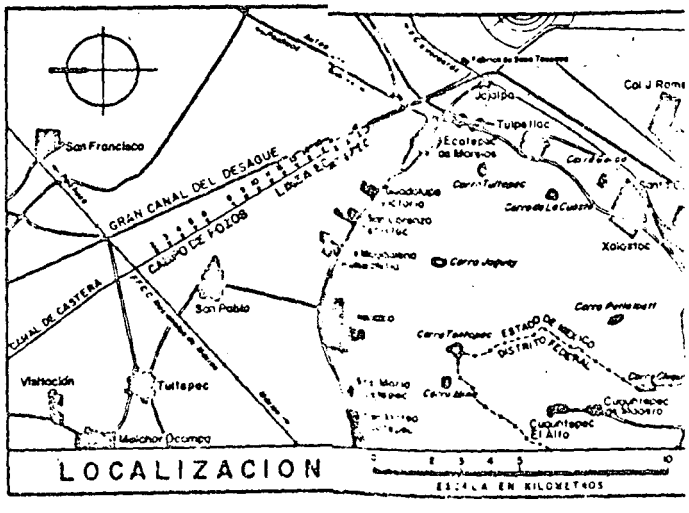
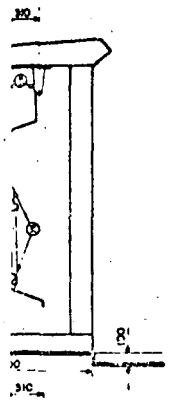


DIAGRAMA UNIFIL



LOCALIZACION

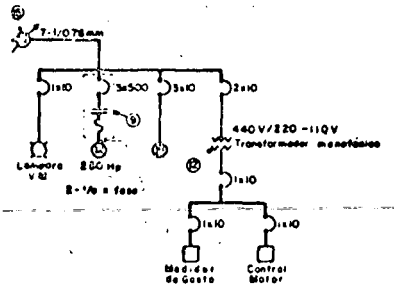
Planeó		Dibujó	
Revisó		Revisó	



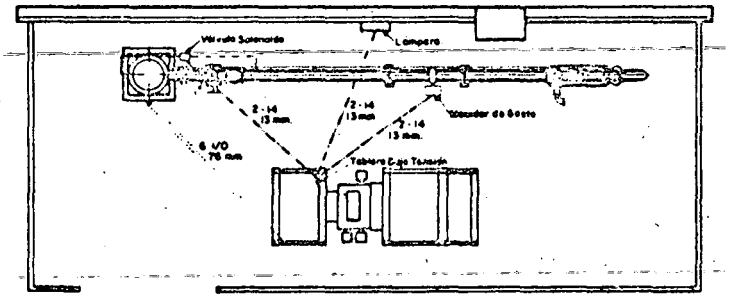
A - A

RELACION DE EQUIPO, MATERIAL Y DATOS COMPLEMENTARIOS

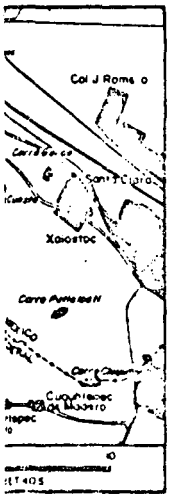
NUM.	DESCRIPCION	MARCA	SIC-DGE
1	Gabinete Estandar servicio intemperie, para 24 KV, lámina en base calibre Núm 10 y 12		7865
2	Interruptor tripolar para 24 KV, 500 A, equipado con fusibles y restauradores, tipo RAF-6		7232
3	Aisladores para 24 KV, Voltaje de flameo en seco 110 Kv, Humedo 75 Kv.		6080
4	Sistema de tierras formado por solera de cobre, cable desnudo Cal. 1/0 7 Hilos y varilla Copperweld, barra principal de tierra en 1 1/2" x 1/4"	Condumex	2864
5	Transformador auto enfriado en aceite de 250 KVA, 20x23 KV conexión Delta, 440/254 V conexion Estrella, 3 Ø, 50/60 c p s		2425
6	Mufa 23 KV		
	MATERIAL USADO EN BAJA TENSION		
7	Conductores de Cu, forro vinamel 900 calibres indicado	Condumex	2864
8	Tubería conduit galvanizado, pared gruesa diámetros indicados	Conduletamex	2795
9	Arrancador magnético combinado para motor de embobinado dividido	Cutler Hammer	3486
10	Interruptor termomagnético industrial 1 polo 10 A, 600 V	Westinghouse	Trasalta
11	Interruptor termomagnético industrial 3 polos, 10 A, 600 V	Federal Pacific	
12	Transformador monofásico de 500 VA, 440/220 -110 V.	Cutler Hammer	.3406
13	Contacto trifásico	Domex	
14	Conduleta línea ovalada para conexiones	Domex	
15	Equipo de medición de C L F		
16	Motor eléctrico vertical flecha hueca de 250 HP, embobinado dividido	U S	



UNIFILAR



PLANTA DE CONJUNTO



APROBACION
SIC-DGE

NOTA
Este Plano anula y sustituye al CA-D-2-237

SRH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
DIRECCION TECNICA

PROYECTO DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE
ZONA NORTE
SISTEMA ECATEPEC
RAMAL LOS REYES - LINEA ECATEPEC
SUBESTACION COMPACTA SERVICIO INTEMPERIE HASTA 200 KW

VOCAL SECRETARIO — VOCAL EJECUTIVO
SECRETARIO DE RECURSOS HIDRAULICOS — PRESIDENTE DE LA COMISION

PERITO RESPONSABLE
INGENIERO DE LA TORRE R.
Reg. SIC-DGE

MEXICO, D.F.
FEBRERO-1975

CA - D - 2 - 264

Interrupción de la falla

La interrupción de una falla es producida en el fusible SMD-20 después de que el elemento fusible se funde; un movimiento de alta velocidad de la varilla de arqueo impulsado por un resorte provoca una rápida elongación del arco en los materiales sólidos contenidos en la cámara de arqueo y por una eficiente acción deionizante de los gases generados por una reacción química de estos materiales sólidos. Para la eliminación de fallas pequeñas, el arco es expulsado dentro de una cavidad de materiales especiales que sueltan cantidades adicionales de deionizantes, teniendo como resultado la formación de un recubrimiento dieléctrico el cual impide la reginición del arco (fig. 10).

Después de que el circuito ha sido interrumpido con el arco extinguidor, la unidad fusible cae, pudiéndose dar cuenta del fusible que ha fallado, esta caída es provocada por el alfiler de disparo, el cual está colocado en la parte superior del resorte que en el momento de falla opera el seguro de sujeción de esta unidad fusible.

Características

Este tipo de fusibles (de potencia en ácido bórico) cuando se instalan en el primario de los transformadores en subestaciones, protege al mismo contra fallas primarias y secundarias, para lo cual se requiere tomar en consideración la corriente a plena carga y determinar la capacidad del fusible por medio de las curvas características de estos fusibles y que se muestran en la fig. 11; cabe hacer notar que estos fusibles tienen una tolerancia de ± 10% y que en caso de falla no se requiere la reposición de los 3 elementos ya que no se altera su calibración.

Operación y mantenimiento

Como todas las subestaciones, también se requiere de los cuidados anteriormente descritos, con la única diferencia de que en este caso al no tenerse un interruptor bajo carga como los descritos anteriormente, la parte de mantenimiento que corresponde a estos es totalmente eliminada, ya que estos fusibles no lo requieren.

Cuando sea necesario desconectar la subestación para realizar trabajos de mantenimiento, o eventualmente por fusión de algún fusible, colóquese los guantes para manejo de alta tensión, opere sobre una tarima aislante apropiada y observe las siguientes operaciones:

1.—Cerciórese si se debió a una falla de cortocircuito, en su caso, reemplaze únicamente el fusible dañado siguiendo los pasos que a continuación se indican.

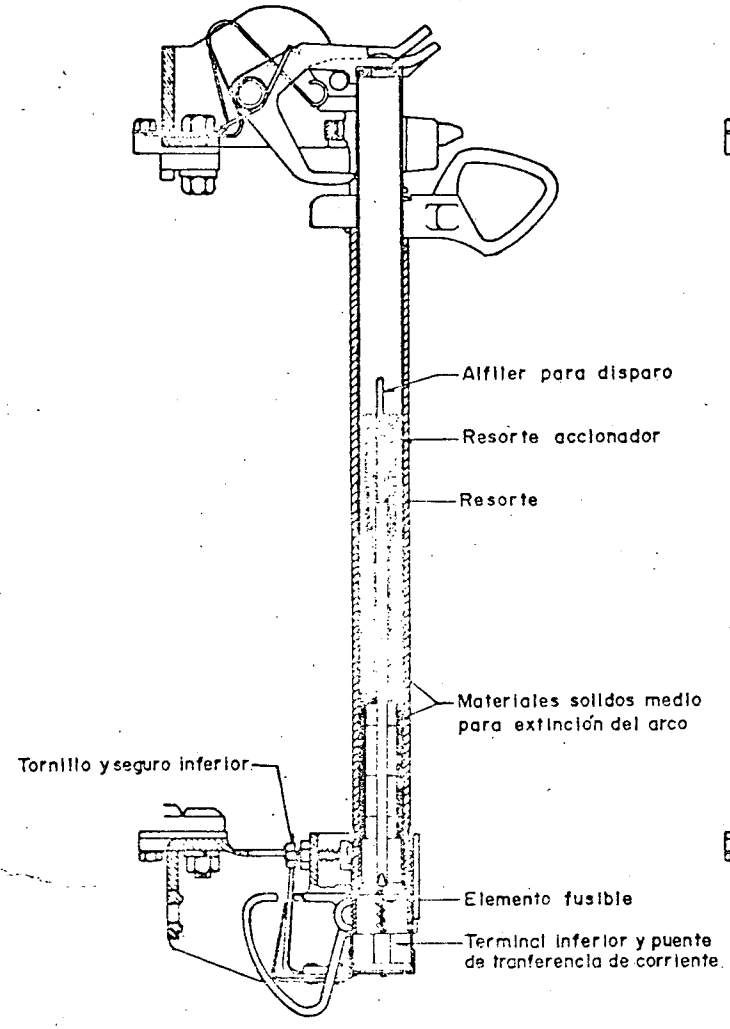
   a).— Desconecte todas las cargas de baja tensión, tal y como se indicó anteriormente.

   b).— Con el uso de una pértiga para manejo de aparatos de alta tensión, enganchada ésta en el ojillo de la parte superior del fusible y con un movimiento rápido jalar sin soltar la unidad, hasta que termine su giro completo.

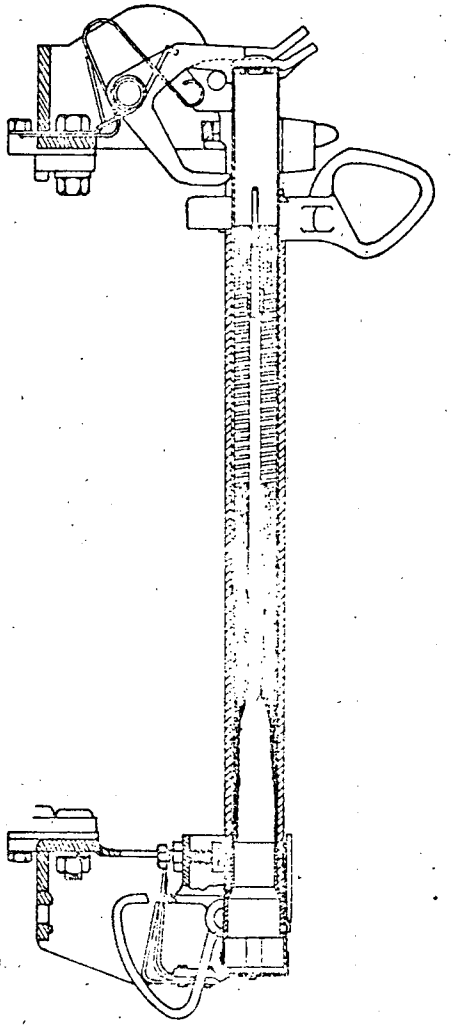
   c).— De la misma manera desconecte los tres fusibles. **"SIEMPRE HAY QUE DESCONECTARLOS".**

   d).— Para desmontar los fusibles se engancha la pértiga en el ojillo de la base levantándolo hacia arriba y retirando la unidad. Esta maniobra siempre hay que hacerla con la pértiga.

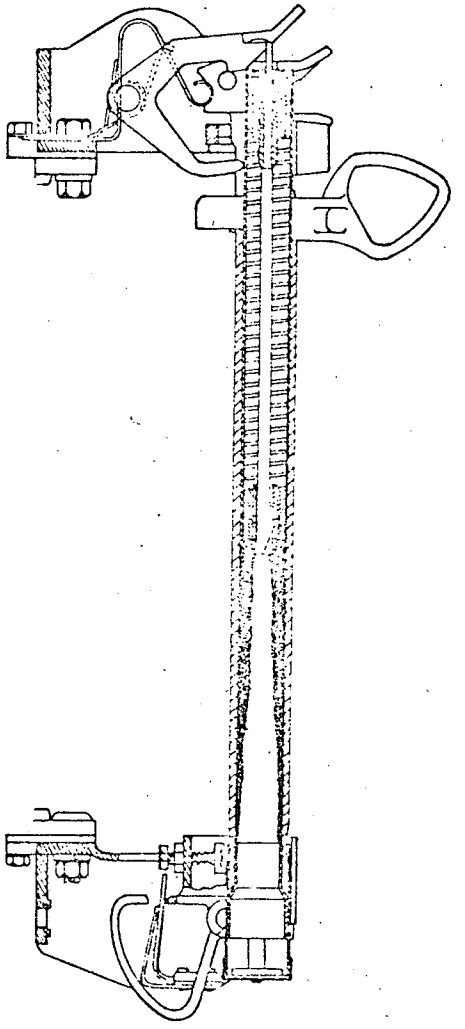
2.—Para el cambio del elemento fusible hay que desatornillar las terminales de los extremos, las cuales serán puestas en el nuevo elemento atornillando con un apriete normal la terminal superior y de la misma manera la terminal inferior, dándo-



UNIDAD FUSIBLE EN OPERACION MANUAL



LA CORRIENTE DE INTERRUPCION HA SIDO INICIADA POR LA FUNCION DEL ELEMENTO FUSIBLE



LA CORRIENTE HA SIDO INTERRUPTIDA Y LA UNIDAD EMPIEZA A CAER

CORRIENTE EN AMPERES

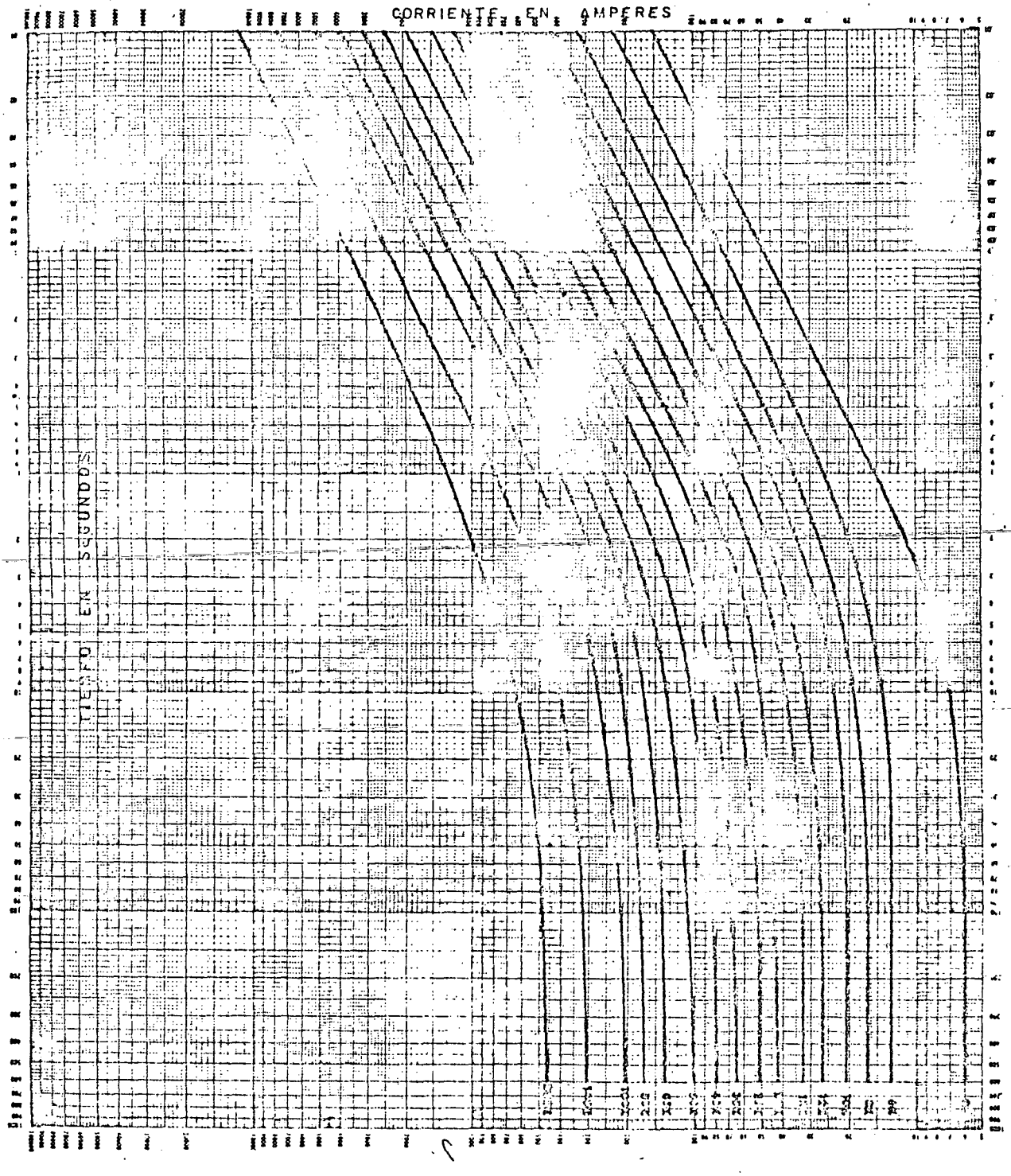


Figura 11

Curvas características Tiempo - Corriente.
Tiempo mínimo de fusión.

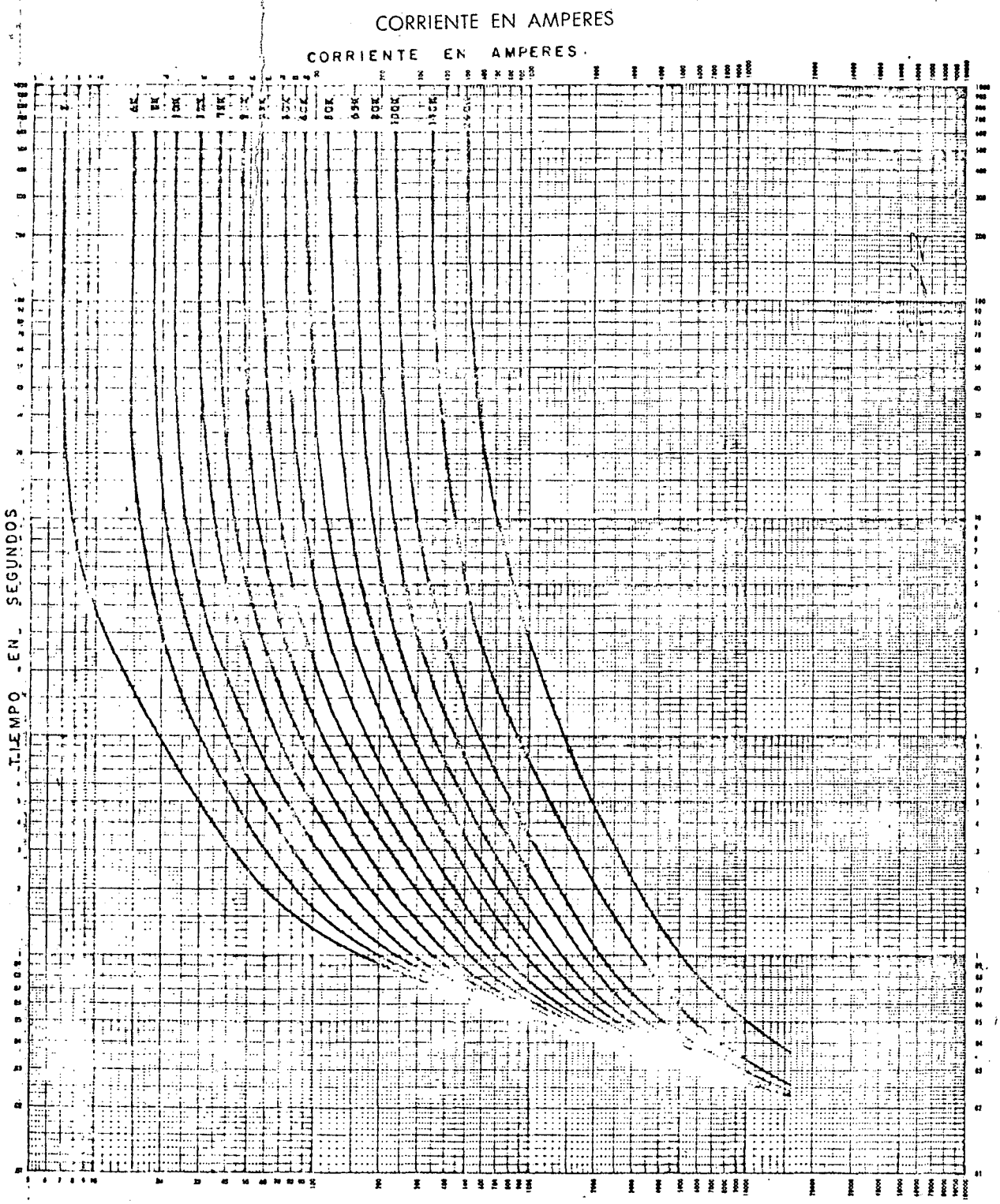


Figura 11

Curvas características Tiempo-Corriente.
Despeje total de la falla.

le un apriete al candado del tornillo de ésta misma (fig. 10).

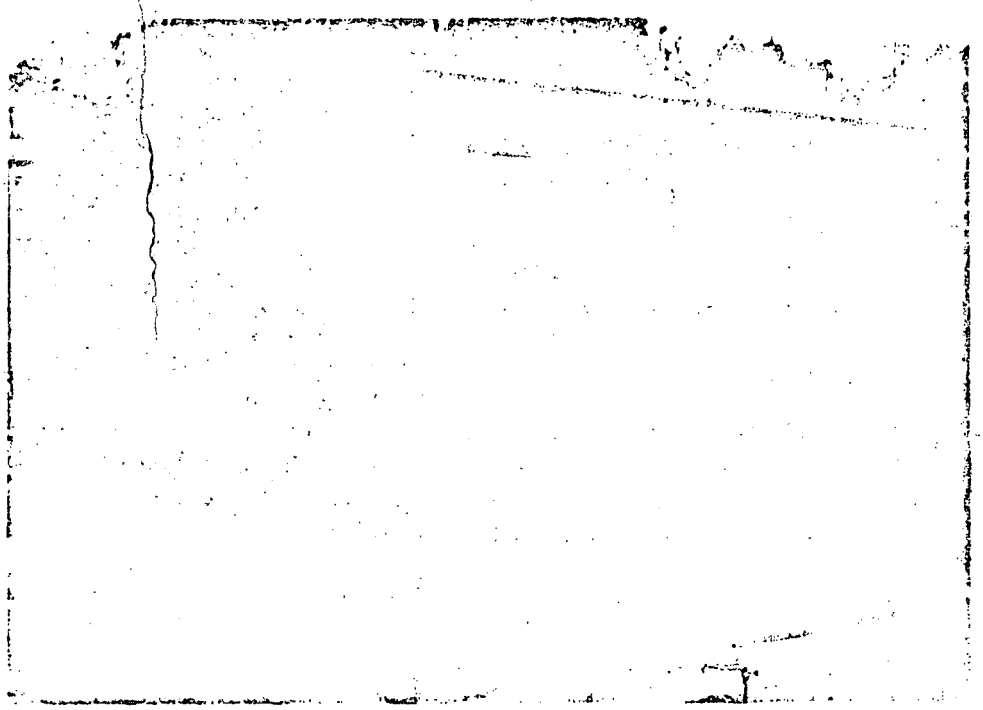
3.—Para el montaje de fusibles y reanudación del servicio, observe los siguientes pasos.

a).– Enganchando la pértiga en la terminal inferior coloque el fusible en la parte inferior del portafusible.

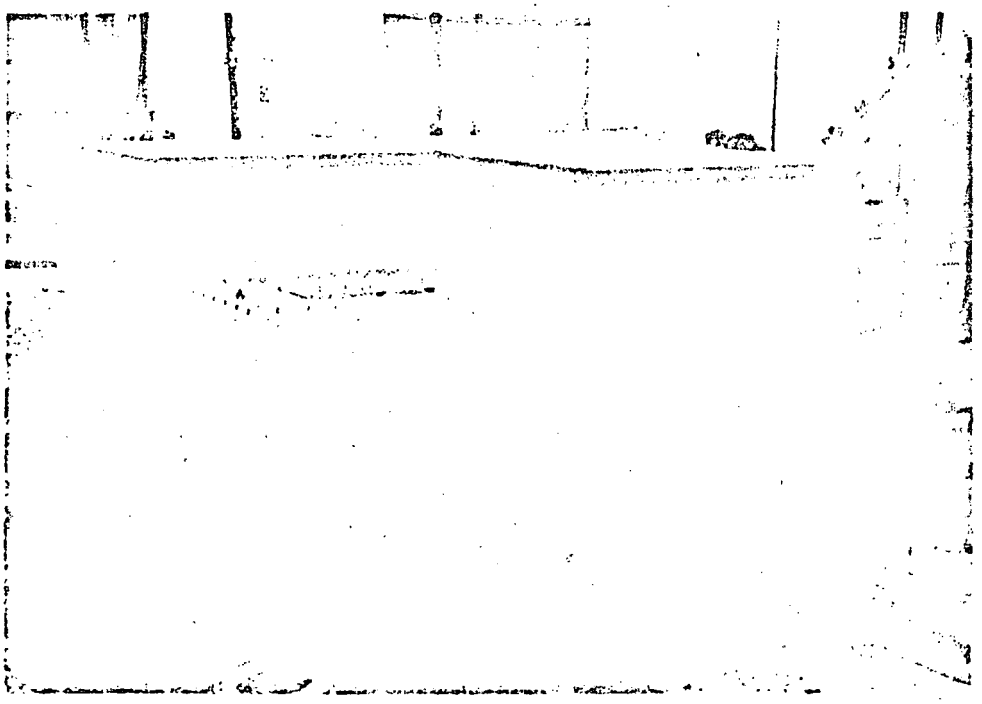
b).– Enganchando la pértiga en el ojillo de la terminal superior con un movimiento rápido haga girar la unidad hasta que trabe correctamente en la parte superior del portafusible.

c).– La operación anterior debe hacerse primero a una unidad de un extremo procediendo de la misma forma en la unidad del extremo contrario y por último a la del centro.

Del mismo modo que las subestaciones anteriores, cada seis meses o por lo menos una vez al año es necesario pedir una libranza y hacer la limpieza requerida, así mismo **RAZONE SIEMPRE** la secuencia de operaciones. ¡Recuerde, su primer error es el último!



Subestación compacta ramales Atlamica y Teoloyucan.



Subestación compacta pozos aislados Cd. Satélite.

CAPITULO II

TRANSFORMADOR

PRINCIPIOS DE CONSTRUCCION Y FUNCIONAMIENTO

1. Definición y Partes Esenciales.

DEFINICION.—Un transformador es un aparato eléctrico cuya misión es transferir electromagnéticamente la energía alterna de un circuito a otro. Por lo general, transforma la tensión original a un valor mayor o menor, manteniendo la frecuencia invariable.

PARTES ESENCIALES.—Un transformador consiste, por lo regular, en dos o más bobinas de conductor de cobre aislado, dispuestas alrededor de un núcleo laminado de hierro. Dos grupos cualesquiera de espiras de conductor aislado que se hallen acopladas magnéticamente, pueden ser ya considerados como funcionando bajo el mismo principio que un transformador. El citado acoplamiento magnético se consigue gracias a un circuito magnético común a ambos grupos de espiras, el que circule un flujo magnético alterno al pasar una corriente alterna por el conductor aislado.

Durante el funcionamiento, uno de los grupos de espiras va conectado a una fuente de alimentación de corriente alterna, denominándose a este grupo el arrollamiento primario del transformador; el otro grupo de espiras, al que se conecta la carga, constituye el arrollamiento secundario. Como sea que en la mayoría de transformadores cualquiera de los arrollamientos puede ser utilizado como primario o secundario, en la práctica, en lugar de emplear los términos primario y secundario, se han generalizado los de lado de alta tensión y lado baja tensión de acuerdo con el valor de la tensión de los arrollamientos.

Para poder llevar a cabo las funciones descritas, todo transformador debe contar con diversas partes esenciales, a saber: un arrollamiento de alta tensión por el que pueda cricular la corriente de alta tensión, un arrollamiento de baja tensión para la corriente de baja tensión, aislamiento adecuado entre espiras y capas, así como entre espiras y masa con objeto de que la corriente pueda circular por los arrollamientos sin comunicación alguna con la masa de hierro del transformador. Finalmente, debe contar con un núcleo (generalmente de chapas de hierro) por donde pueda circular el flujo magnético alterno.

Además de las partes esenciales descritas, los transformadores deben contar también con otros accesorios no menos indispensables que aseguren el cumplimiento de las características de funcionamiento previstas. Por ejemplo: abrazaderas, herrajes para la sujeción del núcleo y bobinas, un medio refrigerante apropia-

do que puede ser aire o aceite, un tanque para la protección del transformador y que sirva al mismo tiempo como depósito para el aceite y, finalmente, bornes adecuados para dar salida a los terminales de los arrollamientos al exteior del tanque y para conexión a las redes de transmisión.

SIENDO EL TRANSFORMADOR PARTE IMPORTANTE DE UNA SUBESTACION ES ESENCIAL CONTAR CON UN PROGRAMA DE INSTALACION, OPERACION Y MANTENIMIENTO DE ESTE EQUIPO PARA ASEGURAR SU BUENA OPERACION.

En general, desde la recepción del equipo hasta su operación incluyendo el mantenimiento preventivo, es recomendable seguir las instrucciones que indican las normas ANSI, así como el Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas de la Dirección General de Electricidad, Secretaría de Comercio.

El presente instructivo cubre en forma sencilla y simplificada los requerimientos necesarios para el buen funcionamiento de los transformadores eléctricos.

La vida útil de un transformador eléctrico va a depender de una instalación adecuada eligiendo el mejor lugar para tal fin y posteriormente el vigilar su buen funcionamiento, así como una buena selección de los elementos de protección tanto en el primario como en el secundario.

Cuando por alguna razón se encuentran indicaciones anormales de operación, se recomienda llamar al personal especializado y si fuere necesario al fabricante para que en forma conjunta se analicen las mismas.

Conexión

En general en un circuito eléctrico donde se incluya equipos de transformación es conveniente observar algunas precauciones para que las conexiones eléctricas no presenten problemas futuros.

En las conexiones eléctricas deberá darse la importancia que requiere el apriete de tuercas y tornillos para evitar en el futuro calentamientos por malas conexiones o esfuerzos mecánicos a los aisladores que no son capaces de soportar por ser de porcelana.

Cuando se trata de conectar buses rígidos a terminales de boquillas, lo más conveniente es realizar esta conexión mediante conectores flexibles para evitar los esfuerzos mecánicos en las porcelanas de las boquillas.

Protecciones

Es recomendable realizar un chequeo de los medios de protección tanto en el primario como en el secundario del transformador con el objeto de proteger tanto al personal como al mismo equipo.

Las protecciones eléctricas; como apartarrayos, protecciones contra sobrecarga, sobretensión, diferenciales, etc., deberán sujetarse a las normas NEMA y ANSI, y al Reglamento de Obras e Instalaciones Eléctricas de la Secretaría de Comercio, Dirección General de Electricidad.

Se recomienda un buen sistema de tierras, con el fin de dar efectividad a las protecciones, tener una buena referencia eléctrica y como protección para evitar accidentes personales.

Es importante no tomar las estructuras como medio de conexión a tierra y que el conductor que se use, tenga una continuidad absoluta.

Mantenimiento

El mantenimiento de los transformadores eléctricos, requieren de las prácticas que la experiencia en este tipo de instalaciones obligue, sin embargo, una forma generalizada de aplicación será dividir el mantenimiento en dos tipos:

1.—Mantenimiento de rutina.
2.—Mantenimiento completo.

Mantenimiento de rutina

El mantenimiento de rutina incluye lecturas de volts, amperes y temperaturas, para obtener principalmente curvas de carga específicas. La frecuencia con que se hagan estas lecturas dependerá exclusivamente de la forma en que se esté cargando el transformador; es conveniente tomar en consideración las condiciones de bombeo originales y compararlas con observaciones diferentes.

La inspección visual está incluida en el mantenimiento de rutina y en ella se deberá comprobar lo siguiente:

Inspección visual mensual.

Comprobar la corriente de carga.

Tomar lecturas de voltajes.

Comprobar que el indicador rojo de temperatura esté abajo de 80°C, para equipos con elevación de temperaturas de 55°C sobre ambiente promedio de 30°C y 90°C para equipos con elevación de temperaturas de 65°C sobre ambiente promedio de 30°C. Después de lo cual, se deberá colocar la aguja con el imán en posición de que pueda volver a operar.

Comprobar que no haya fugas de aceite en los empaques, válvulas e instrumentos de medición y radiadores.

Verificar el nivel del aceite.

Revisar que no haya daños físicos en porcelanas y enfriadores.

Localizar que no haya corrosión u oxidación.

Comprobar que no haya signos de calentamiento en las conexiones eléctricas exteriores.

Observar que no haya ruidos o condiciones anormales de ninguna especie.

Comprobar las conexiones a tierra, asegurándose que la zapata del cable de tierra esté conectada correctamente y en buen estado, evitándose falsos contactos. Mantener la humedad de las tierras y verificar la continuidad del cable de tierra.

"ES NECESARIO TENER PRESENTE EL NO OPERAR EL CAMBIADOR DE DERIVACIONES CUANDO EL APARATO ESTE ENERGIZADO".

Mantenimiento completo

En el mantenimiento completo a un transformador deberán incluirse todas las pruebas que recomienda el fabricante como por ejemplo del medio refrigerante empleado en el equipo y la frecuencia aconsejable para realizar estas pruebas. Esta debe hacerse por lo menos una vez al año en condiciones normales de operación del equipo.

En este mismo mantenimiento, deberán realizarse pruebas de aislamiento al equipo así como una revisión a los accesorios o indicadores externos del mismo.

La revisión de la conexión en las terminales de transformadores así como la verificación de la conexión a tierra, del tanque es conveniente realizarlos en períodos más cortos que los antes mencionados.

El cambiador de derivaciones deberá ser checado con especial atención tomando las lecturas de relación de transformación en cada una de sus posiciones, las cuales serán comprobadas con el reporte de las pruebas completas realizadas en la fábrica antes de que el equipo se embarcara y el cual deberá estar en el archivo correspondiente del usuario.

A continuación se proporcionan las ideas más generales para un mantenimiento completo y recomendaciones especiales para contar con una operación satisfactoria de los transformadores eléctricos.

Inspección Especial:

Prueba dieléctrica del aceite cada 6 meses.

Análisis químico del aceite cada cinco años.

Pruebas de resistencia de aislamiento cada año, comparando con los valores mínimos indicados en el reporte de las pruebas efectuadas en el laboratorio del fabricante.

Revisar el estado general de la pintura, para evitar corrosión según se indica en el párrafo (Mantenimiento de rutina).

Analizar cada año que las protecciones de sobrecarga o diferenciales de los interruptores de alta y baja tensión estén en buenas condiciones, el estado físico de los fusibles, interruptores, etc.

Si se observara alguna anomalía a los puntos específicos antes mencionados, deberá desconectarse el transformador en la primera oportunidad y corregir el defecto, a menos que se trate de un desperfecto que implique sacarlo de servicio inmediatamente y someterlo a una inspección completa, como a continuación se indica.

Causas que requieren inspección completa:

Aumento excesivo en la temperatura de operación, sin que haya un aumento correspondiente en la carga.

Nivel de aceite anormalmente bajo. Esto puede indicar una fuga de aceite, lo cual es una condición peligrosa.

Ruidos extraños, tales como arcos eléctricos, burbujeos de aceite o ruidos magnéticos muy intensos.

Esto indica cortocircuito interno o daño externo, que es una causa de desconexión inmediata.

Resulta mala una prueba de aceite (resistencia dieléctrica) abajo de 25 KV. con 2.54 mm. de distancia entre electrodos de 25.4 mm. de diámetro en copa normal ASA.

Para líquido no combustible (Askarel) será abajo de 30 KV.

Pruebas bajas de resistencia de aislamiento.

Precauciones para sacar de servicio un transformador eléctrico

Si por alguna causa existiese la necesidad de desconectar el transformador, se recomienda seguir el siguiente procedimiento:

"Abrir" los aparatos de protección, asegurándose que el transformador esté aislado tanto en el primario como en el secundario. Verificar que el zumbido ha desaparecido.

Conectar las terminales a tierra, partiendo primero del extremo unido a una buena tierra.

Colocar avisos sobre el equipo, de que ha sido librado eléctricamente.

Puntos que deben comprobarse durante la salida de servicio de un transformador eléctrico

Para desarmar un transformador, procédase en la siguiente forma:

Destornillar la tapa principal, desconectar las terminales de las boquillas que están sobre dicha tapa a través del agujero de inspección, bájese el nivel del aceite hasta el herraje superior, utilizando un recipiente limpio; desconéctense las boquillas que están en el cuerpo del tanque, así como los accesorios (nivel y termómetro); desatorníllese el transformador del cuerpo del tanque, levantando el transformador con cadenas que se sujetan en los ganchos del herraje superior y déjese escurrir el aceite sobre una charola o en el mismo tanque.

Cuando el transformador se saque de su tanque, lávese con aceite filtrado. Se puede usar una brocha para aflojar los depósitos de lodos u otras materias y completar la limpieza con un sopleteado de pistola de aire.

Asegurarse que los ductos de circulación de aceite de las bobinas no se encuentren obstruidos.

Comprobar que no haya falsas conexiones o partes quemadas.

Apretar todas las abrazaderas, terminales, amarres y acuñamientos.

Asegurarse que el transformador no tenga humedad, para lo cual, después de inspeccionado y reparado, deberá ser sometido a secado en horno y armarlo posteriormente en su tanque.

Arreglar las fugas que se hubieran detectado, durante la operación de la unidad.

Volver a pintar aquellas partes que lo ameriten y de preferencia todo el tanque.

Cambiar los empaques que se hayan desmontado.

Comprobar el funcionamiento de los accesorios.

En caso de mover el cambiador de derivaciones, verificar en vacío el equilibrio de las tensiones de salida.

Comprobar las buenas condiciones del aceite. Analizar y regenerarlo si fuera necesario.

Someter el transformador ya ensamblado a pruebas eléctricas completas, según las normas USAS, aplicando los factores para transformadores usados.

"Es importante que la inspección completa la lleve a cabo una casa especializada en el ramo, ya que tiene la ventaja de contar con personal preparado para ello y los aparatos adecuados para pruebas".

El cuidado de los aceites para transformadores

Los aceites para transformadores se usan para aislar y enfriar los embobinados de los transformadores incluyendo aquellos de grandes dimensiones que se están fabricando en la actualidad.

Para que el aceite de transformadores pueda desempeñar estas funciones correctamente se debe mantener limpio y seco durante el almacenamiento.

Las propiedades y el comportamiento de los aceites para transformadores, son similares en muchos aspectos a los aceites para turbinas. Ambas circulan a temperaturas medianas o altas (40° a 96°C; 100 a 200°F), por largos períodos de tiempo y en continuo contacto con metales. Tanto el agua como la suciedad deben separarse rápidamente de los dos tipos de aceite y debe mantenerse la habilidad del aceite para permanecer libre de agua y sedimentos durante largos períodos de servicio. Ambos tipos de aceites minerales deben resistir la formación de acidez y sedimentaciones.

Valor aislante de los aceites para transformadores

El valor aislante o la "resistencia dieléctrica" de este aceite se mide por la capacidad del mismo para resistir la ruptura al ser sometido a una descarga de voltaje eléctrico.

En la prueba americana de resistencia dieléctrica, está estandarizada por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM) con el método D877, que la resistencia dieléctrica del aceite es el voltaje que se requiere para que una chispa salte a través de un claro de 0.1" que existe entre dos discos planos y paralelos de una pulgada de diámetro, los cuales están sumergidos en el aceite. Se considera un aceite en buen estado aquel que rompe a 25 KV. o más (fig. 12).

¿Cuándo se debe reponer el aceite?

El aceite debe de ser desechado o purificado cuando la resistencia dieléctrica sea menor de 25 KV. si tiene cantidades de

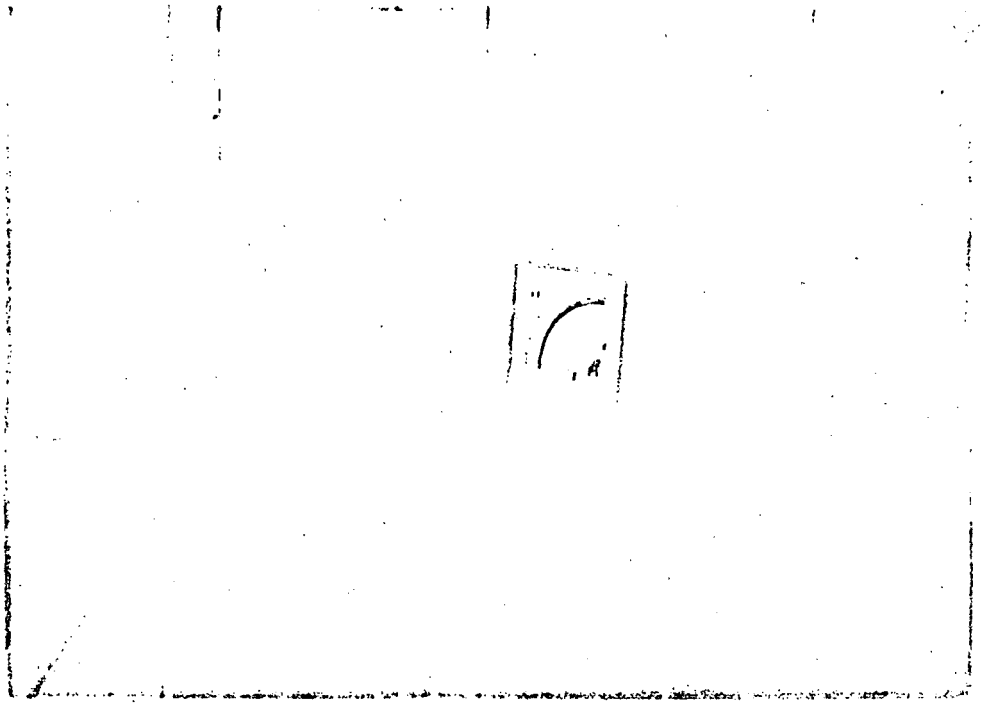


Figura 12

lodos, si el número de neutralización es mayor al establecido anteriormente, o si se encuentran ácidos o sales corrosivas solubles en agua.

Purificación o recuperación del aceite

El tratamiento requerido para reducir el número de neutralización (acidez), para separar el contenido de lodos, y para aumentar la resistencia dieléctrica, necesita hacerse por medio de un aparato que debe instalarse, operar y mantenerse en buenas condiciones. Si el costo del aparato lo hace antieconómico para la purificación del aceite en alguna planta pequeña, entonces es más conveniente desechar el aceite usado, limpiando el transformador y rellenarlo con aceite nuevo. Esta es la práctica usual en plantas donde el aparato y personal necesario de fuerza eléctrica prefieren purificar su aceite del aparato con filtros de papel absorbente para este fin.

Los filtros prensa (de papel absorbente), son los más usados para mejorar la resistencia dieléctrica, ya que remueven el agua, impurezas, incrustaciones y separan los lodos del aceite.

Si la resistencia dieléctrica es baja

Si el examen del aceite usado muestra un número bajo de neutralización y acidez corrosiva o sales, y si el transformador tiene una cantidad de lodos razonablemente pequeña, pero muestra una resistencia dieléctrica muy baja, puede aumentarse la resistencia pasando el aceite lentamente a través de un filtro de papel absorbente o por una centrífuga para quitarle la humedad y materias sólidas. (fig. 13).

En la preparación de esta operación, el aceite debe sacarse del transformador mientras está cerca o a su temperatura de funcionamiento, pero sólo después de haberle cortado la corriente al aparato. Si antes de filtrar o centrifugar el aceite, se pone en un tanque para que se enfríe y asiente, se obtiene una ventaja inicial,

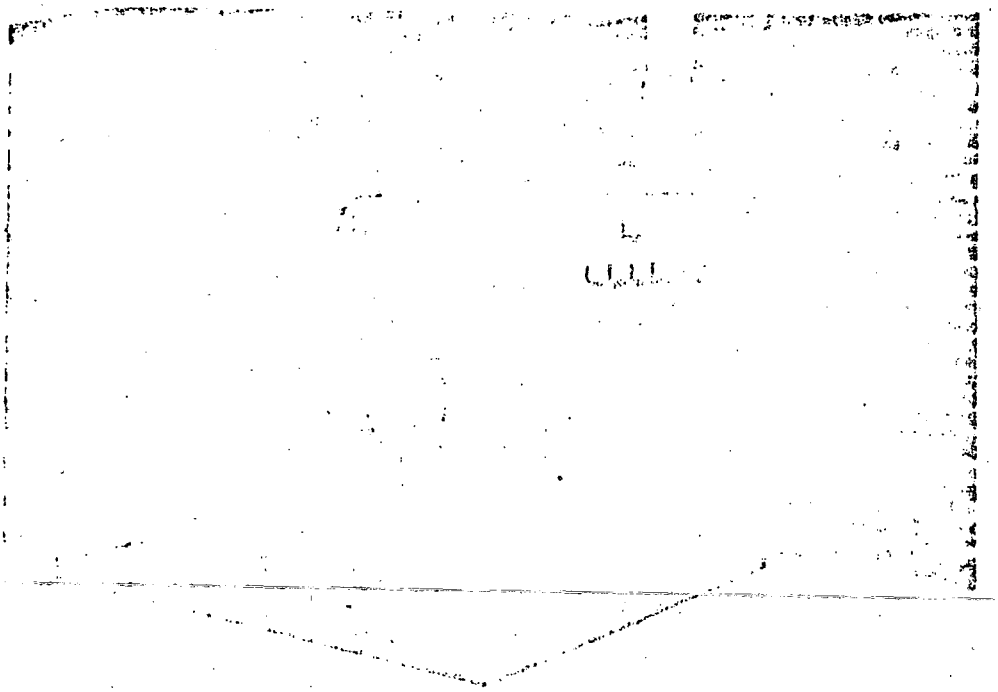


Figura 13

que algunos operadores prefieren centrifugar el aceite mientras está caliente, debido a que las gotas de agua pueden separarse más rápidamente por centrifugación cuando el aceite está caliente.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que el aceite caliente disuelve una cantidad considerable de agua. Esta agua disuelta no puede quitarse del aceite caliente por ningún medio mecánico práctico. Cuando el aceite se enfría, el agua disuelta, al igual que los lodos, se vuelven menos solubles en el aceite. Si el aceite se enfría, el exceso de agua se separará en forma de finas gotas. En esta situación, el agua puede removerse fácilmente por centrifugación o por filtración con papel absorbente.

Por lo tanto, es conveniente dejar que se enfríe y asiente el aceite y después pasarlo por una centrífuga o filtrado de papel absorbente. Este asentamiento permite que la suciedad, gran parte de lodos y agua se separen y asienten en el fondo del tanque.

Cuando la cantidad de agua libre en el aceite ya usado es excesiva, el papel absorbente puede saturarse muy rápidamente, necesitándose cambiarlo muy frecuentemente. En donde exista tal cantidad de agua, es preferible pasar el aceite por una centrífuga primero para remover la mayor parte del agua y después pasarlo a través del filtro. Esta operación proporciona la ventaja de ambos aparatos, la rápida remoción de cantidades considerables de agua y sólidos por la centrífuga, y la eliminación final de los últimos vestigios de agua libre y sólidos por el papel absorbente.

Resumen

Use el aceite para transformadores apropiados, de una resistencia dieléctrica elevada, alta estabilidad química y habilidad de separación.

Mantenga el aceite limpio en su almacenamiento y durante el servicio.

Efectúe revisiones periódicas de las cargas de aceite para asegurarse de que se encuentran en buenas condiciones.

Por supuesto, también es muy conveniente que estos tambores se cubran con una lona para librarlos de la lluvia, nieves y tierra.

Toma de muestras de aparatos con corriente

Por lo general, no se debe sacar una muestra de aceite de los aparatos con corriente. Si el programa de operación no permite que la unidad sea quitada del servicio, se deben tomar las muestras únicamente después de que se han tomado toda clase de precauciones y evitar así riesgos para el operador, y la posible pérdida de aceite del aparato.

Instrucciones generales para mantenimiento

A continuación se da una guía general para el mantenimiento del equipo principal de la Subestación tomando en cuenta de que en cada instructivo se describe el tipo de revisión y mantenimiento que el fabricante recomienda.

1. TRANSFORMADORES

a).– ACEITE.—La inspección diaria o semanal, se refiere a verificar niveles de aceite, que no existan fugas, tomando en cuenta que el nivel varía con la temperatura, reponiendo el aceite de ser necesario y evitar los indicadores de presión o vacío. **Inspección Semestral.**—Pruebas dieléctricas del aceite, en los casos en que las condiciones de trabajo sean más desfavorables deberán hacerse más frecuentes.
Checar calor, olor, si hay agua en suspensión, si hay materias en suspensión, sacando la muestra de la parte inferior.

Inspección Anual.—Prueba de factor de potencia.

b).– BOQUILLAS TERMINALES (BUSHINGS).—Inspección mensual, observar si no hay rotura en la porcelana y checar el estado de limpieza.

Revisión Anual.—Limpiar la porcelana, revisión de empaques.

c).– DEVANADOS.—**Inspección Anual.** Inspeccionar si hay lodo en el núcleo o en los devanados; inspeccionar si en la parte inferior de la tapa está oxidada o hay trazas de humedad, apretar todas las conexiones que estén al alcance.

a).– Dieléctricas entre devanados y entre cada devanado y tierra.

b).– Pruebas de factor de potencia.

c).– Prueba de relación de transformación.

d).– CAMBIADOR DE TAPS.—**Inspección Mensual.** Verificar que la posición en que se encuentre el cambiador sea la adecuada.

Revisión Anual. Revisar el estado de las superficies de contacto, reparando éstas si es necesario, revisar mecanismo de operación. Apretar todas las conexiones.

Descripción del equipo	Inspección	Revisión
Aceite	Diaria o Semanal	Semestral no programada
Boquillas terminales	Mensual	Anual
Devanados	—	Anual
Cambiador de Taps	—	Anual

CAPITULO III

EQUIPO DE CONTROL EN BAJA TENSION

·do el conjunto de aparatos que con-
·n y protegen la operación del motor
o bomba y los servicios auxiliares a
·da del transformador requieren de
·al atención en su selección, montaje,
·ción y mantenimiento, por esta ra-
·l personal que tiene a su cargo estos
·es debe estar consciente de dichos
·imientos, ya que en ellos se tienen
· problemas debido a su operación
·ante y severa.

·n ligeras excepciones, el reglamento
·bras e instalaciones eléctricas y el có-
·nacional eléctrico, exigen medios de
·nexión para cada motor. En nuestro
· se han utilizado combinaciones que
·sten en un arrancador conectado di-
·mente a la línea, y un medio de des-
·ión (fig. 14), el medio de descone-
·s un interruptor termomagnético ti-
·dustrial de capacidad adecuada que
·e sobrecargas y especialmente fa-
·cortocircuito de tal manera que
·iminadas para darle el máximo de
·ción al transformador.

·s dispositivos efectúan el disparo
·ético y/o el disparo térmico.

·paro Magnético.

·corriente de una sobrecarga elevada
·rtocircuito, excita el circuito magné-
·este elemento de disparo instantá-
·e atrae la armadura, de modo que el desconectador se libere instantáneamente. Los elementos magnéticos se pueden calibrar para disparar sobre un rango muy grande de valores de corriente, con sólo variar el entre-hierro en los interruptores con disparo magnético ajustable (Fig. 15).

Dilación Térmica de Tiempo

El elemento térmico bimetálico se hace de dos metales diferentes, soldados entre sí. Uno de ellos no es afectado apreciable-

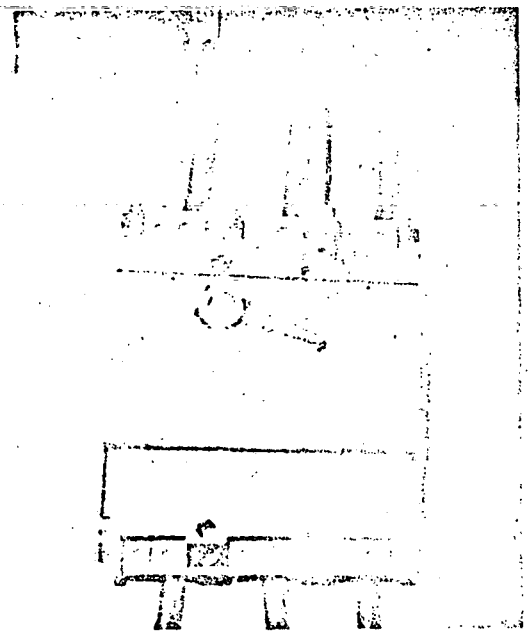


Figura 14

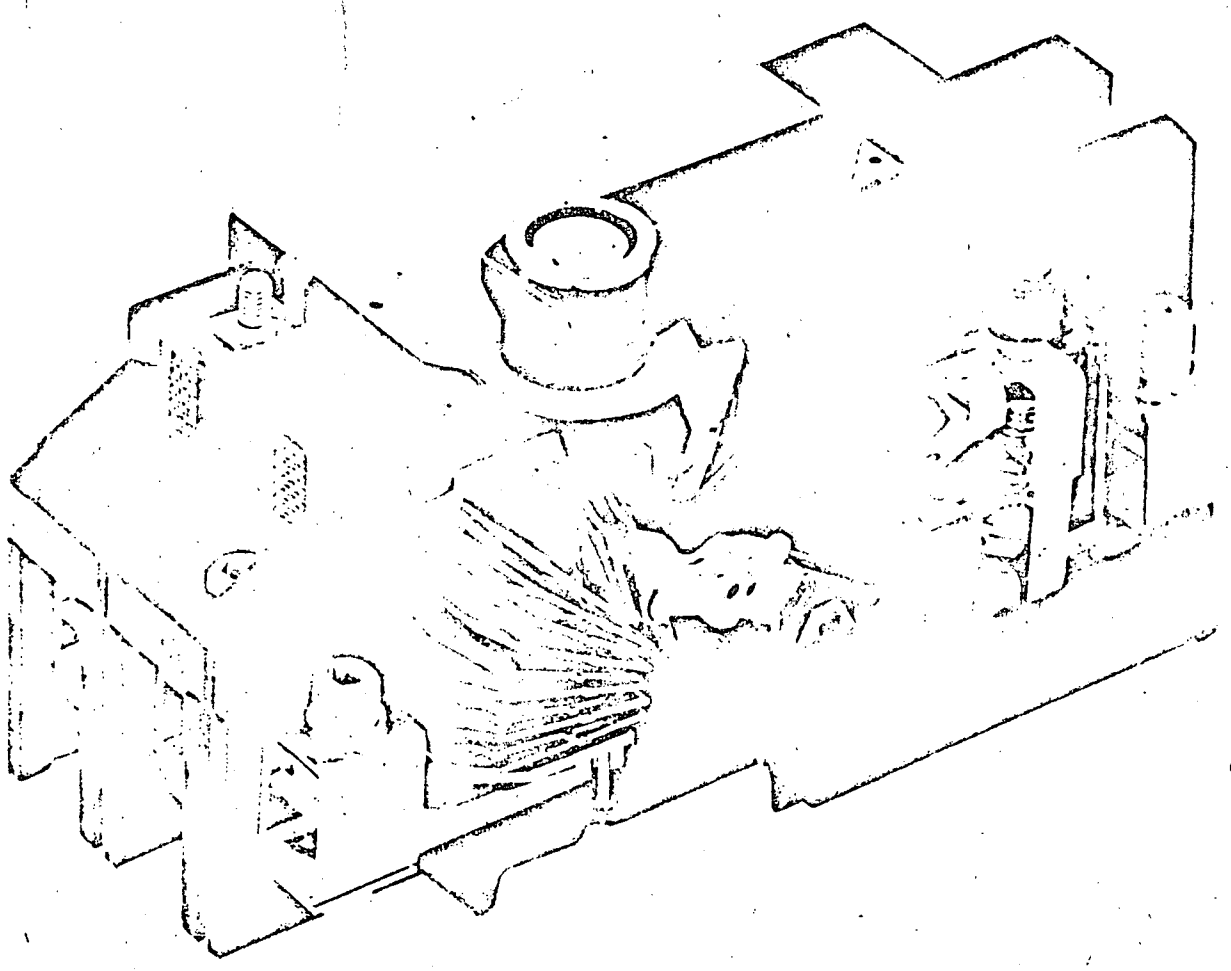


Figura 15

mente por cambios de temperatura, mientras que el otro se expande con bastante rapidez, ocasionando la flexión del conjunto. El elemento bimetálico o una resistencia para calentamiento de dicho elemento se conecta directamente en serie con la carga.

Cuando hay un calor excesivo, debido a que pasa una corriente de sobrecarga, el bimetal se flexiona y opera el dispositivo de disparo, abriendo el interruptor. Se logra una dilación en el disparo debido a que se requiere de cierto tiempo para que el calor suba lo suficiente y flexione el bimetal (Fig. 16).

Operación Simplificada de la Manija.

La acción giratoria basada en el prinipio de brazo de palanca (para F P E) que, su operación se lleve a cabo sin esfuerzo y con rapidez. En caso de operación por sobrecarga o cortocircuito, esta manija indica la posición de disparo, que para restablecer el servicio hay que regresarla a la posición de desconectado y posteriormente cerrar el circuito.

ARRANCADORES

Tomando en consideración el tipo de carga y nuestras instalaciones donde siempre se cuenta con una subestación de ca-

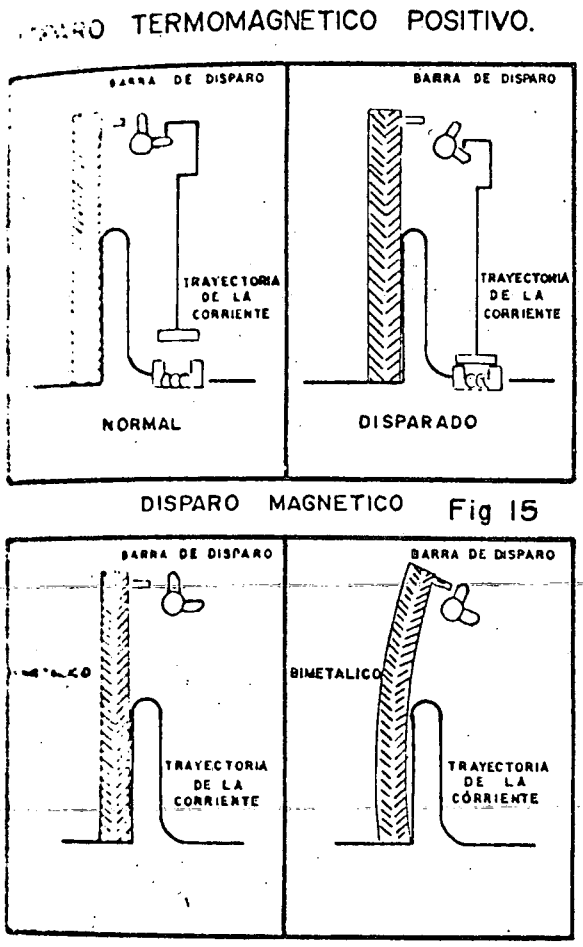


Figura 16

Disparo térmico.

...d suficiente para el equipo de bom- ...ue se instale, se han seleccionado ...adores magnéticos a tensión com- ...ara motores hasta de 200 HP. y de ...nado dividido para motores de 250 ... principio de operación de estos ...adores se muestra en las figs. 17 y ...spectivamente.

... arrancadores a tensión completa pa- ...res de corriente alterna tipo jaula ...a, constituyen el medio más sen- ...ra su puesta en marcha. Cuando ... de arranque en estas condiciones ...a daño en la máquina que mueve y la corriente tomada en la línea no es excesiva, pudiendo afectar a la fuente de alimentación, es permisible la utilización de estos aparatos (Tabla II), Plano No. CA-G-87.

La protección contra sobrecarga del motor es proporcionada por dos elementos calentadores sensibles al paso de la corriente conectados en serie con los devanados del motor, o a través del secundario de un transformador de corriente para arrancadores tamaño NEMA 5 en adelante.

El elemento calentador de forma espiral cubre un perno tubular que en su interior contiene una aleación fusible la cual en estado sólido fija el eje de una rueda dentada que por medio de un mecanismo mantiene cerrado el contacto de sobrecarga. Si el motor toma de la línea una corriente mayor que la normal como resultado de una sobrecarga en el mismo, una tensión baja en la línea o la falta de tensión en una de las fases, la aleación fusible pasa a su estado líquido debido al efecto $I^2 R$ del elemento calentador, permitiendo el giro de la rueda dentada soltando el mecanismo de disparo, y abriéndose así el circuito de control del arrancador.

Para bombas donde se requieren 250 HP o 300 HP se han utilizado motores de embobinado dividido, los cuales son de construcción muy semejante a los normales del tipo jaula de ardilla, con la única diferencia de que estos motores tienen dos devanados idénticos que se pueden conectar en secuencia a la línea de alimentación de energía, para producir corriente y par de arranque reducidos. Como en el arranque sólo la mitad de los devanados se conecta a las líneas, el método se describe como "embobinado parcial". Muchos (pero no todos) motores de dos voltajes, 220/440 volts, son adecuados para el arranque por embobinado parcial a 220 volts. Existen dos circuitos paralelos inde-

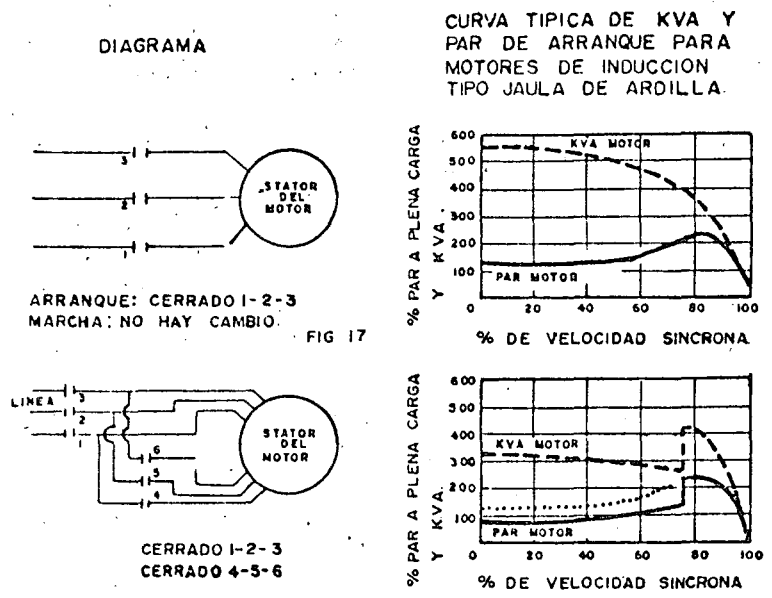


Figura 17

pendientes en el estator del motor de dos voltajes, conectado internamente en "estrella", o "Y" (plano No. CA-G-88).

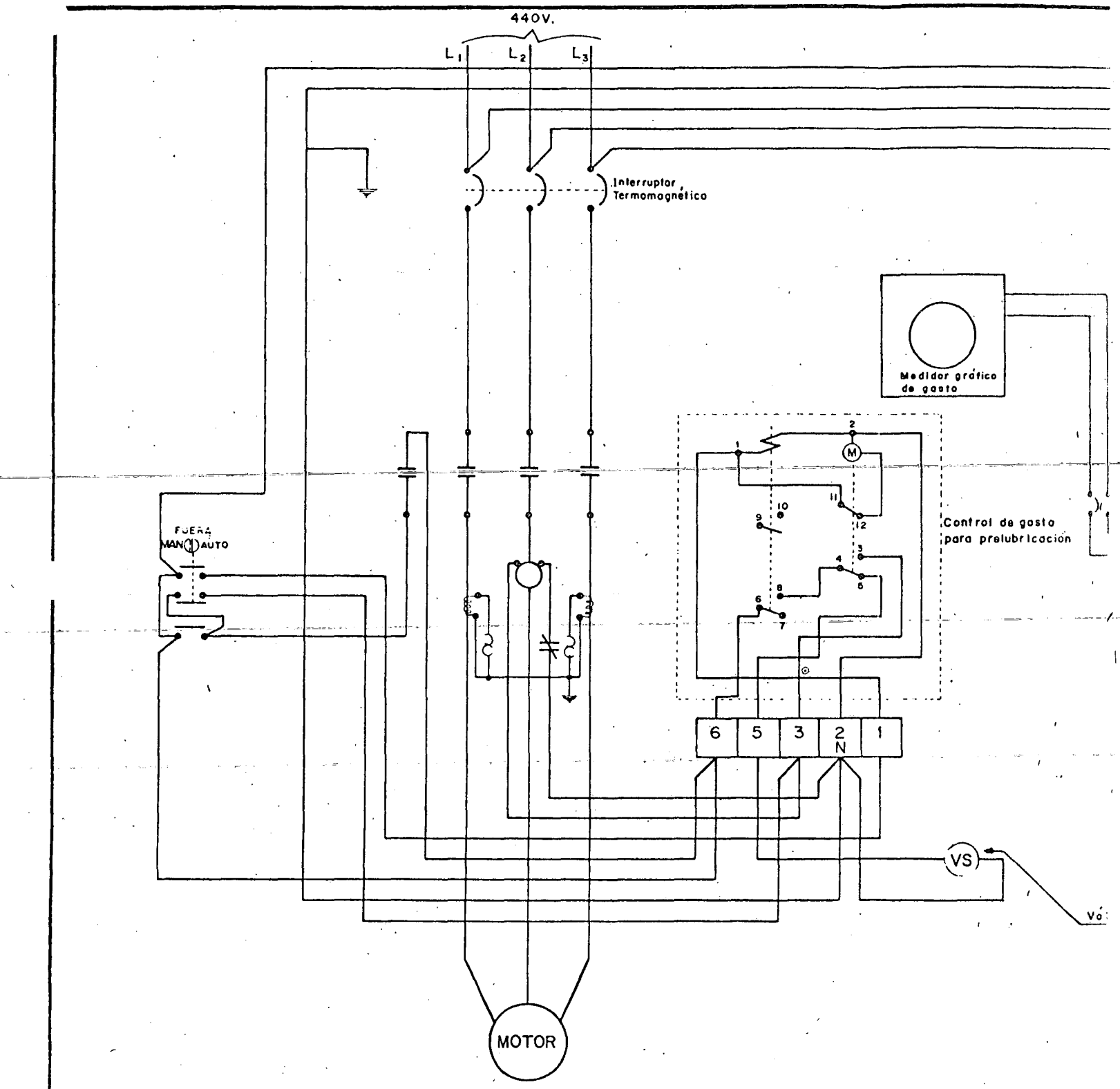
Los arrancadores para embobinado parcial están diseñados para usarse con motores en jaula de ardilla que posean dos devanados separados en el estator. Los embobinados de esos motores pueden conectarse en "Y" o en delta, dependiendo del diseño del motor. Estos arrancadores no son apropiados para usarse con motores de dos voltajes, embobinados en delta.

Los motores de embobinado parcial se emplean principalmente para impulsar cargas centrífugas, tales como ventiladores, sopladores, bombas centrífugas, etc., y para otras cargas en que se necesite un par de arranque reducido. También se emplean cuando la corriente de arranque a pleno voltaje puede producir caídas indeseables en las líneas de distribución o cuando las restricciones de la compañía eléctrica requieren corriente de arranque reducida.

El embobinado parcial de dos pasos, tienen ciertas ventajas obvias: Es menos costoso que la mayoría de los otros métodos, porque no requiere elementos para reducir el voltaje, como los transformadores, resistencias o reactores, y sólo usa contactores de la mitad del tamaño. Además, su transferencia es, inherentemente, con el circuito cerrado.

CAPACIDAD EN HP. PARA ARRANCADORES MAGNETICOS A TENSION COMPLETA

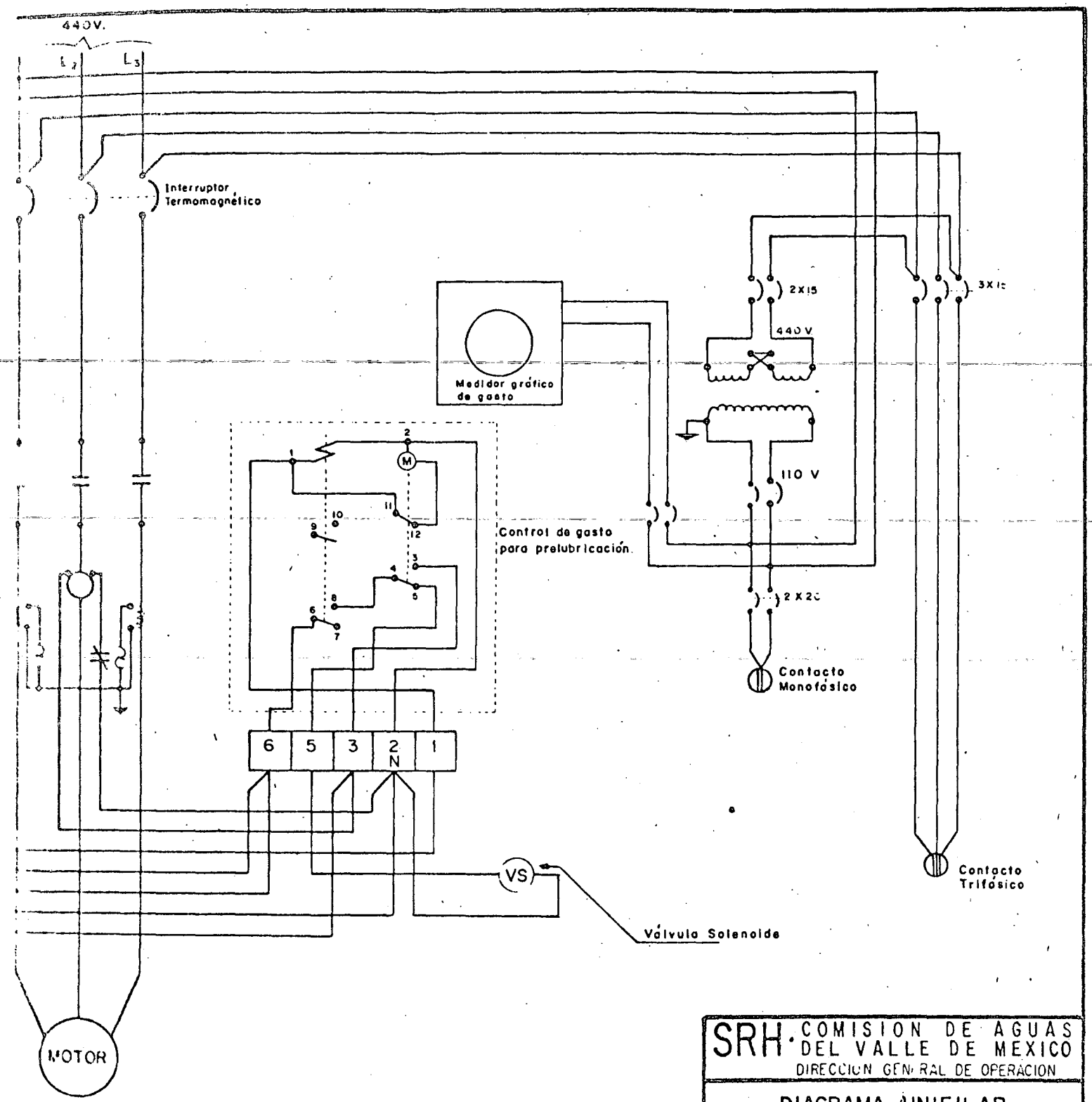
TAMAÑO DEL ARRANCADOR	AMP. TIPO ABIERTO 8 - HORAS	HP. TRES FASES 220 Volts	HP. TRES FASES 440 y 550 Volts
00	10	1	1
0	15	2	3
1	25	5	7½
2	50	15	25
3	100	30	50
4	150	50	100
5	300	100	200
6	600	200	400
7	900	300	600
8	1350	900	900
9	2500	800	1600



Proyectó: Ing. Octavio de la T.

Dibujó: Pedro Cervantes

Verificó:



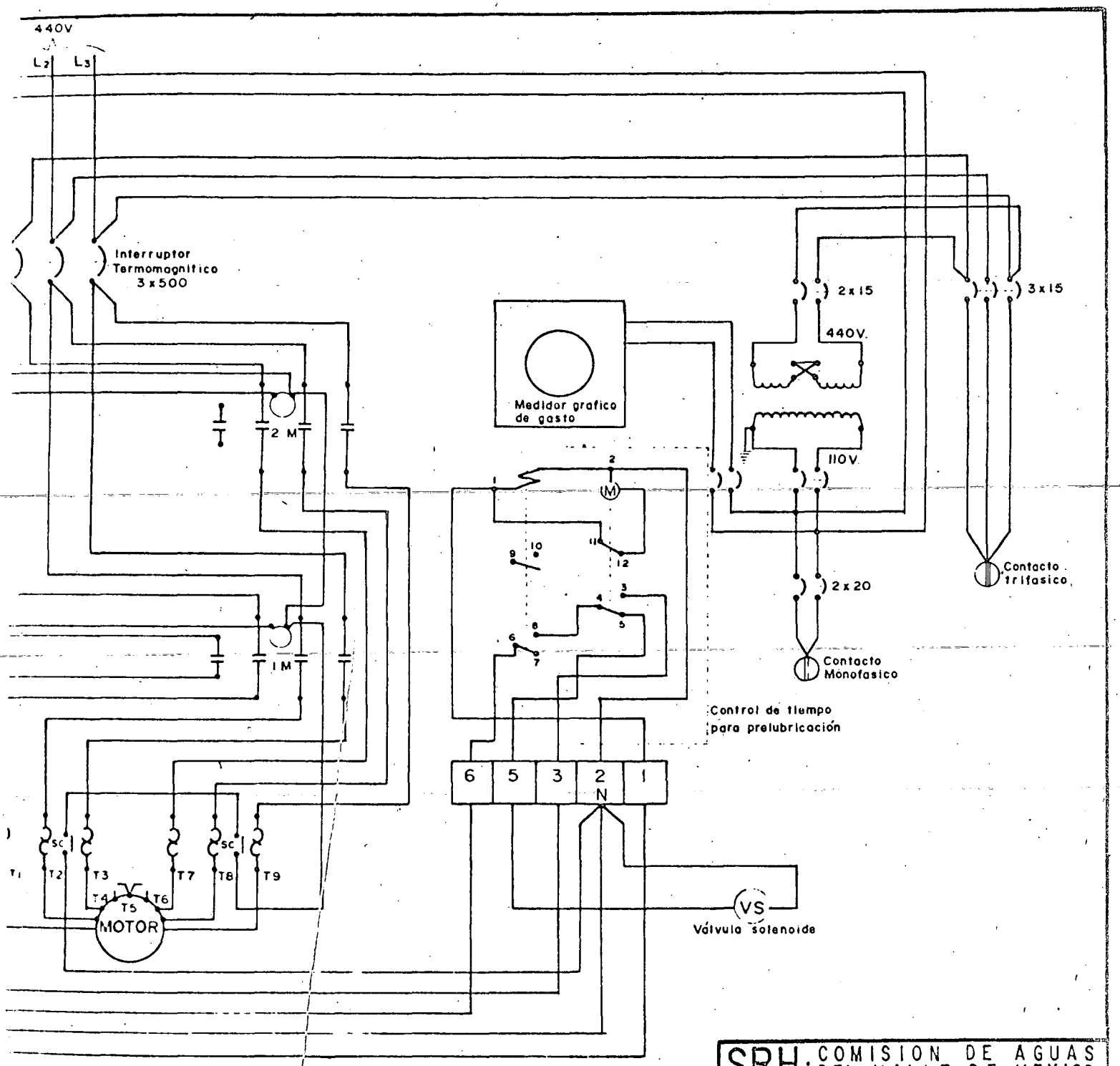
SRH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO

DIRECCION GENERAL DE OPERACION

DIAGRAMA UNIFILAR

PARA CONTROL DE MOTORES DE 150 HP. Y 200 HP.

VOCAL SECRETARIO	DIRECTOR GENERAL	VOCAL EJECUTIVO
ING. LUIS F. RODLEDO C.	ING. JESUS CASTAÑEDA RUIZ	ING. ALBERTO J. BAROCIO M.
SECRETARIO DE RECURSOS HIDRAULICOS		Y PRESIDENTE DE LA COMISION



SRH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
DIRECCION GENERAL DE OPERACION

DIAGRAMA UNIFILAR
PARA CONTROL DE MOTORES DE 250 HP Y 300 HP

VOCAL SECRETARIO — DIRECTOR GENERAL — VOCAL EJECUTIVO
ING. LUIS PALACIOS ECHEVERRIA — ING. JESUS ENRIQUE RUIZ — ING. ALBERTO JIMENEZ ARGUELLES
SECRETARIO DE RECURSOS HIDRAULICOS Y PRESIDENTE DE LA COMISION
ING. LEANDRO ROSAS BADE

México, D.F.
Sept. de 1976

CA-G-88

Probador de relevadores (Multi-Amp.).

POZO Nº _____ SERIE Nº _____

LOCALIZACION _____ LOCALIZACION _____

USO _____ LOCALIZACION _____

ARRANCADOR Y MOTOR

CUADRO DE SERVICIO DE INSPECCION

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
19																																																					
19																																																					
19																																																					
19																																																					
19																																																					

LISTA PARA CHEQUEO MECANICO

PARTIDA	FECHA						PARTIDA	FECHA					
POLVO							MAGNETOS						
							CAMARAS DE AROUIEO						
CONEXIONES							ESTACION DE BOTONES						
TORNILLOS Y TUERCAS							RELEVADORES						
TERMINALES FLEXIBLES							RESISTENCIAS						
TERMINALES													
BALEROS													
BOBINAS													
CLIPS FUSIBLES													

DGO-EM-06

POZO Nº

LOCALIZACION

RECORD DE PRUEBAS PARA MANTENIMIENTO ELECTRICO

RELEVADOR DE SOBRECARGA — INTERRUPTOR

	1			2			3			TEMP. AMBIENTE °C	DATOS DE PLACA
TIEMPO	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.	A.		
											MARCA
FECHA DE REGISTRO											SERIE Nº
											ARMAZON TAMAÑO
											H. P.
											VOLTAJE
											FASES
											FRECUENCIA
											CORRIENTE
											CORRIENTE A ROTOR BLOQUEADO
											CAPACIDAD INTERRUPTIVA

DGO - EM - 07

POZO Nº

LOCALIZACION

FECHA INSTALACION

INTERRUPTOR

CUADRO DE SERVICIO DE INSPECCION

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
19																																																					
19																																																					
19																																																					
19																																																					
19																																																					

LISTA PARA CHEQUEO MECANICO

PARTIDA	FECHA						PARTIDA	FECHA					
TORNILLOS Y TUERCAS							MECANISMO						
CONTACTOS													
CONTACTOS AUXILIARES													

DGO - EM - 08

CAPITULO IV

MOTORES TRIFASICOS DE INDUCCION

Estos son los motores que se emplean para impulsar los equipos de bombeo que opera la Comisión. Son motores de corriente alterna previstos para ser conectados a redes de alimentación trifásica. Se fabrican de las más diversas potencias, desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos. Tienen una característica de velocidad sensiblemente constante, y una característica de par que varía ampliamente según los diseños. Hay motores trifásicos que poseen un elevado par de arranque; otros, en cambio, lo poseen reducido. Hay tipos diseñados para que absorban una corriente de arranque más bien moderada, y otros que están previstos para absorber una corriente de arranque elevada. Se les construye prácticamente para todas las tensiones y frecuencias de servicio normalizadas, y muy a menudo están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas. Los motores trifásicos se emplean para accionar máquinas —herramientas, bombas, montacargas, ventiladores, grúas, sopladores, etc. (Fig. 18).

Para nuestros equipos de bombeo se han utilizado motores con características de par-velocidad, según diseño NEMA B (Fig. 19) baja corriente de arranque y par-normal.

Constitución de un motor trifásico

La figura 20 muestra el aspecto interior de un motor trifásico. Se compone de tres partes principales: estator, rotor y escudos o tapas.

El estator consiste en una carcasa de fundición, un núcleo formado por chapas magnéticas y un arrollamiento constituido por bobinas individuales alojadas en las ranuras del núcleo. El rotor puede ser del tipo de jaula de ardilla, a base de barras y arcos de aluminio fundidos conjunta-

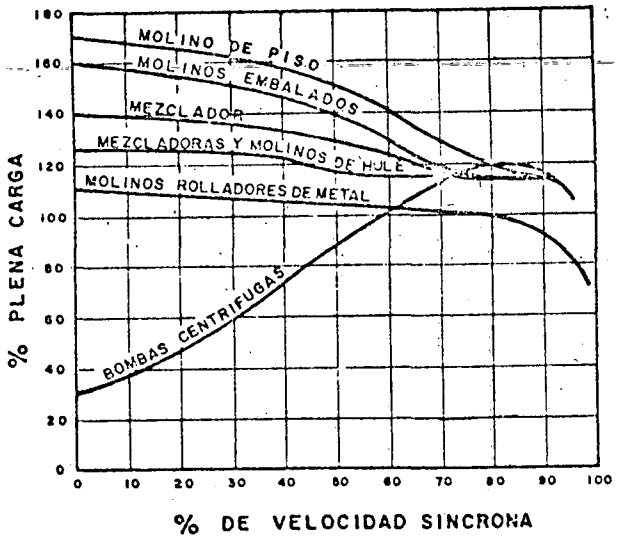


Figura 18

Curvas típicas de par para varias aplicaciones industriales.

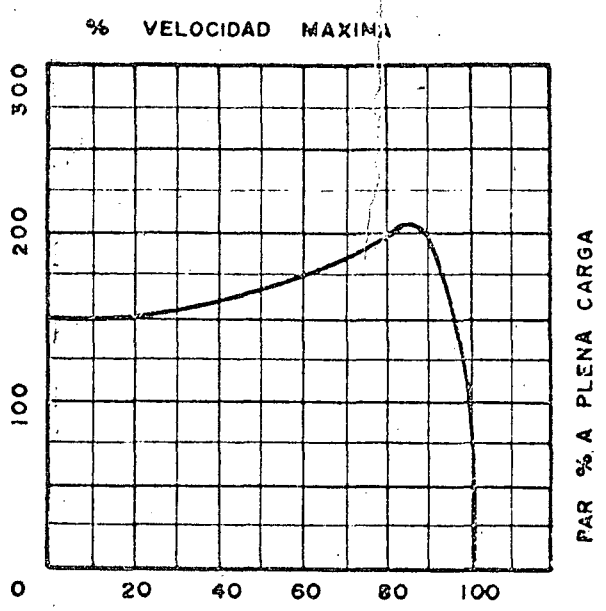


Figura 19

Característica par velocidad.

mente en molde, o bien bobinado. Tanto un tipo como el otro están provistos de un núcleo de chapas magnéticas ajustado a presión sobre el eje. La figura 21 muestra el aspecto exterior de un motor de jaula de ardilla.

Las tapas del motor se afianzan firmemente, una a cada lado de la carcasa, con auxilio de tornillos. En ellas van montados los cojinetes sobre los cuales se apoya y gira el eje del rotor. A tal efecto se emplean indistintamente cojinetes de bolas y cojinetes de resbalamiento. En los motores verticales para equipos de bombeo el cojinete superior es el que soporta el peso del equipo de bombeo y los esfuerzos inherentes a los efectos hidrodinámicos en la puesta en marcha, operación y paro del motor.

Funcionamiento del motor trifásico

Las bobinas alojadas en las ranuras están conectadas de modo que formen tres arrollamientos independientes iguales, llamados fases. En la figura 22 se han representado esquemáticamente las tres fases o arrollamientos de un motor. Dichos arrollamientos están distribuidos y unidos entre sí de tal manera que, al aplicar a sus terminales la tensión de una red de alimentación trifásica, se genera en el interior del estator un campo magnético giratorio que arrastra al rotor y lo obliga a girar a determinada velocidad. Esta velocidad depende exclusivamente de la frecuencia y el número de polos, y se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$Vs = \frac{120\ f}{P}$$

Donde:

Vs = Velocidad síncrona en revoluciones por minuto del campo magnético giratorio.

f = Frecuencia en ciclos por segundo.

P = Número de polos.

Para un motor de cuatro polos y que opera a 60 c.p.s. su velocidad síncrona es:

$$Vs = \frac{120 \times 60}{4}$$

$$= \frac{7\ 200}{4}$$

$$Vs = 1\ 800 \text{ R.P.M.}$$

Debido a efectos de carga, tipo y diseño de estos motores, la velocidad real del rotor no es la misma que la del campo magnético giratorio, provocando un deslizamiento o diferencia de velocidad síncrona, por tal motivo a estos motores se les llama también "Asíncronos".

Este deslizamiento se determina de la siguiente manera:

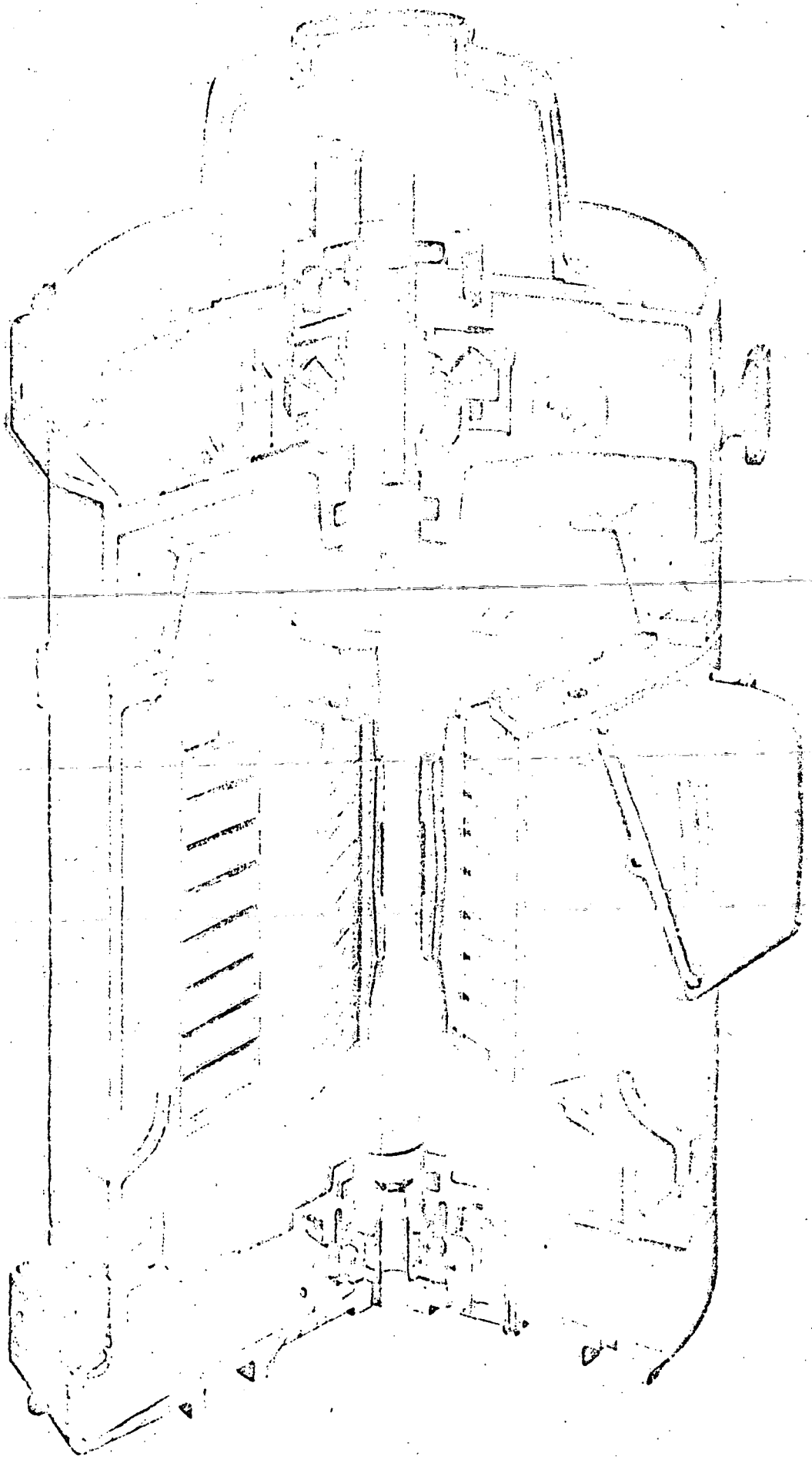
$$\% S = \frac{Vs - Vr}{Vs} \times 100$$

Donde:

% S = Por ciento de deslizamiento.

Vs = Velocidad síncrona en R.P.M.

Vr = Velocidad del rotor en R.P.M.



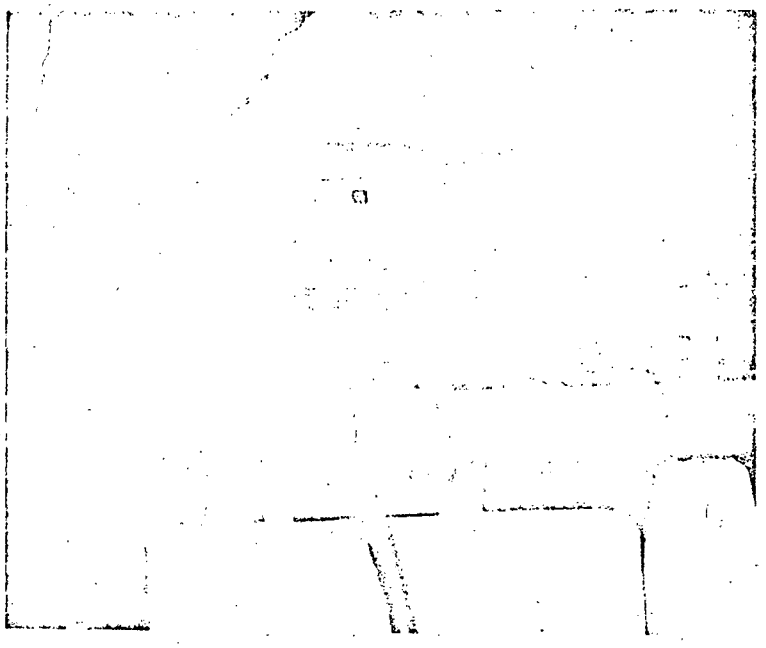


Figura 21

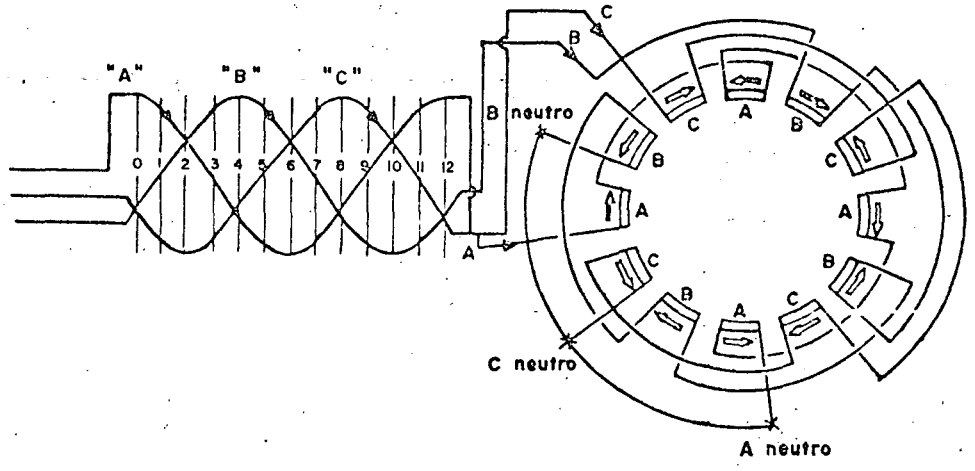


Figura 22

Conservación Preventiva

La conservación preventiva de los aparatos eléctricos consiste en la aplicación metódica de rutinas para su ensayo, limpieza, secado, barnizado, ajuste y lubricación. Para obtener el mejor éxito de tales rutinas es conveniente que cada motor, generador, regulador, etcétera, tenga su cartulina u hoja histórica en la que se anoten los ensayos y reparaciones efectuadas. Un buen programa de conservación prolongará la vida de los aparatos, tanto los nuevos como los usados, si se lleva cuidadosamente y se confía su ejecución solamente a personal especializado (ver forma DGO-EM-01).

En un buen programa de conservación conviene prever descansos para las máquinas, aprovechando los períodos de inactividad o poco uso, con el propósito de efectuar en ellas revisiones periódicas. Con ello se asegura la continuidad de su utilización y se disminuye el peligro de averías graves durante los picos de las cargas. Siguiendo un programa adecuado las averías pueden descubrirse desde el principio y la acción correctiva puede aplicarse antes de que se produzca el daño. La figura 23 muestra una avería típica que puede ocurrir cuando se descuida la conservación. **Es conveniente que los encargados de cuidar los aparatos eléctricos adopten una actitud de vigilancia: que miren, escuchen, olfateen y toquen, para descubrir los síntomas de las averías perturbadoras.**

Aislamiento

La mayor parte de los aislantes de casi todas las máquinas eléctricas consisten en compuestos orgánicos que contienen agua como una parte integrante de su constitución química. Las temperaturas excesivas tienden a deshidratar y a oxidar dichos aislantes, haciéndolos quebradizos y de fácil desintegración bajo la acción de las vibraciones y de los choques. Tales aislantes no se conservan indefinidamente durante la vida de las máquinas eléctricas. **Se deterioran poco a poco; lentamente a bajas temperaturas y más rápidamente a las elevadas. Cuando mayor sea la carga, más alta será la temperatura y más corta la vida del aislamiento.** Por consiguiente: la pregunta de qué temperatura puede tolerarse para la seguridad de funcionamiento de una máquina, solamente puede contestarse según la vida que para ella se desee.

Los factores económicos, tales como el costo inicial, el costo de reposición, el de la conservación y la posibilidad de que la máquina se haga anticuada, son de primera importancia para determinar los años deseables de servicio útil de los aislamientos. Por consiguiente, la potencia permisible en caballos de vapor y en kilowatts, de acuerdo con lo grabado en las placas indicadoras de características de las máquinas, depende de la permisible elevación de temperaturas reducida de las consideraciones económicas. Al sobrepasar del régimen de carga de una máquina se calientan los aislamientos más de lo permisible y se apresura su deterioro, mientras que, haciéndola funcionar a menor potencia que la de régimen, se prolonga su vida útil.

Cuidadosas estadísticas indican que la vida de los aislantes se reduce aproximadamente a la mitad por cada 10°C de elevación de la temperatura de funcionamiento. Por ejemplo, si una máquina que se ha diseñado para funcionamiento continuo a 70°C se hace trabajar a 80°C, su vida se reducirá a la mitad.

"Clasificación de aislamiento".—Los aislamientos eléctricos se clasifican por la estabilidad a varias temperaturas de los materiales utilizados en su construcción. Los seis grados más corrientes de la clasificación se indican a continuación:

Clase O de aislamiento, consistente en materias orgánicas tales como el algodón, seda o papel, sin impregnar con

líquidos dieléctricos, tales como el barniz aislante.

Clase A de aislamiento, consistente en materias orgánicas tales como el algodón, seda o papel, impregnados con líquidos dieléctricos, tales como barniz o esmalte.

Clase B de aislamiento, consistente en materias inorgánicas como la mica, fibra-cristal o amianto, formando cuerpo con un cemento orgánico.

Clase F de aislamiento, consiste en materiales como mica, fibra de vidrio, asbestos, etc., con substancias adherentes adecuadas.

Clase C de aislamiento constituido solamente por materias inorgánicas, como la mica, el cristal o la porcelana.

Clase H de aislamiento, consistente en materiales inorgánicos como la mica, fibra-cristal o asbesto, cementados con una sustancia silicosa. (Ver Fig. 23).

La máxima temperatura permisible asignada a cada uno de los grados de la clasificación, es la de la Tabla

* Temperatura máxima permisible para Aislamientos Eléctricos (°C):

Clase O	90
Clase A	105
Clase B	130
Clase F	155
Clase H	200
Clase C	220

Elevación permisible de temperatura.— Durante el funcionamiento normal de las máquinas eléctricas su temperatura se eleva con relación a la del aire circundante. Como la temperatura del ambiente en las salas de máquinas de los EE.UU., casi nunca excede de los 40°C, se toma esta temperatura como referencia cuando se desea indicar el aumento máximo permisible. Por consiguiente, el aumento permisible de temperatura en el punto más caliente de los arrollamientos puede obtenerse restando 40° a la máxima temperatura permisible. La medición del aumento real de temperatura puede efectuarse exteriormente mediante termómetros o interiormente con detectores embebidos o mediante medidas de resistencia.

Como el valor de la temperatura en el interior de la máquina es mayor que en el exterior, las indicaciones del termómetro son siempre inferiores a las obtenidas por los detectores embebidos o por las mediciones de resistencia. Además, teniendo en cuenta los distintos espesores de los aislantes, las diferentes posibilidades de enfriamiento en los distintos puntos, la inaccesibilidad de los puntos más calientes, etc., el aumento de temperatura observado puede ser menor que el valor real. Por consiguiente, cuando se determina el aumento de temperatura sobre los 40°C del ambiente debe añadirse un margen de seguridad.

A menos que se indique otra cosa el aumento permisible de temperatura inscrito en las placas indicadoras de características de las máquinas eléctricas está basado en las lecturas obtenidas con el termómetro de un ambiente de 40°C. Por lo tanto, la temperatura máxima total permisible es la inscrita en la placa aumentada en 40°C. **Un aumento mayor, aun cuando la del ambiente sea menor de 40°C, sería una indicación de algo incorrecto y podría ser debido a una sobrecarga, una obstrucción en los conductos de ventilación, un cortocircuito, etc.**

La figura 24 representa la curva de los años de vida a distintas temperaturas para los aislamientos de la clase A. La temperatura indicada es la del ambiente, más el aumento de temperatura, más un 15% para obtener la máxima temperatura interna. Los dos lados sombreados de la banda indican las vidas máximas y mínimas que pueden esperarse para cada temperatura de funcionamiento y la línea recta del centro indica la temperatura media

TEMPERATURA MAXIMA PERMISIBLE PARA LAS DISTINTAS CLASES DE AISLAMIENTO

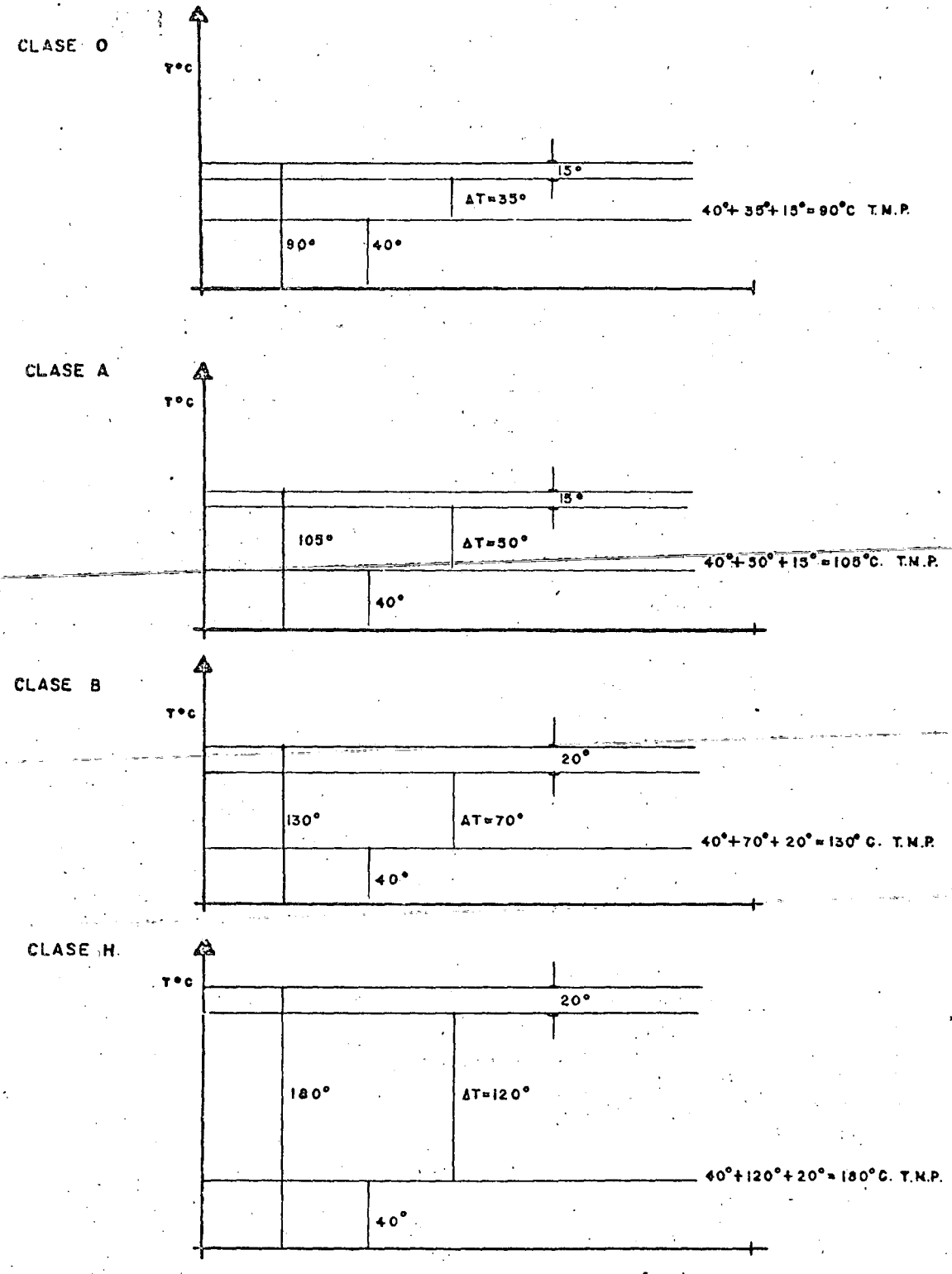


Figura 23

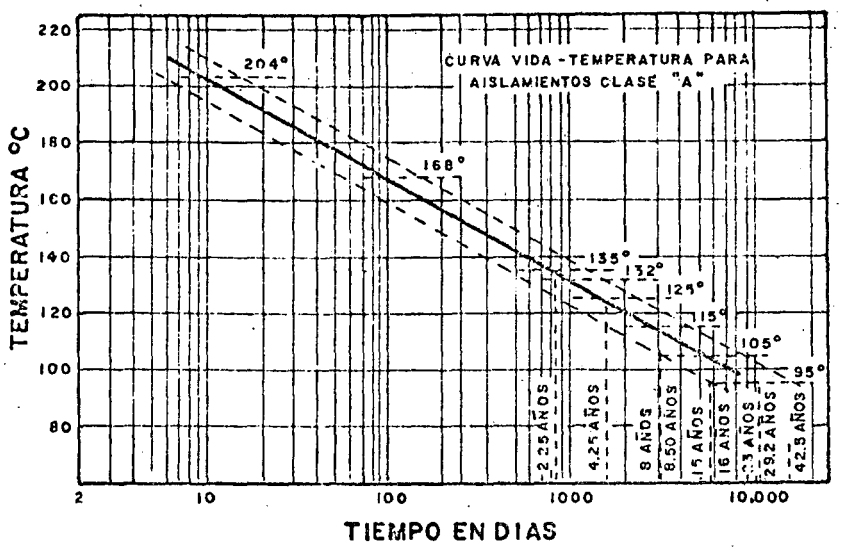


Figura 24

Por ejemplo, si una máquina con aislamientos de la clase A se hace funcionar con un aumento de 40°C sobre la temperatura del ambiente, y la de éste es también de 40°C, tendremos que sus partes internas más calientes estarán a una temperatura aproximada de 40+40+15=95°C. La curva de vida en la figura 24 indica que dicha máquina tendrá una vida probable de 29, 2 años mientras se haga trabajar a dicha temperatura. Pero, si se hiciera trabajar, consintiendo que la temperatura alcanzara 105°C, o sea, 10°C más que lo anteriormente supuesto, su vida probable se reduciría a 15 años.

Aunque la curva vida-temperatura permite estimar la vida probable de una máquina, un factor predominante es la forma en que se haga trabajar. **Las máquinas que funcionan intermitentemente tienen una vida más larga que las que trabajan de modo continuo.**

Las vibraciones, sobretensiones y otras condiciones de funcionamiento adversas, acortan su vida útil por debilitarse sus aislamientos.

Resistencia de aislamiento.—Se denomina resistencia de aislamiento la medida de la dificultad opuesta al paso de la corriente por los materiales aislantes. Tal resistencia se altera por la humedad y la suciedad. Por consiguiente, las medidas de aislamiento constituyen una buena indicación del deterioro de las máquinas ocasionado por dichas causas.

La resistencia de aislamiento puede medirse aplicando tensiones, que no sean peligrosas para las máquinas, entre sus conductores y su carcasa o masa metálica, pudiendo ser leída directamente en un megóhmetro o calculada indirectamente por la lectura de un vóltmetro. Cuando las medidas se efectúan y calculan adecuadamente, constituyen un buen posible diagnóstico de averías probables.

La humedad absorbida por los arrollamientos o condensada en la superficie de los aislamientos ocasiona una disminución de los valores de resistencia de los aislamientos. Por consiguiente, para que las medidas de aislamiento tengan su significado exacto deben efectuarse inmediatamente después de parar la máquina. Con ello se evitarán los errores debidos a la condensación de la humedad en los arrollamientos. Cuando la temperatura de la máquina es inferior a la del ambiente

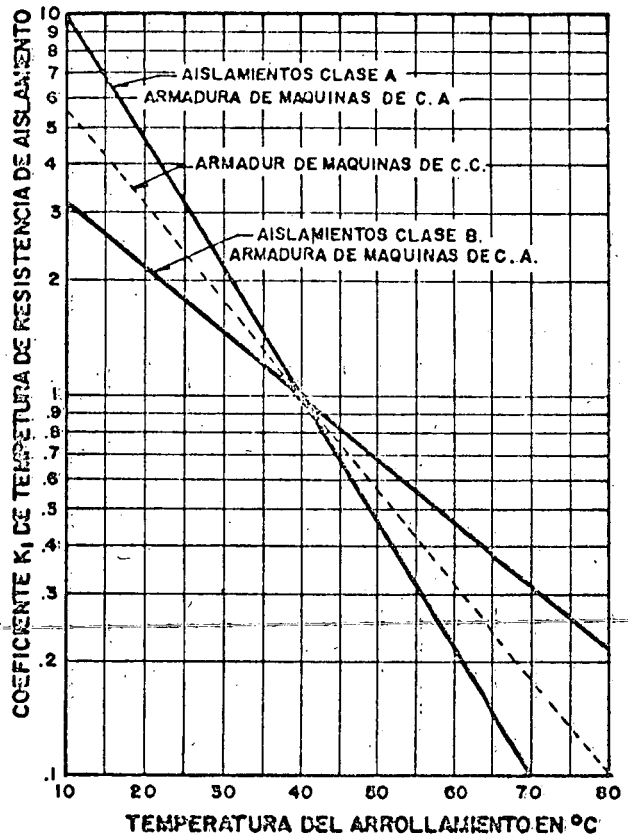


Figura 25

circundante, la humedad se condensa en ella y se absorbe gradualmente por los aislantes. Las resistencias de aislamiento de las máquinas de corriente continua son más sensibles a los cambios de humedad que los arollamientos de las máquinas de corriente alterna debido al mayor número de posibles derivaciones en las armaduras y arrollamientos de excitación de las primeras.

Corrección por temperatura de las medidas de resistencia de aislamiento.—Los materiales aislantes tienen características de resistencia negativa, es decir, que su resistencia disminuye grandemente con el aumento de temperatura. Por lo tanto, si las lecturas de las resistencias de aislamiento que se tomen a distintas temperaturas quieren compararse, han de corregirse a una temperatura única de referencia, usualmente la de 40°C. La figura 25 contiene las curvas para obtener la corrección de resistencias según la temperatura en las máquinas eléctricas. Para obtener el valor correcto, debe dividirse la resistencia observada por el factor de corrección correspondiente a la temperatura del momento de la observación:

$$R_{40} = \frac{R_t}{K_t}$$

donde R_{40} = Valor corregido de la resistencia de aislamiento

R_t = Valor observado de la resistencia de aislamiento

K_t = Factor de corrección

Ejemplo: Se ha observado que la resistencia de aislamiento de un motor de c.c.

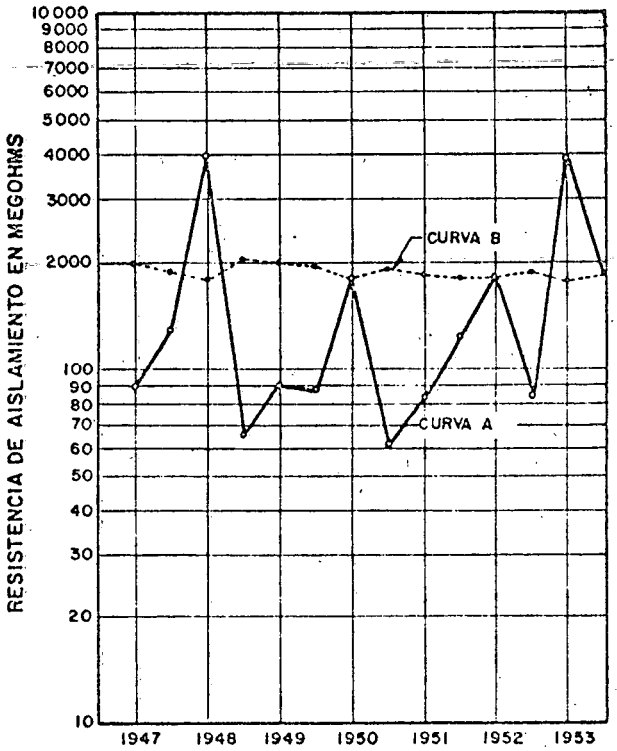


Figura 26

es de 20 megohms a la temperatura de 60°C, ¿cuál será el valor corregido a 40°C?

Solución: El factor de corrección obtenido para las máquinas c.c. en la figura 25 es 0,32. Por lo tanto:

$$R_{40} = \frac{20}{0{,}32} = 62{,}5 \text{ megohms.}$$

La figura 26 ilustra muy claramente la necesidad de corregir las resistencias de aislamiento a una temperatura común de referencia. La curva A corresponde a una resistencia sin corregir y la B a la misma resistencia corregida. Las grandes fluctuaciones indicadas en la curva A, sin corregir, darían una impresión errónea de la tendencia de la resistencia de aislamiento. La curva corregida muestra que sólo se ha producido ligeras modificaciones de la resistencia durante los seis años y medio en que se han efectuado las medidas.

CAPITULO V

CONSERVACION DE LOS AISLAMIENTOS ELECTRICOS

Limpieza de los aislamientos eléctricos

La causa más frecuente de las averías eléctricas consiste en la perforación del aislamiento. Tales averías pueden ocasionarse por la absorción de humedad, aceite y polvo en los arrollamientos, y por el calentamiento excesivo, las vibraciones, las sobretensiones y el envejecimiento.

La limpieza del polvo puede efectuarse provechosamente con un aspirador portátil de limpieza por el vacío. Con aire bien seco y comprimido entre 2 y 3 kgs. por cm^2, puede hacerse también una limpieza eficaz y utilizando anteojeras y una máscara contra el polvo es posible acercarse a la máquina y efectuar una buena limpieza. El inconveniente de utilizar el aire comprimido es el de que muchas veces se quita el polvo de un sitio para que quede depositado en otro.

Las suciedades incrustadas que impiden el paso del aire por los huecos de ventilación, deben quitarse cuidadosamente con rascadores de madera dura o de fibra. Los de metal dañarían a los aislantes y no deben utilizarse.

Los aislantes que estén recubiertos de una película de aceite o de mugre, deben limpiarse con una gamuza o con un trapo que no esté deshilachado, mojado con petróleo limpio, tal como el petróleo Stoddar. Como se trata de líquidos inflamables deben usarse con precaución en la vecindad de llamas cercanas. La utilización de tales líquidos con exceso, daña a los barnices aislantes; deben usarse solamente para eliminar la suciedad aceitada y limpiar en seguida el sitio de aplicación con un trapo seco y limpio. La proyección del líquido en forma de lluvia, con un pulverizador que puede acercarse a los puntos a limpiar, constituye un método excelente de ablandar y quitar la mugre que se deposita en los sitios de difícil alcance, tales como los huecos de ventilación y partes recónditas de los arrollamientos de inducido y del estator. El líquido debe utilizarse proyectado en forma de lluvia, no con un chorro único. Los espacios cerrados deben ventilarse forzando la circulación del aire.

El uso del tetracloruro de carbono debe evitarse por ser muy tóxico. Es más pesado que el aire y se queda en las partes bajas de los sitios mal ventilados. Si se emplea para pulverizar, el operador debe colocarse una máscara adecuada. De no tomarse precauciones pueden resultar serios daños y aun la muerte por sofocación. En los colectores, anillos y escobillas, el tetracloruro de carbono ejerce perniciosos efectos por destruir la superficie protectora. También daña a la goma, y por lo tanto no debe utilizarse en los cables o conductores cubiertos de goma. Si se ha

estimado necesario usarlo, deben eliminarse después de su uso todas las trazas que pudieran quedar, mediante una buena ventilación, antes de proceder al rebarnizado, ya que los vapores que quedasen entre los arrollamientos ejercerían un efecto corrosivo cuando se ionizasen. El tetracloruro de carbono es por sí un agente de limpieza excelente, pero debe utilizarse con mucho cuidado. Los disolventes del comercio no deben utilizarse en aislantes de la clase H, porque atacan a los barnices silicosos.

Cuando se limpian grandes motores, suele ser necesario subirse a la máquina. Antes de hacerlo, el operador debe vaciar todos sus bolsillos, ya que cualquier tornillo u otro pequeño material que cayera dentro de la máquina daría lugar a una avería seria cuando se pusiera en marcha.

Limpieza con agua

La limpieza de la máquina eléctrica con agua pura como disolvente, como también con el líquido Dreft, se efectúa muchas veces con éxito en los talleres de reparación y se recomienda especialmente para limpiar los aislantes de la clase H. La limpieza debe efectuarse tan rápidamente como sea posible; una vez lavada la máquina con agua pura y caliente y quitado el exceso de humedad con un trapo seco y limpio se introduce en una estufa para secarla.

Los equipos o maquinarias que hayan estado sumergidos, deben chorrearse con agua caliente para eliminar toda traza de sal y de fango. La presión del agua no debe exceder de 2 kgs. por cm^2. La operación de lavado debe prolongarse hasta que el agua quede libre del gusto salino. En tales casos la máquina deberá secarse después al horno, aplicando el calor externamente. Sin embargo, aun después del mejor tratamiento posible y de comprobaciones cuidadosas, las máquinas que han estado sumergidas algunas veces fallan cuando se ponen en servicio.

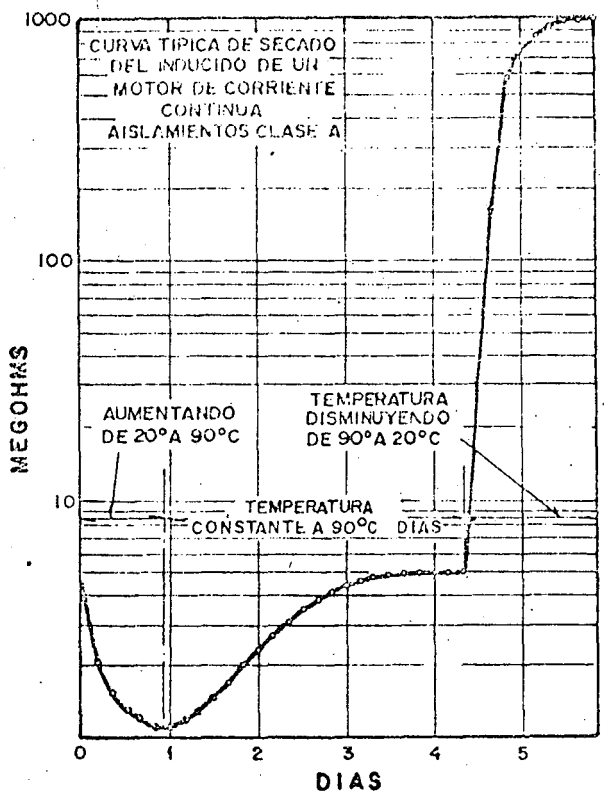
Secado de los aislamientos eléctricos

El modo más corriente de secar los aislantes consiste en la aplicación de calor externo. Ello puede hacerse con un horno permanente de secado, o por medio de un horno improvisado con toldo que envuelvan la máquina. En la parte más alta de los toldos debe dejarse un agujero para dejar escapar el aire húmedo. Las máquinas pequeñas se sacan a menudo con éxito colocándolas encima de un calentador. Cuando se utiliza calor externo para el secado, la temperatura de los arrollamientos no debe exceder de 90°C, medidos por termómetros colocados en las bobinas. La mejor fuente de calor para calentar los hornos de secado de máquinas, son los radiadores eléctricos o lámparas radiantes. Los calentadores de vapor o de aire caliente son también adecuados.

Deben efectuarse medidas de resistencia de aislamiento durante 60 segundos cada 4 horas, mientras dura la operación de secado. La figura 27 representa una curva típica de un inducido de motor de corriente continua. Durante la primera parte de la operación de secado el aumento de temperatura produce la disminución de los valores de la resistencia de aislamiento. Después, con la temperatura de secado constante, la resistencia aumenta porque se expulsa la humedad. Cuando el aislamiento está seco y puede enfriarse, la resistencia aumenta al valor más alto. Los valores punteados en la curva no se han corregido a una temperatura base, porque tal corrección no sería útil en este caso.

Secado con calor interno

Los arrollamientos que tienen una resistencia de aislamiento mayor de 50 000 ohms cuando están fríos, pueden secarse con calor interno. La corriente se suministra a los arrollamientos a un voltaje bajo y el calor interno desarrollado (pérdidas I^2R) sirve para eliminar la humedad. La



Curva típica de secado de un inducido de motor de corriente continua.

Figura 27

corriente requerida puede obtenerse de una dinamo de corriente continua para soldaduras, o puede generarse por la propia máquina. En este último caso el inducido se pone en cortocircuito y mientras la máquina se hace girar a menos de la mitad de su velocidad de régimen, se aumenta gradualmente la corriente de excitación del campo hasta que un amperímetro colocado en el circuito del inducido indique la corriente requerida. Con la velocidad reducida de la máquina se evita el posible daño a los aislamientos húmedos o mojados.

Como la temperatura interna de la máquina será mayor que la externa, la temperatura total de los arrollamientos, medida por termómetros colocados entre las espiras, no debe exceder de 80°C y deben tardarse por lo menos 6 horas hasta alcanzar dicho valor. Además, el aumento gradual de corriente para llegar a tal valor debe repartirse en el período total de las 6 horas. Un calentamiento rápido de los arrollamientos podría formar bolsas de vapor que romperían y ocasionarían daños permanentes a los aislamientos (en las máquinas de corriente alterna sólo deben usarse termómetros con cubeta de alcohol, porque los de mercurio se afectan por tensiones inducidas que pueden falsear la lectura atribuyéndoles mayor valor que el real.

Cuando para el secado del inducido de una máquina de corriente continua se utiliza el calor interno producido por la propia máquina, el inductor en serie debe desconectarse. De lo contrario podría ocasionar una subida rápida del voltaje y destruir el aislamiento.

Los motores de inducción pueden secarse impidiendo el movimiento del rotor y

aplicando al estator un 25% de la corriente de régimen.

El inductor de un alternador o de un motor síncrono deben secarse aplicando a los arrollamientos corriente continua. Si se usara corriente alterna la acción del transformador podría sobrecalentar y posiblemente dañar a la jaula de ardilla o a los arrollamientos mojados. Para conducir la corriente al rotor no deben utilizarse las escobillas porque los anillos se ennegrecerían y corroerían en los sitios de contacto con las escobillas y éstas se sobrecalentarían. Para dicho propósito deben colocarse bandas de cobre alrededor de los anillos.

Determinación de la resistencia de aislamiento

Aparatos de medida de resistencia de aislamiento.—Un aparato de medida de esta clase consiste en el mgóhmetro que indica directamente la resistencia, accionado con una fuente de corriente tal como una batería, un rectificador o un generador, incluido en el interior del mismo aparato. El megóhmetro de tipo generador mostrado en la figura 28 se llama medidor de aislamiento "Megger" y obtiene su energía eléctrica de una pequeña dinamo movida por la manivela. Para efectuar una medida se desconecta el aparato a medir de la línea de servicio y se

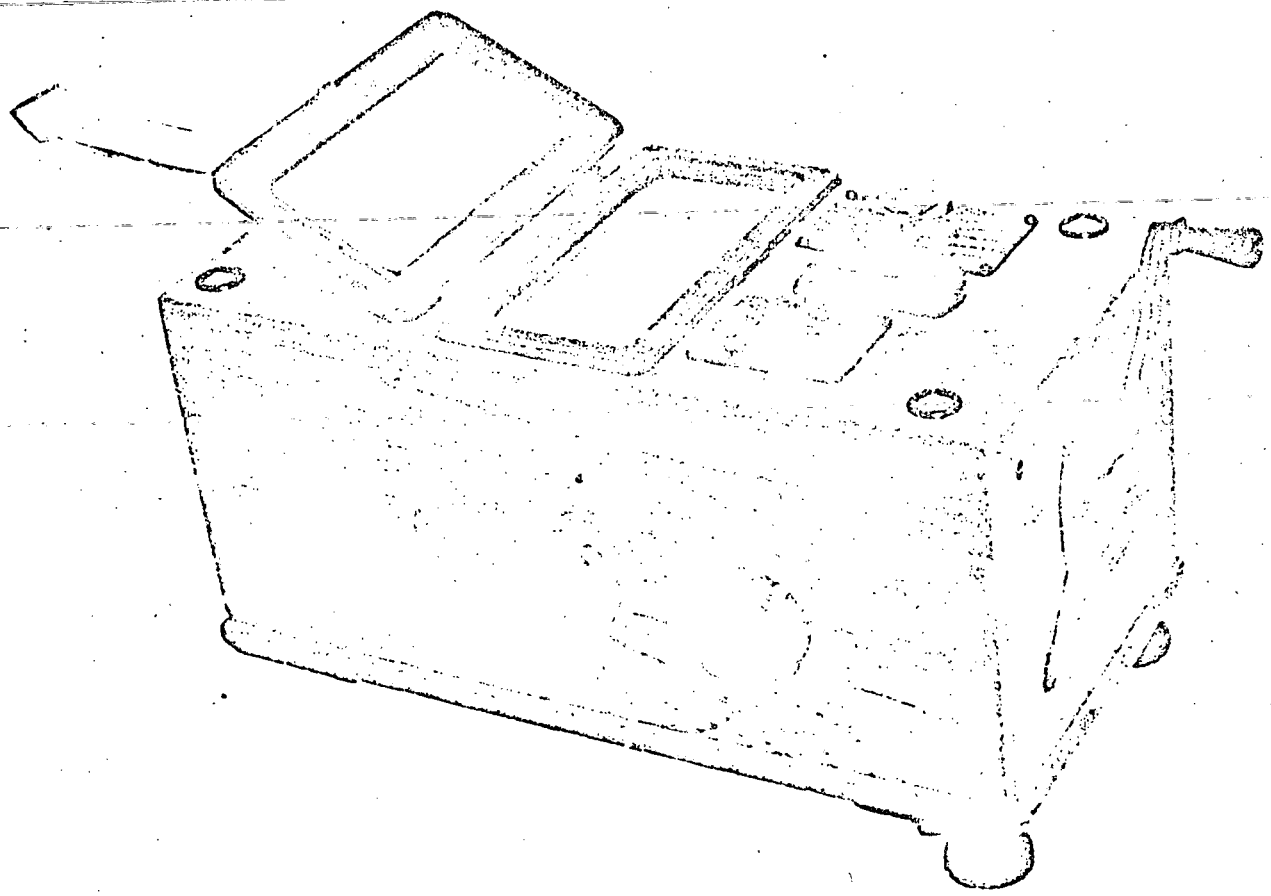


Figura 28

conecta un terminal del Megger a sus arrollamientos y el otro a su masa metálica. Moviendo la manivela del Megger a su velocidad normal. Según se indica en las instrucciones del instrumento, se observará que la aguja se mueve hacia una posición de la escala que indicará el valor de la resistencia de aislamiento que se está probando.

Las grandes máquinas con buen aislamiento tienen una capacidad considerable entre los conductores y la armazón o carcasa, por lo cual, mientras están en funcionamiento pueden adquirir una carga de electricidad estática que queda retenida, durante algún tiempo, después de su desconexión. Como la existencia de la energía eléctrica almacenada, aunque sea de poca cuantía, ocasionaría errores en la lectura del megóhmetro, los arrollamientos de las grandes máquinas deben conectarse a tierra, por lo menos durante 15 minutos inmediatamente antes de efectuar las mediciones.

Hay Meggers para varias tensiones, a escoger entre las de 100 a 2 500 volts. La selección del tipo adecuado se basa en la tensión a que debe funcionar el equipo a probar. Si la tensión de régimen de la máquina a ensayar es de 100 volts, o menor, debe escogerse un Megger de 100 a 250 volts. Si la tensión del equipo a ensayar sobrepasa los 100 volts, se recomienda el empleo de un Megger de 500 volts. Los Meggers con tensiones hasta 2 500 volts se utilizan para pruebas especiales.

Cuando se utiliza un Megger deben observarse cuidadosamente los movimientos de la aguja ya que pueden indicar detalles provechosos. Las derivaciones de la corriente en las superficies sucias de los aislantes producen generalmente rápidas desviaciones momentáneas hacia la parte inferior de la escala; mientras que el comportamiento de la aguja cuando el aislamiento medido está en buen estado de limpieza consiste en una oscilación hacia la parte inferior, seguida de una subida gradual hasta el valor final de la resistencia. El descenso inicial de la aguja hacia el cero de la escala se debe a la capacitancia de los arrollamientos y se observa especialmente en las grandes máquinas, en los cables y en los condensadores. Sin embargo, el tiempo de carga es corto, generalmente sólo de algunos segundos. La subida gradual de la aguja durante el movimiento de la manivela se debe al efecto de absorción dieléctrica del aislamiento. Pueden transcurrir horas antes de que la electrificación sea completa y la aguja deje de subir. La absorción dieléctrica consiste en la acumulación de cargas eléctricas en los aislantes cuando están sometidos a distintos potenciales entre sus dos superficies. No se deben a derivaciones a través del aislante, sino a la absorción de cargas. En tales condiciones los aislantes almacenan energía en forma de esfuerzo molecular. Cuando se descargan, proceso relativamente lento, las moléculas vuelven a colocarse en su sitio habitual y el esfuerzo se alivia. Como medida de seguridad, todas las grandes máquinas en las que se haya efectuado una prueba de aislamiento de cierta duración, deben descargarse después de terminar la prueba.

CAPITULO VI

ARCHIVO DE DATOS TECNICO-ADMINISTRATIVOS PARA EQUIPOS ELECTROMECANICOS

Muy importante es el contar con un inventario de los equipos electromecánicos, el cual permite llevar un control de las reparaciones requeridas y efectuadas, así como la historia técnica-administrativa de los mismos. Para lograr este objetivo se han elaborado las tarjetas correspondientes; la tarjeta DGO-A-01 es utilizada para llevar el inventario de equipos tanto motores como transformadores instalados o de repuesto en el almacén; en esta tarjeta puede anotarse la localización y movimientos del equipo como sus características principales de operación con las partes de repuesto más importante. Como complemento de esta tarjeta se ha formulado la DGO-EM-01 donde se permite llevar el récord de las reparaciones hechas a cada uno de los equipos inventariados.

La cuidadosa conservación de los datos registrados en varias fechas resulta esencial para el análisis lógico del estado de los aislamientos: Las comprobaciones de las resistencias de aislamiento deben efectuarse regularmente con el mismo método y aparato de pruebas. Pueden hacerse cada mes, cada seis meses o cada año, según se estime conveniente, anotándose la resistencia, la temperatura y la fecha. Las lecturas del megóhmetro deben corregirse a una temperatura base, tal como la de 40°C, y deben anotarse punteándolas en un impreso semilogarítmico para la más fácil determinación de la tendencia. Aunque cada lectura, individualmente considerada, sea más elevada que el mínimo requerido, una marcada tendencia al descenso indicaría la probabilidad de averías próximas. Las tarjetas DGO-EM-02, DGO-EM-03 y DGO-EM-04, representa un modelo de cartulina impresa para facilitar el registro y archivo de las resistencias de aislamiento.

Los ensayos de absorción dieléctrica y según el método de las dos tensiones son las más utilizadas para determinar el estado general de los aislamientos eléctricos. Sin embargo, para precisar las averías en las grandes máquinas, se utilizan tres métodos. Algunos requieren aparatos de media complicados y demasiado costosos.

TARJETA DE INVENTARIO

Nº _____

MOTOR - TRANSFORMADOR.

LOCALIZACION	FECHA	APLICACION	OBSERVACIONES
1			
2			
3			
4			

HP-KVA	RPM	FASES	CICLOS	VOLTS.	AMPS. PC.	SERIE No	MARCA	TIPO	ARMAZON

PEDIDO Nº _____ FECHA _____

DIAGRAMA DE CONEXIONES Nº _____

TEMPERATURA DE TRABAJO _____

MOTOR	TRANSFORMADOR	CONTROL
BALEROS TIPO _____	CLASE _____	MARCA _____
SUPERIOR _____	PRIMARIO _____	TIPO _____
INFERIOR _____	SECUNDARIO _____	INSTRUCTIVO _____
FLECHA	TEMPERATURA _____	CABLE CALIBRE _____
DIAM. _____ LONGITUD _____		
CUÑERO _____ X _____ X _____		

DGO-A-01

RECORD DE REPARACIONES

T. DE I. Nº _____

FECHA	FALLA	COMO SE REPARO	COMENTARIOS

SUPERVISO: _____

DOG-EM-01

TABLAS PARA SELECCION DE ELEMENTOS TERMICOS

27 A	28 A	29 A	
Capacidad en amperes del elemento térmico			No. Cat.
			10177
84.8 - 95.9	8.2 - 92.7		H1021
96.0 - 107	92.8 - 103		H1022
108 - 121	104 - 114	109 - 121	H1023
122 - 134	115 - 127	122 - 134	H1024
135 - 151	128 - 145	135 - 151	H1025
152 - 169	146 - 161	152 - 170	H1026
170 - 189	162 - 180	171 - 189	H1066
190 - 208	181 - 198	190 - 209	H1027
209 - 236	199 - 223	210 - 236	H1028
237 - 261	224 - 247	237 - 261	H1029
262 - 292	248 - 277	262 - 270	H1030

Para motores con factor de servicio de 1.15 recomendamos usar elementos térmicos un tamaño menor para proteger a partir de un 115% de la corriente nominal.

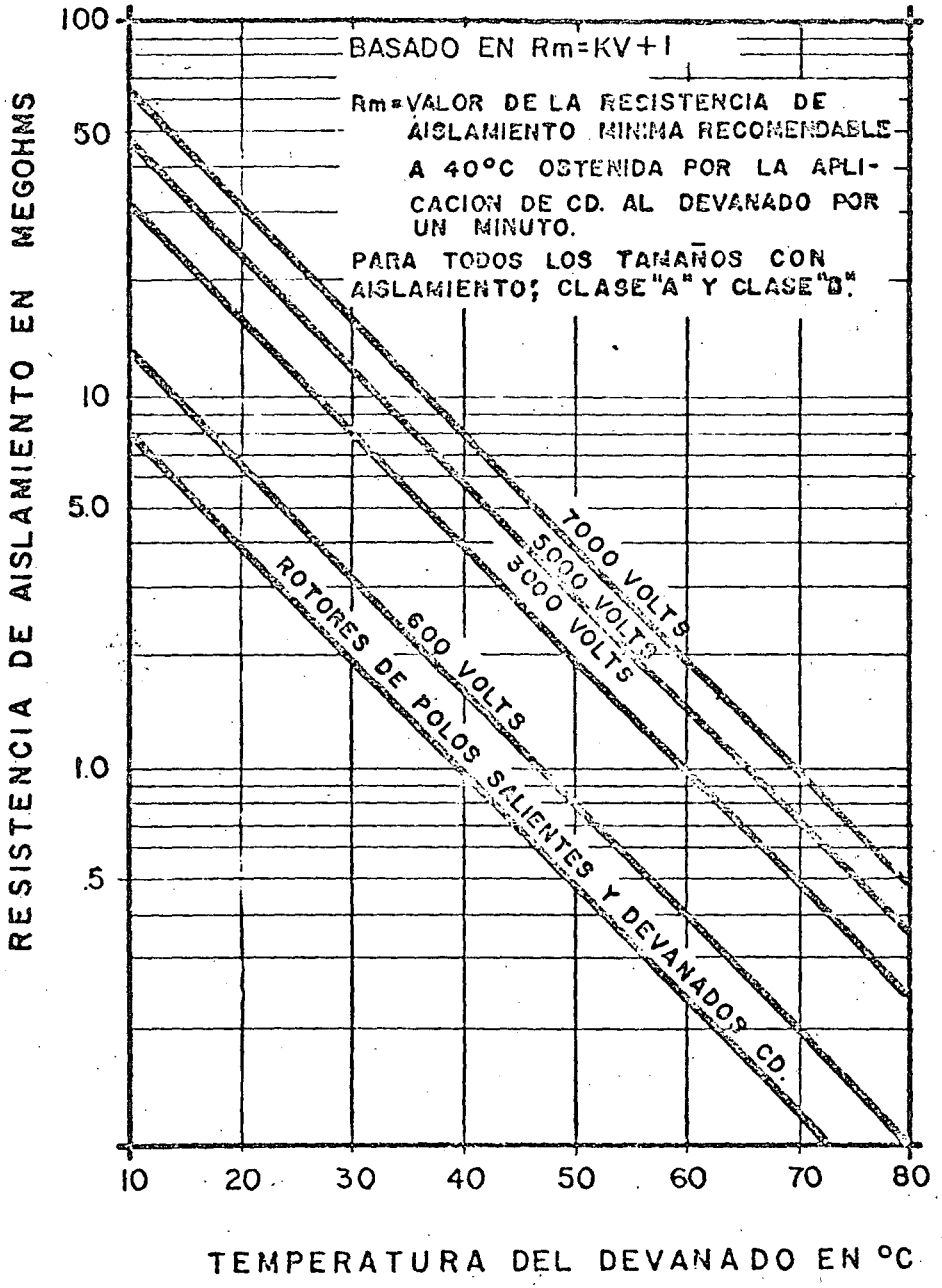
Para motores con factor de servicio de 1.0 recomendamos usar elementos térmicos dos tamaños menores para proteger a partir de 100% de la corriente nominal.

TABLAS PARA SELECCION DE ELEMENTOS TERMICOS

45 A	46 A	47 A	
Capacidad amperes del elemento térmico			Cat. No.
			H1036
			H1037
			H1038
			H1039
17.3 - 19.3	15.8 - 17.5		H1040
19.4 - 21.4	17.6 - 19.3		H1041
21.5 - 23.9	19.4 - 21.5		H1042
24.0 - 27.8	21.6 - 24.7		H1043
27.9 - 31.6	24.8 - 28.1		H1044
31.7 - 35.9	28.2 - 31.6	28.5 - 32.2	H1045
36.0 - 40.7	31.7 - 35.8	32.4 - 36.5	H1046
40.8 - 46.1	35.9 - 40.1	36.7 - 41.5	H1047
46.2 - 52.8	40.2 - 45.4	41.6 - 47.5	H1048
52.9 - 59.9	45.5 - 51.5	47.6 - 53.9	H1049
60.0 - 66.1	51.6 - 56.8	54.0 - 59.5	H1050
66.2 - 73.1	56.9 - 62.1	59.6 - 65.8	H1051
73.2 - 80.7	62.2 - 68.6	65.9 - 72.7	H1052
80.8 - 94.3	68.7 - 79.9	72.8 - 84.8	H1054
94.4 - 104	80.0 - 87.9	84.0 - 94.4	H1055
105 - 116	88.0 - 99.1	94.5 - 104.9	H1056
117 - 127	99.2 - 108.9	105.0 - 115.9	H1057
128 - 145	109 - 125	116.0 - 130.9	H1058
146 - 150	126 - 135	131.0 - 135.0	H1059

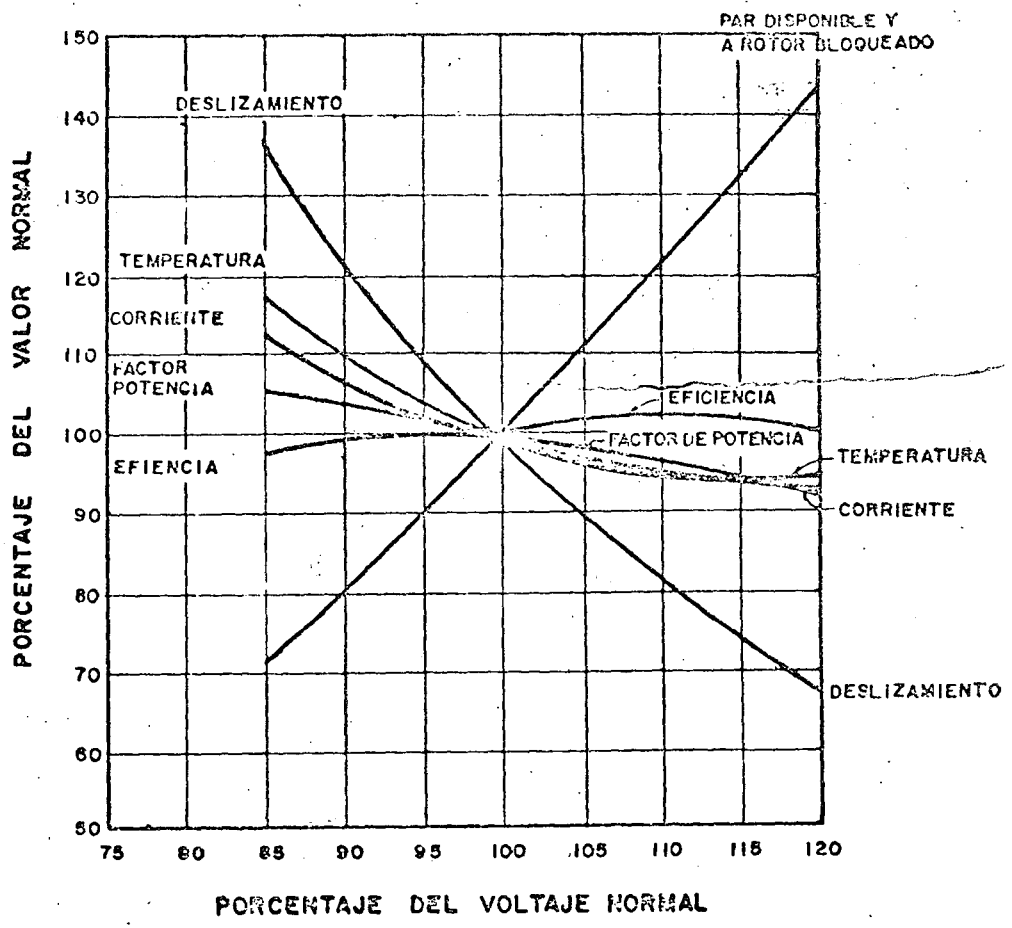
Para motores con factor de servicio de 1.15, recomendamos usar elementos térmicos un tamaño menor para proteger a partir de un 115% de la corriente nominal.

Para motores con factor de servicio de 1.0, recomendamos usar elementos térmicos dos tamaños menores para proteger a partir de 100% de la corriente nominal.



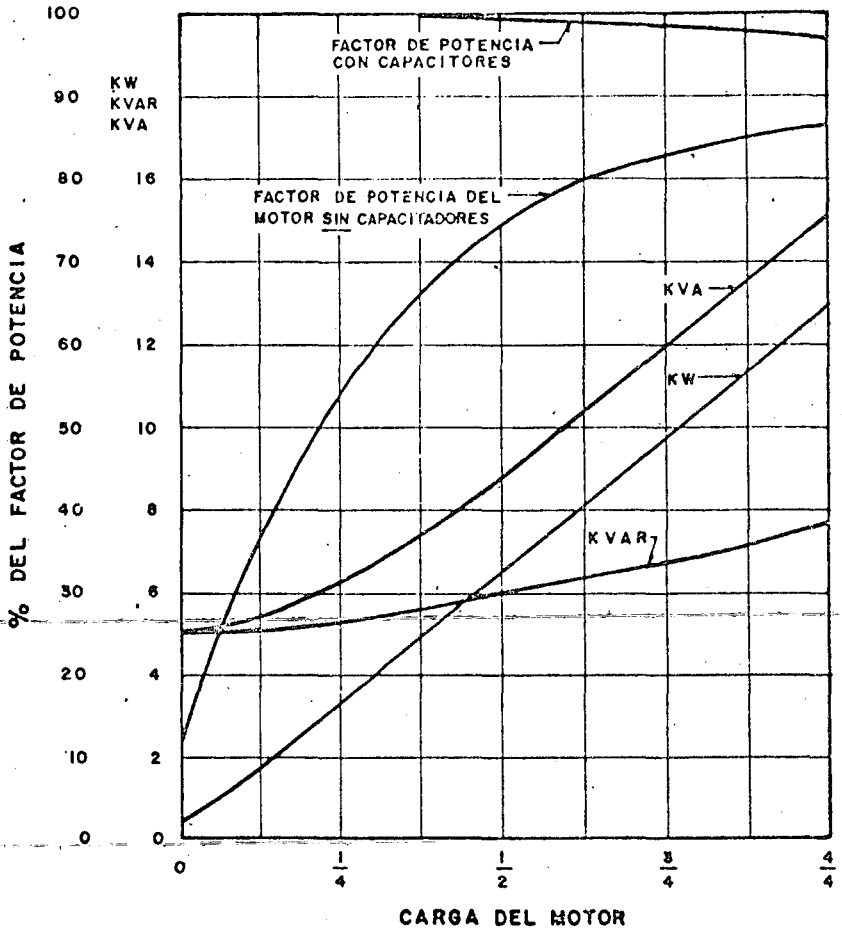
RESISTENCIA DE AISLAMIENTO MINIMA RECOMENDABLE

61



EFECTOS GENERALES DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE EN LOS MOTORES DE INDUCCION

62



CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE OPERACION PARA UN MOTOR DE INDUCCION DE MEDIANA CAPACIDAD

FORMULAS ELECTRICAS PARA VARIOS SERVICIOS DE ENERGIA

SERVICIO	WATTS	KILOWATTS	MEGAWATTS	KVA	MVA
DC	$W = EI$	$KW = \frac{EI}{1000}$	$MW = \frac{EI}{1\,000\,000}$		
UNA FASE CA	$W = EI \times FP$	$KW = \frac{EI \times FP}{1000}$	$MW = \frac{EI \times FP}{1\,000\,000}$	$KVA = \frac{EI}{1000}$	$MVA = \frac{EI}{1\,000\,000}$
DOS FASES CA	$W = 2EI \times FP$	$KW = \frac{2EI \times FP}{1000}$	$MW = \frac{2EI \times FP}{1\,000\,000}$	$KVA = \frac{2EI}{1000}$	$MVA = \frac{2EI}{1\,000\,000}$
TRES FASES CA	$W = 1.73EI \times FP$	$KW = \frac{1.73EI \times FP}{1000}$	$MW = \frac{1.73EI \times FP}{1\,000\,000}$	$KVA = \frac{1.73EI}{1000}$	$MVA = \frac{1.73\,EI}{1\,000\,000}$

En la tabla de arriba

E = Volts efectivos de la línea
I = Amperes efectivos de la línea
W = watts
KW = Kilowatts (1000 watts)
MW = megawatts (1 000 000 watts)
FP = Factor de potencia

HOJA DE CHEQUEO 19 _____

POZO Nº. _____

RAMAL. _____

Mo.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGTO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
FECHA												
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												
15												
16												
17												
18												
19												
20												
21												
22												
23												
24												
25												
26												
27												
28												
29												
30												
31												
32												
33												
34												
35												

CHEQUEO SEMANAL: Vibración, alta temperatura, nivel de aceite. TRIMESTRAL: Aislamiento y conexionce, limpieza, arrancador.

DGO-EM-05

SARH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
DIRECCION GENERAL DE OPERACION

RECORD DE INSPECCION DE APARATOS ELECTRICOS
TRANSFORMADOR

Localizacion. _____

DATOS DE PLACA

Marca. _____ KVA. _____ Fases. _____

Volts. Prim _____ Volts. Sec. _____ Ciclos _____

Clase. _____ Tipo _____ No. Serie _____

DIAGRAMA CONEXIONES No. _____

FECHA	RESIST. DE AISLAMIENTO MΩ			DIELECTRICO ACEITE KV.				VOLTAJE DE LINEAS			POSIC TAP. VOLTS	POSIC TAP. No
	BT - AT	BT - T	AT - T	P - 1	P - 2	P - 3	PROMEDIO	E 1-2	E 1-3	E 3-4		

FECHA	TIPO DE SERVICIO	OBSERVACIONES

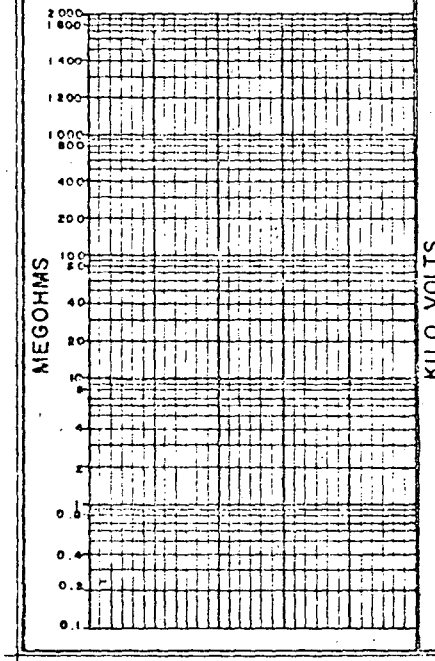
FECHA	TIPO DE SERVICIO	OBSERVACIONES

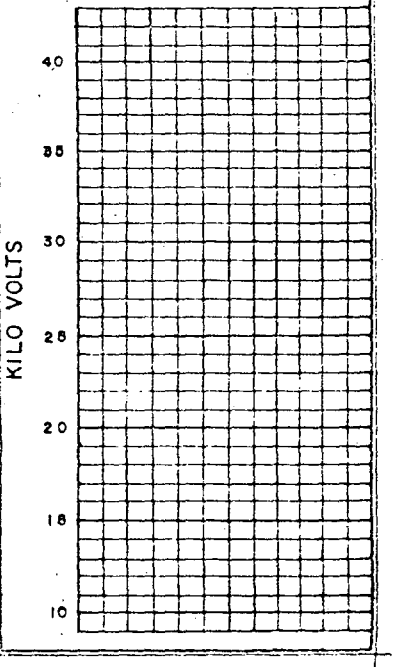
RECORD DE INSPECCION DE APARATOS ELECTRICOS

Loc. _____

DATOS PLACA

MOTOR	TRANSFORMADOR
Marca. _____	Marca. _____
HP. _____ Volts _____	KVA _____ Volts _____
RPM. _____ Amp. _____	Clase _____ Fases _____
No. Serie _____	No. Serie _____
FECHA DE INSPECCION	FECHA DE INSPECCION
TEMP.	TEMP.





SARH · COMISION DE AGUAS DEL VALLE DE MEXICO
DIRECCION GENERAL DE OPERACION

RECORD DE INSPECCION DE APARATOS ELECTRICOS

MOTOR

Localizacion: _____

DATOS DE PLACA

Marca _____ HP _____

Volts _____ AMP _____ RPM _____

No. Serie _____ Clase _____ Estilo _____

Cod. _____ Balero Sup. _____ Balero Inf. _____

FECHA	RESIST. DE AISLAMIENTO MΩ			TEMP.	CORRIENTE			AMBIENTE		NIVEL ACEITE	
	DEV. 1-T	DEV. 2-T	DEV. 1-2	MOTOR	F-1	F-2	F-3	SECO	HUMEDO	SUP.	INF.

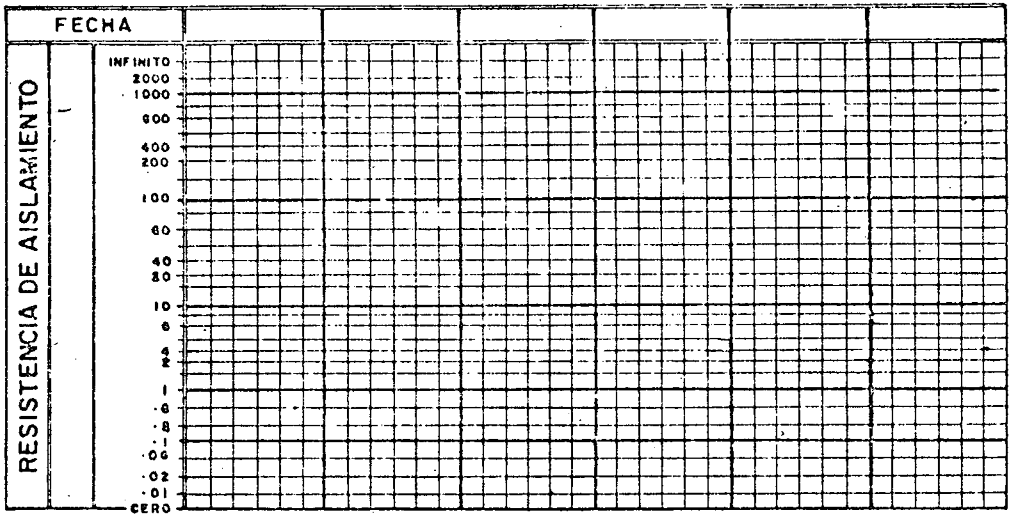
FECHA	TIPO DE SERVICIO	OBSERVACIONES

RECORD DE PRUEBA DE AISLAMIENTO

PARA USAR PROBADOR DE AISLAMIENTO ARRIBA DE 2000 MEGHOMS

APARATO ______________________ Nº ____________ ____________

LOCALIZACION ______________________ FECHA DE INSTALACION ________



DGO - EM - 02

FECHA	LECTURA	TEMPERATURA			TEMPERATURA BASE	
		AMBIENTE		APARATO	Foctor de Corrección	

DGO - EM - 02 (reverso)

INTRODUCCION

Cada bomba centrífuga Worthington es el resultado de alrededor de un siglo de progreso en el campo de la Ingeniería Hidráulica. Las bombas Worthington son diseñadas científicamente y están construidas para dar un servicio digno de confianza y duradero.

Worthington cuenta con un cuerpo bien entrenado de diseñadores, asesores e ingenieros de servicio para asistirlo a usted en sus problemas de bombeo.

Una selección cuidadosa, de materiales y métodos de manufactura, le aseguran a usted que tendrá una bomba que le dará mayor rendimiento.

Este boletín cubre la instalación, Operación y Mantenimiento de las Bombas Verticales Tipo Turbina.

Lea este panfleto y famliarícese con su unidad de bombeo.

Guarde este boletín en un lugar accesible para cuando necesite consultarlo.

CONTENIDO

INSPECCION DEL EQUIPO

Tan pronto como se reciba un embarque, inspecciónese y cotéjese con la lista de embarque o con la remisión, y repórtese al agente local de la Compañía de Transportes, en caso de daño o faltante.

Inspecciónense huacales y bultos antes de tirarlos. Algunas veces, partes o accesorios, se aseguran, independientemente, a los huacales o cajas.

ALMACENAMIENTO

Nuestras unidades se embarcan para su inmediata instalación. Si van a ser almacenadas antes de instalarse, tómense todas las precauciones necesarias para protegerlas contra la humedad, intemperie, corrosión u otros daños.

LOCALIZACION DE LA BOMBA

Las unidades deben ser montadas donde sean fácilmente accesibles para su inspección y mantenimiento. Déjese espacio suficiente, alrededor de la unidad, para que el motor cuente con libre circulación de aire.

NOTA: Las características de fabricación del motor deben llenar las necesidades que las condiciones del lugar de la instalación requieran. Son necesarias cubiertas especiales para los motores, cuando se tenga humedad excesiva, humos o polvo peligroso.

ELIMINACION DE MATERIAL EXTRAÑO EN EL POZO

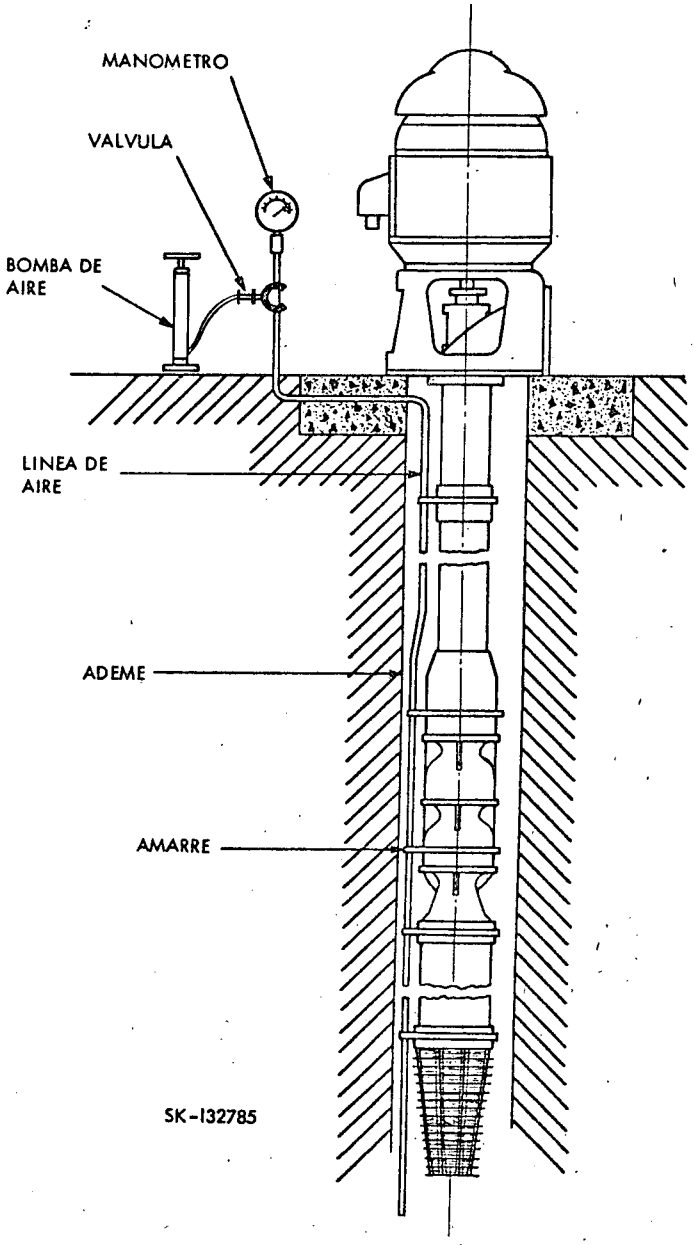
Todo material extraño, tal como pedazos de metal, de madera, etc., debe ser extraído del pozo antes de que se instale la bomba. Si se deja cualquier material de éstos en el pozo, podrá ser succionado por la bomba y ocasionarle un serio daño. Como precaución adicional se recomienda usar una coladera para cada bomba. Se evitará así la entrada de cuerpos extraños de tamaño inadecuado.

DISPOSITIVO MEDIDOR DE NIVELES

En todos los casos se recomienda la instalación de un dispositivo medidor de niveles, como el mostrado en la figura SK-132785.

Es muy importante conocer el nivel que tiene el pozo cuando se bombea. Si el nivel del agua desciende abajo del cuerpo de tazones, la bomba succiona aire y trabaja en seco. Esto origina el bombeo de un volúmen menor de agua, o un suministro intermitente, lo que ocasionará trastornos que acortarán la vida de la bomba.

Se recomienda que se instale una válvula de compuerta y un manómetro en la línea de descarga. Las fluctuaciones de este aparato indicarán que el pozo no produce suficiente agua para abastecer la bomba, por abatimiento, periódico o alarmante, del nivel del líquido. En tal caso la capacidad puede ser reducida por medio de la válvula de compuerta y así suministrar un abastecimiento contínuo.



Disposicion para la linea de Aire en una Bomba de Pozo Profundo Tipo Turbina.

CIMENTACION

Este párrafo sólo contiene ideas generales. El tamaño y peso de la unidad, las condiciones del terreno y los niveles de las crecientes, determina-

rán el diseño más adecuado para cada cimentación, la cual deberá ser permanente y rígida, de concreto, de acero estructural o de una combinación de ambos, pero de masa suficiente para absorber todas las vibraciones normales. Los pernos de anclaje pueden ser colocados o empotrados en el concreto, fijando su posición por medio de trazos o escantillones, referidos a las tuberías de succión y descarga. Si se usa concreto, los pernos de anclaje, del tamaño especificado, podrán quedar encerrados en un tubo, dos o tres diámetros mayor que el del perno, para compensar las pequeñas variaciones de alineamiento.

EQUIPO NECESARIO PARA UNA INSTALACION

1.—Pernos de anclaje con tuercas, cuando sean necesarios.

2.—Equipo para nivelar (tornillos de ajuste, cuñas, etc.).

3.—Grúa giratoria, tripié, poste grúa con diferencial de cadena, o un equipo similar provisto de un gancho giratorio. (Ver Instalación).

4.—Abrazaderas o elevadores para tubo que ajusten con el diámetro exterior de los tazones y tubos de columna.

4.—Abrazaderas o elevadores para tubo que ajusten con el diámetro exterior de los tazones y tubos de columna.

5.—Polines adecuados sobre los cuales puedan descansar las abrazaderas del tubo.

6.—Dos caimanes de tamaño apropiado para el tubo de columna.

7.—Un cepillo de alambre y solvente para limpiar las cuerdas.

8.—Un buen "compuesto" para las cuerdas de los tubos y una mezcla adecuada, que no se endurezca, para las cuerdas del tubo de protección, si la bomba se lubrica con aceite.

9.—Dos llaves "stillson" de tamaño propio, para la flecha y tubos de protección.

10.—Empaque cuadrado para la caja de estopas (suministrado por Worthington).

11.—Lubricantes recomendados para el motor y la bomba (ver Instalación).

12.—Herramientas de mano.

INSTALACION

(Bombas lubricadas por agua)

La bomba, tal como se embarca de fábrica, consta de tres partes principales como sigue:

1.—Cuerpo de tazones, o sea la sección de impulsores y tazones ensamblados.

2.—Columna, que incluye tubo de succión, coladera, tubo de columna, flecha, coples y chumaceras.

NOTA: "Hemos de advertir que los tubos de columna ya llevan el cople apretado y en su posición correcta; por la cual, al acoplarse al tubo siguiente será necesario apretar solamente éste hasta que tope con el soporte respectivo. (Ver MK-101286)".

3.—Cabeza de descarga, incluyendo el codo de descarga, soporte para el elemento motriz y caja de estopas.

Compruébense los números de serie del cuerpo de tazones y de la cabeza de descarga, para estar seguro de que coinciden. Ensámblense los componentes de la bomba en el sitio de emplazamiento. Colóquense sobre el suelo los diferentes tramos de tubo de columna y flecha, en el orden en el cual deban instalarse en el pozo. LIMPIENSE, DE GRASA Y SUCIEDAD, LA FLECHA Y TODAS LAS CUERDAS DEL EQUIPO. Insértense las secciones de flecha dentro del tubo de columna.

Céntrese el gancho sobre el pozo, dejando altura suficiente para elevar las secciones de la bomba. Colóquense los polines a través de la cimentación, para que las abrazaderas descansen sobre ellos, cuando sea introducida al pozo cada sección. (SK-132784).

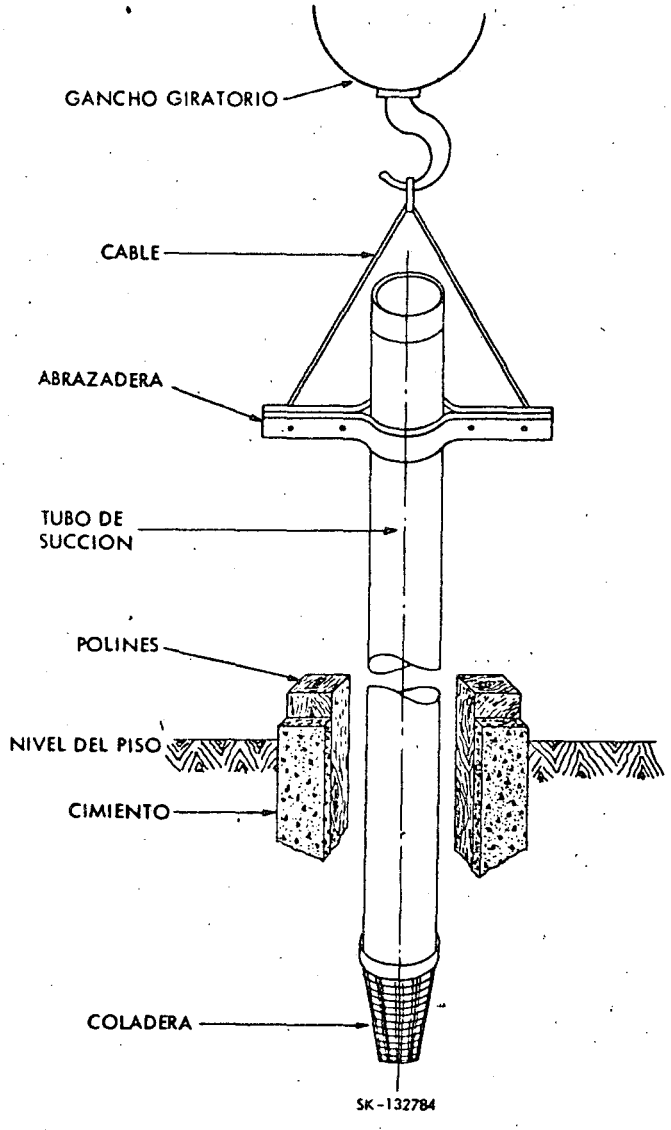
Se recomienda usar una coladera para cada bomba. Esto impide que las partículas sólidas sean succionadas dentro de la bomba y causen daños. Colóquese la coladera en el extremo de succión de la bomba. Si está equipada con un tubo de succión, colóquese una abrazadera como a 30.5 cm. (12") del extremo superior. (Véase SK 132784).

Elévese el tubo hasta su posición, teniendo cuidado de no dañar la coladera. Bájese después dentro del pozo hasta que las abrazaderas descansen sobre los polines colocados con este propósito.

Mídase y tómese nota de la longitud del juego axial de la flecha en el cuerpo de tazones. Esto será útil cuando se ajuste el margen de operación de la bomba.

Apriétese una abrazadera justamente abajo del cono de salida del cuerpo de tazones. Elévese el cuerpo de tazones, aplíquese el compuesto para cuerdas a todas las roscas y atorníllese el tubo de succión. Quítense las abrazaderas del tubo de succión y bájese entonces la sección de tazones dentro del pozo, hasta que las abrazaderas descansen en los polines.

Sujétense la flecha y el tubo de columna como se ve en la figura SK-132783. La camisa de la flecha y el cople del tubo deberán estar en la parte superior de la sección ensamblada. Apriétese después una abrazadera al tubo de columna, justamente abajo del cople y entonces elévese la sección ensamblada, teniendo cuidado de no arrastrarla en el piso.

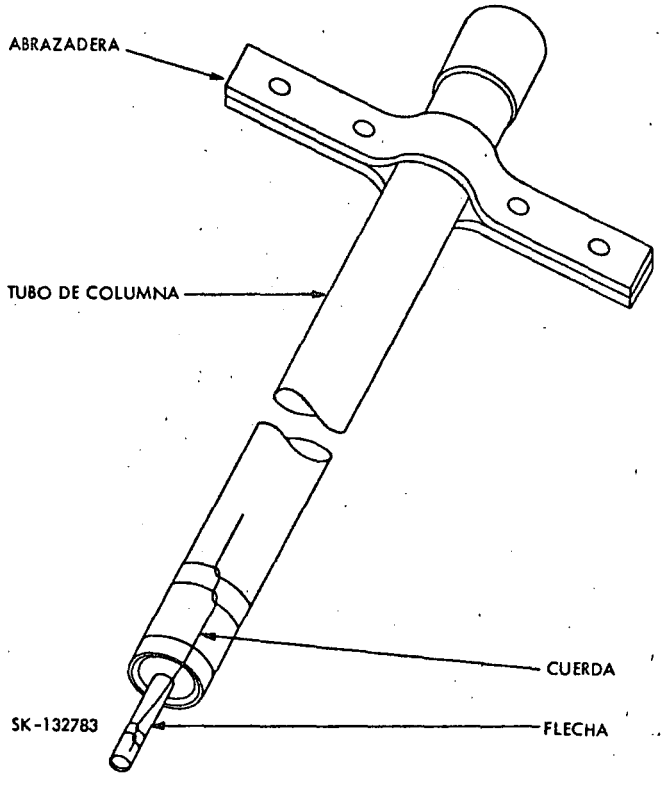


Atorníllese la cuerda izquierda de la flecha dentro del cople. COMPRUEBE ANTES QUE LAS CUERDAS ESTEN LIMPIAS. Es importante que las flechas se aprieten a tope en el centro del cople. Aplíquese el preparado para las cuerdas de tubo a la rosca derecha del tubo de columna y atorníllese dentro del cono de salida hasta que tope con el asiento en él y forme una junta bien apretada.

Quítense las abrazaderas del cuerpo de tazones y bájese la sección completa de la columna permitiendo que las abrazaderas descansen sobre los polines colocados a través de la cimentación. Vea SK-132782.

Mójese bien la chumacera de hule para la flecha lubricada con agua, a fin de que pueda deslizarse fácilmente sobre ella. Colóquese el portachumacera de tal manera, que el extremo con anillo de retensión de la chumacera, quede hacia abajo. Veanse los cortes para los detalles adicionales.

Atorníllese el portachumacera dentro del cople hasta que quede a tope contra el tubo de columna.



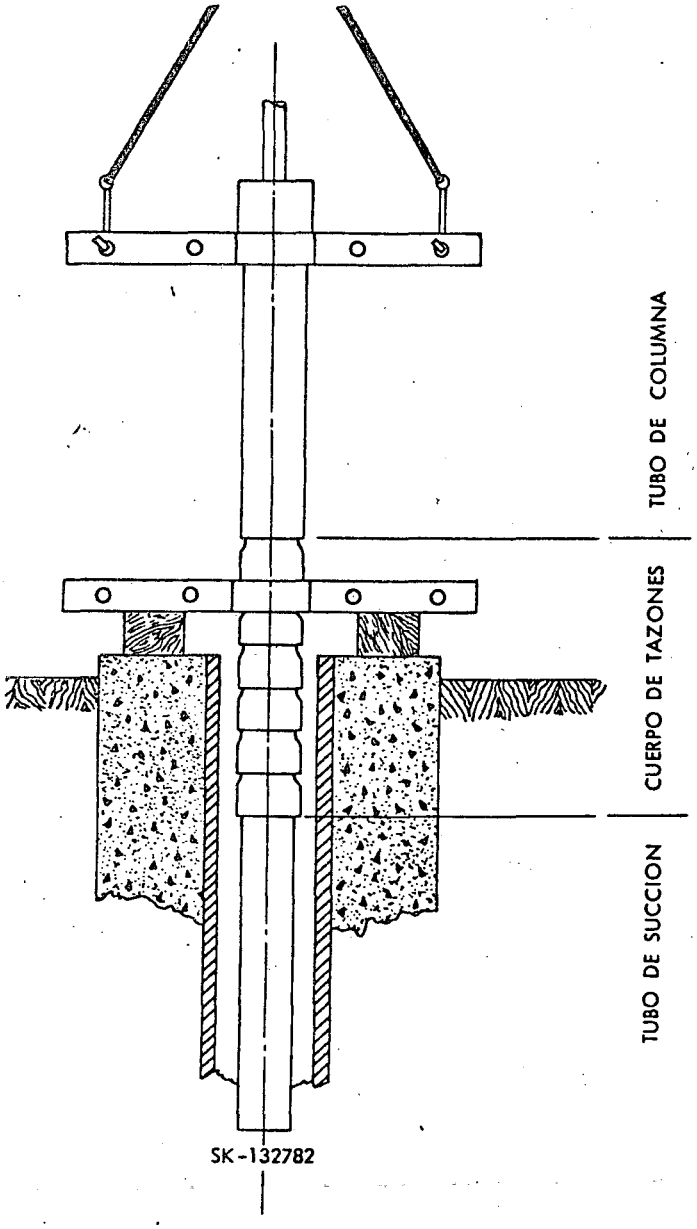
METODO DE SUJETAR Y DISPOSICION DE UNA SECCION DE 3 MTS. (10') DE COLUMNA LUBRICADA POR AGUA LISTA PARA INSTALARSE.

Instálense todas las secciones de tubo de columna y flechas de la manera ya descrita. Después de que cada sección quede instalada, cotéjese con el dibujo, para comprobar que la longitud que la flecha sobresale es la correcta. COMPRUEBESE QUE LOS EXTREMOS DEL TUBO DE COLUMNA QUEDEN FIRMEMENTE A TOPE CONTRA CADA LADO DEL PORTA CHUMACERAS. Esto es muy importante pues asegura que las chumaceras de hule trabajarán sobre camisas de acero inoxidable a lo largo de todas las flechas de línea. (Ver MK-101286).

Una bomba de pozo profundo nunca debe ser forzada dentro de un pozo, porque cualquier saliente puede romper un tazón fundido. Por otra parte, cuando las bombas deban ser instaladas en pozos que tengan un diámetro reducido, las abrazaderas se harán girar suavemente al mismo tiempo que la bomba vaya descendiendo. De esta manera la bomba deslizará limando cualquier pequeña obstrucción con la que tropiece al descender.

La última sección del tubo de columna (tubo de columna superior) tiene una brida en un extremo. La sección superior o última de la flecha, es la flecha superior y tiene un cuñero en el extremo más alto. El tubo de columna superior y la flecha superior se ensamblan de la misma manera que la tubería de columna. Colóquese entonces la junta suministrada con la bomba, en la brida del tubo de columna superior.

Quítese la caja de estopas (si esta fue atornillada a la cabeza de descarga desde la fábrica) y afiáncese el cable o cadena del aparejo a la cabeza de descarga, de tal manera que ésta pueda descender sobre la flecha superior, rectamente y con facilidad. Atorníllese uniformemente la cabeza al tubo de columna superior y entonces bájese el conjunto hasta la cimentación.



Si es una bomba para irrigación se aconseja equiparla con un tubo de descarga con objeto de que la vena líquida caiga fuera del área de la cimentación.

Antes de poner el elemento motriz sobre la cabeza de descarga colóquese la caja de estopas y la junta y pónganse también el prensa estopas y el anillo desviador de hule en la flecha. (Véase la Sección de Mantenimiento). Quítese el embrague del elemento motriz y hágase descender este último hasta que descanse sobre la cabeza de descarga, atornillándolo finalmente, en su lugar.

Cálcese la cabeza de descarga sobre la cimentación, hasta lograr que la flecha superior de la bomba se alinie en el centro exacto de la flecha hueca del elemento motriz. (Si el elemento motriz es algún otro que no sea un motor eléctrico vertical de flecha hueca, véase el suplemento para instrucciones adicionales). NO SE DEBE nivelar la cabeza de descarga usando un nivel de burbuja.

Apriétense los pernos de anclaje (si se usan) cuidadosamente, a modo de no forzar la bomba fuera de su posición. Cuñas y pernos deberán sostener la bomba sin esfuerzo y permitir la colocación de una lechada de cemento alrededor de la base de la cabeza de descarga.

Antes de volver a colocar el embrague, compruébese que el sentido de rotación del elemento motriz sea contrario al de las manecillas de un reloj cuando se mire hacia abajo. Una vez comprobada la corrección del sentido de rotación, vuélvase a colocar el cople del elemento motriz y póngase la correspondiente cuña como se explicará adelante, en el párrafo de Operación. Ajuste de los Márgenes de Trabajo para la Bomba, Pág. 10.

INSTALACION

(Bombas lubricadas por aceite)

La bomba, tal como se embarca en la fábrica, consta de tres partes principales como sigue:

1.—Cuerpo de tazones, o sea la sección de impulsores y tazones ensamblados.

2.—Columna que incluye tubo de succión, coladera, tubos de columna, flechas, tubos de protección, coples, chumaceras y estrellas de hule.

NOTA: Hemos de advertir que el tubo de columna ya lleva el cople apretado en su posi-

ción correcta;; por lo cual, al acoplarse al tubo siguiente, será necesario apretar solamente éste hasta que tope con el espaciador.

(Ver MK-101286).

3.—Cabeza de descarga, incluyendo el codo de descarga, soporte para el propulsor, caja de estopas y equipo para lubricación.

Compruébese ante todo, que los números de serie del cuerpo de tazones y de la cabeza de descarga, coinciden.

Ensámblense los componentes de la bomba en el lugar de erección. Colóquense en el suelo todos los tramos de tubo de columna, tubo de protección y flecha, uno junto a otro, en el orden en que deban ser instalados en el pozo.

LIMPIENSE DE GRASA Y DE SUCIEDAD ACUMULADA, LA FLECHA Y TODAS LAS CUERDAS DE LA BOMBA. Ensámblense dos tramos de tubo de protección de 1.52 m.(5') atornillándolos equidistantemente a una chumacera de línea, asegurándose de que los extremos de los tubos de protección estén limpios y sin rebabas.

Hágase la junta más hermética usando laca para empaques, o algún preparado que no se endurezca, en las cuerdas de las chumaceras de línea.

Deslícese una flecha limpia dentro del tubo de protección ensamblado. Insértense las flechas y tubos de protección, a su vez, dentro del tubo de columna. Cuando el conjunto así formado esté ya listo para elevarlo, sujétense la flecha y el tubo de protección al tubo de columna de tal manera que el tubo de protección sobresalga abajo del tubo de columna alrededor de 30 cm. (1') y la flecha sobresalga la misma longitud del tubo de protección. Véase Fig. SK-122379.

Céntrese el gancho sobre el pozo dejando altura suficiente para elevar las secciones de la bomba. Colóquense polines a través de la cimentación, para que las abrazaderas descansen sobre ellos cuando cada sección descienda en el pozo. Véase Fig. SK-132784.

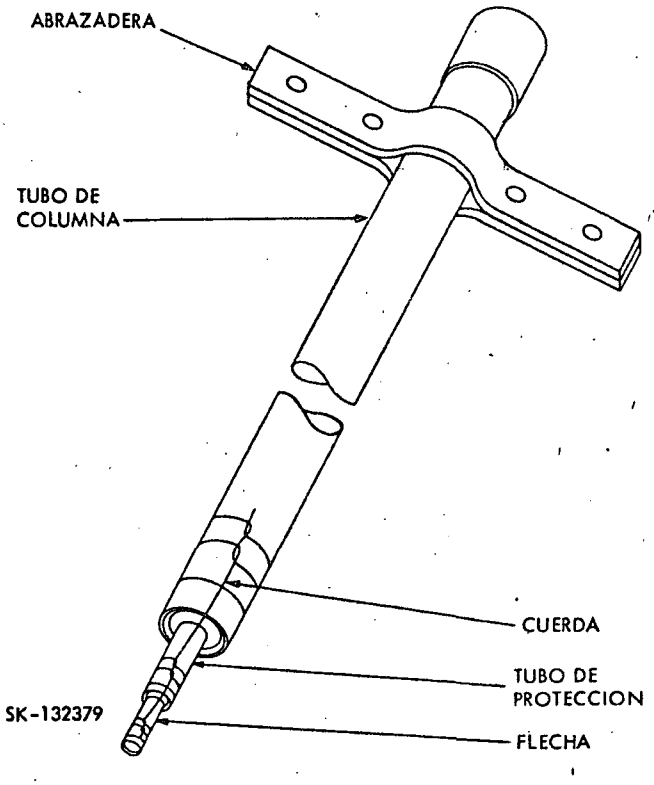
Se recomienda usar una coladera para cada bomba. Esto impide que las partículas sólidas que estén dentro del pozo sean succionadas dentro de la bomba y causen daños. Colóquese la coladera en el extremo de succión de la bomba. Si la bomba está equipada con un tubo de succión, colóquese una abrazadera como a 30 cm. (1') abajo del extremo superior. Elévese el tubo hasta su posición, teniendo cuidado de no dañar la coladera. Introdúzcanse en el pozo de manera que la abrazadera descanse en los polines puestos con este propósito.

Mídase y anótese el juego axial de la flecha del cuerpo de tazones. Esto será útil cuando se ajusten los márgenes de trabajo de la unidad.

Apriétese una abrazadera justamente abajo del cono de salida, en el cuerpo de tazones. Elévese el conjunto, aplíquese el "preparado" en las porciones roscadas y atorníllese en el tubo de succión. Quítense las abrazaderas del tubo de succión y bájese el conjunto de tazones al pozo, hasta que sus abrazaderas descansen sobre los polines.

Cuando la flecha de línea sea de un diámetro menor que la flecha de impulsores, el tubo de protección deberá ser reducido proporcionalmente. Esta reducción será hecha en el extremo superior del tramo de 1.52 m. (5') de tubo de protección, que esté conectado al cono de salida del cuerpo de tazones. En tales casos se requerirá una chumacera de reducción que tenga una rosca grande y otra más pequeña para conectar dos diámetros diferentes de tubo. (Vea Fig. MK-101359).

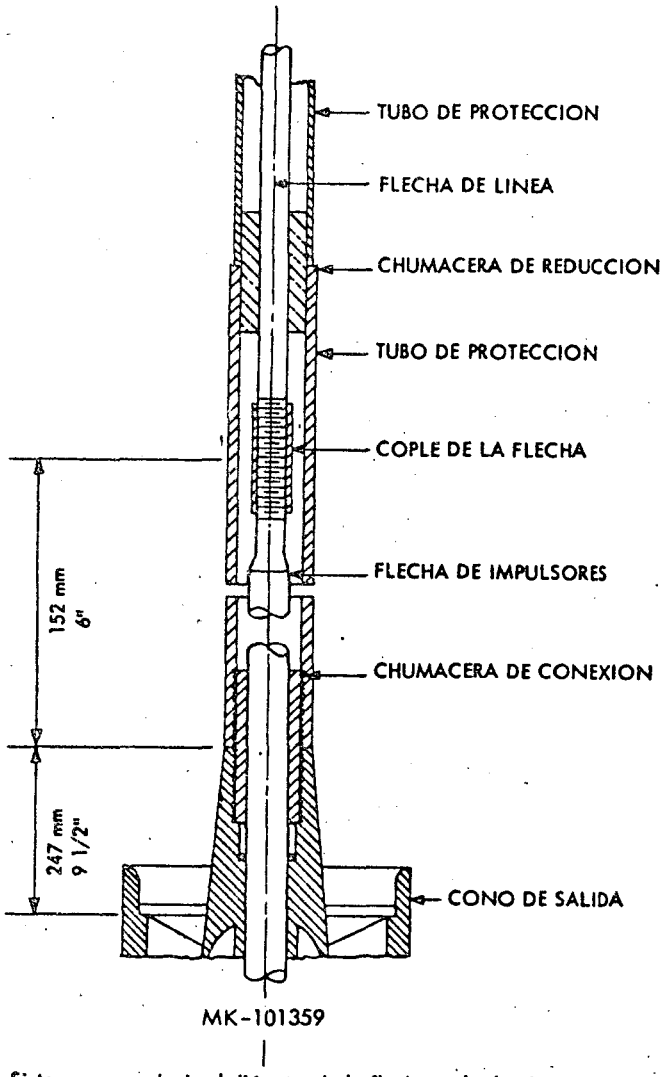
Sujétense la flecha, el tubo de protección y el tubo de columna como se ve en la Fig. SK-132379. Apriétese una abrazadera al tubo de columna, justamente debajo del cople, entonces elévese la sección ensamblada, teniendo cuidado de no rasparla en el suelo.



METODO DE SUJETAR Y DISPOSICION DE UNA SECCION DE 3 MTS. (10') DE COLUMNA LUBRICADA POR ACEITE LISTA PARA INSTALARSE.

Atorníllese la cuerda izquierda de la flecha en el cople, COMPROBANDO PREVIAMENTE QUE LAS CUERDAS ESTEN LIMPIAS. Es muy importante que las flechas queden apretadas a tope en el centro del cople.

Aplíquese laca para juntas, o cualquier otro preparado para cuerdas, que no endurezca, en la parte saliente de la chumacera de conexión colocada en el cono de salida y atorníllese la cuerda izquierda del tubo de protección hasta que éste y el cubo del cono de salida estén a tope, de manera que se tenga una junta bien apretada.



Sistema para reducir el diámetro de la flecha y el tubo de protección.

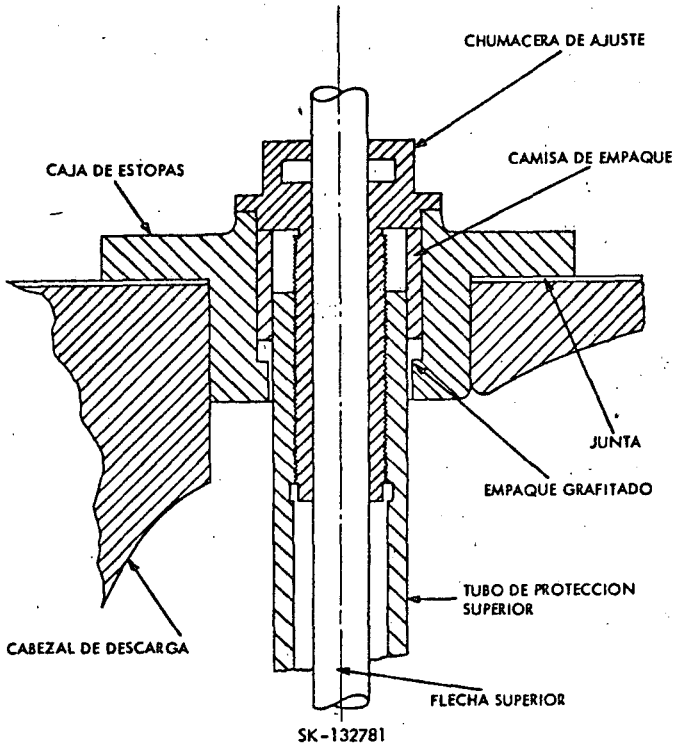
Quítense las abrazaderas del ensamble de tazones y bájese la sección completa, hasta que las abrazaderas descansen en los polines sobre la cimentación. Vea Fig. SK-132782.

Vaciése un 1/16 de litro del aceite recomendado en el tubo de protección. (Sección de Lubricación).

Póngase laca o "compuesto" para roscas en la cuerda de una chumacera de línea y atorníllese dentro del tubo de protección, atornillando también un cople en la flecha de línea.

Colóquese el espaciador de tubo de columna en un cople. Instálense todas las secciones restantes de tubo de columna, tubo de protección y flecha, de la manera descrita anteriormente. Después de que quede instalada cada sección, cotéjese con el dibujo de elevación la distancia que sobresale la flecha del tubo de protección y éste del tubo de columna. COMPRUEBESE QUE LOS EXTREMOS DEL TUBO DE COLUMNA ESTEN FIRMEMENTE A TOPE CONTRA CADA LADO DEL ESPACIADOR. (Ver dibujo MK-101286).

En cada tercer tubo de columna deberá instalarse un estabilizador para tubo de protección o estrella de hule. Sumérjase el estabilizador o estrella en un balde de agua jabonosa y deslícese sobre el tubo de protección, dentro del tubo de columna, de tal manera que quede un poco abajo de la parte superior de este último tubo. Colóquese la estrella inmediatamente después de descender en el pozo una longitud completa de columna de 9 mts. (30').



Sección de la chumacera de ajuste y Caja de Empaque.

No se use grasa o aceite para instalar esta estrella.

Una bomba de pozo profundo nunca debe ser forzada dentro de un pozo, porque cualquier saliente puede romper un tazón fundido. Por otra

parte, cuando las bombas deban ser instaladas en pozos que tengan un claro reducido entre el tubo de columna y de ademe, las abrazaderas se harán girar suavemente al mismo tiempo que la bomba vaya descendiendo. De esta manera la bomba deslizará limando cualquier pequeña obstrucción con la que tropiece al descender.

La última sección del tubo de columna (tubo de columna superior) tiene una brida en un extremo. El tubo de protección superior es más corto que los demás y se instala con la cuerda interior más larga hacia arriba.

La última sección o sección superior de las flechas, es la flecha superior y tiene un cuñero en el extremo superior. Cuando todas las longitudes normales de columna con 3 m. de largo han sido instaladas, la flecha superior se atornilla firmemente en su cople. El tubo de columna superior se ensambla de la misma manera que la tubería de columna anterior. Colóquese la junta suminstrada con la bomba, en la brida del tubo de columna superior.

Si la cabeza de descarga viene de fábrica con la caja de estopas atornillada, quítese ésta. Colóquese entonces la cadena o cable del diferencial a la susodicha cabeza de manera que ésta descienda sobre la flecha superior, suavemente y en ángulo recto. Apriétese uniformemente la cabeza al tubo de columna superior y bájese la cabeza de descarga hasta la cimentación.

Si es una bomba para irrigación se aconseja equiparla con un tubo de descarga con objeto de que la vena líquida caiga fuera del área de la cimentación.

Antes de colocar el motor eléctrico ó el cabezal de engranes sobre la cabeza de descarga, es necesario poner la chumacera de ajuste. Para esto colóquese la caja de estopas; póngase una tira de empaque cuadrado en la caja, formando un anillo, con las juntas a tope; deslícese la camisa de empaque dentro de la flecha hasta colocarla sobre la tira de empaque; deslícese la chumacera de ajuste en la flecha y atorníllese con una llave de tal manera que el tubo de protección quede sujeto a una tensión moderada. La chumacera de ajuste deberá forzar la camisa o manguito de empaque hacia abajo y apoyarse sobre la cara de la caja de empaque para hacer una junta a prueba de presión. Véase la Fig. SK-132781.

Instálese el lubricador como se muestra en el dibujo de la cabeza de descarga. Si se requiere un lubricador automático con solenoide cotéjense las características eléctricas para comprobar que están de acuerdo con las de la fuente de energía. Conéctese cada punta a cualquiera de las terminales del motor. Llénese el lubricador con un aceite ligero como se recomienda en la Sección de Lubricación. Un aceite más pesado que el recomendado, puesto dentro de la tubería de protección, consumirá potencia excesiva y además no podrá lubricar bien las chumaceras. Déjese que algo de este aceite (el recomendado lubrique la tubería de protección.

Ver dibujo MK-101287.

Quítese el embrague del propulsor y entonces hágase que descienda sobre la flecha de la bomba hasta que descanse sobre la cabeza de descarga. Atorníllese en su lugar.

Aloese la cabeza de descarga en la cimentación hasta alinear la flecha de la bomba en el centro exacto de la flecha hueca del propulsor. (Si el propulsor no es un motor eléctrico de flecha hueca, véase el suplemento para instrucciones adicionales). NO SE DEBE TRATAR de nivelar la cabeza empleando un nivel de burbuja.

Apriétense cuidadosamente los pernos de anclaje (si se usan) de tal modo que la bomba no pierda su posición. Tanto las cuñas como los pernos deberán sostener la bomba sin esfuerzos y dejar un espacio alrededor de la base de la cabeza de descarga para que sea llenada con lechada de cemento.

Antes de colocar nuevamente el embrague de propulsor, véase que el sentido de rotación sea el indicado, que es el contrario al de las manecillas de un reloj cuando se mira hacia abajo. Estando correcto el sentido de rotación colóquese el embrague y su correspondiente cuña de la manera que se explica en el párrafo Operación: Ajuste de los Márgenes de Trabajo para la Bomba. Pág. 9.

INSTRUCCIONES PARA EL SISTEMA DE DISTRIBUCION

Para la mayoría de las aplicaciones de una bomba de pozo profundo, deberá colocarse una válvula de retención (check) y una de compuerta, en la línea de descarga, cerca de la cabeza. Para facilitar el acceso, instálese la válvula de retención (check) entre la bomba y la válvula de compuerta. La válvula de retención proteje la bomba contra presiones excesivas, y cuando la bomba se para, elimina la posibilidad de que la unidad trabaje en sentido inverso, a velocidad excesiva con el consiguiente peligro de daño.

Pónganse soportes independientes para la tubería, cerca de la bomba, con objeto de que ésta no cargue el peso de la tubería y sea fácil cualquier maniobra.

Durante la instalación de la tubería compruébese que dentro de ella no quedaron fundentes o restos del material usado para juntas.

Las bombas para irrigación que descarguen sobre la superficie del terreno, no necesitan válvulas, pero es aconsejable instalar un mecanismo de cierre automático, que puede ser una simple aleta dentro del tubo de descarga, destinada a impedir la entrada de material extraño y hasta pequeños animales.

OPERACION

Ajuste de los márgenes de trabajo para la bomba

El ajuste de los márgenes de trabajo en la bomba, depende del alargamiento de la flecha, el que a su vez depende del empuje axial hidráulico o, dicho de otra manera, de la fuerza que tiende a alargar la flecha, del diámetro, de la longitud y del material de que está hecha ésta.

El ajuste de los márgenes de trabajo, después de que el propulsor de flecha hueca ha sido colocado en posición sobre la cabeza de descarga, se hace atornillando la tuerca de ajuste a la posición recomendada como se muestra en el grabado. Si la flecha superior ajusta en el embrague exactamente (Véase SK-132791) el mecanismo se ensambla alineando los cuñeros de la flecha y del embrague, insertando la cuña y atornillando la tuerca en la flecha hasta que embone la cara superior del embrague. Se continúa apretando la tuerca contando ahora el número de vueltas que atornilla y entonces se fija en su posición con el tornillo de seguro.

Si la flecha superior es de menor diámetro que el agujero del embrague del propulsor. (Véase SK-132790) se suministra una tuerca de ajuste especial, con camisa, para que la flecha quede centrada. El ajuste del impulsor se hace de la misma manera que el ajuste anterior, excepto que deberán darse vueltas completas para permitir la inserción de la cuña. Nótese, también, que en este caso la cuña deberá ser insertada después del ajuste.

Si la longitud del juego axial de la flecha fue anotado, como se sugirió en la Sección Instalación, puede permitirse que la tuerca de ajuste eleve la flecha más de lo recomendado en el dibujo de elevación. La flecha puede ser elevada, como máximo, 3 mm. (1/8") menos que el juego axial anotado. Se recomienda operar la bomba con los impulsores en el juego máximo hasta que el pozo esté suministrando agua clara.

Después de que el pozo haya sido trabajado de esta manera, vuélvase a ajustar el juego del impulsor con el número de vueltas recomendado para la tuerca de ajuste. Este es el márgen mínimo con el cual debe operar el impulsor.

Después de que la unidad haya sido trabajada así por unos días, lo mejor será revisar el juego del impulsor, otra vez. Un nuevo ajuste puede ser necesario debido al apretón adicional de las roscas de la flecha durante el trabajo de la bomba.

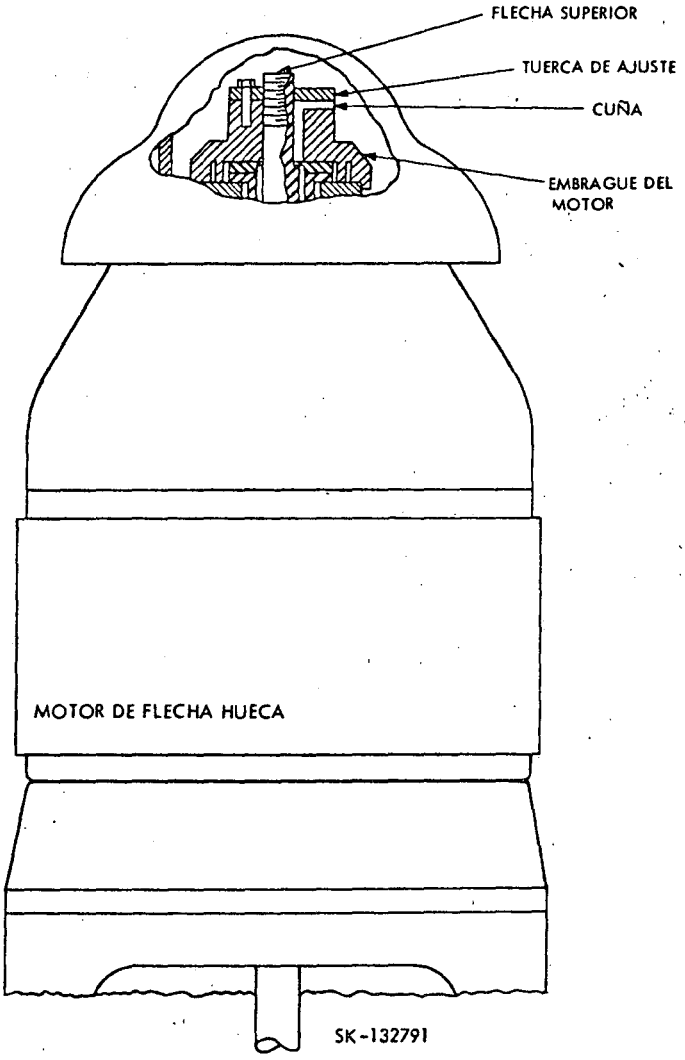
No se permita que la bomba sea operada cuando los impulsores rocen contra los tazones.

ARRANQUE Y PARADA DE LA BOMBA

Arránquese la bomba con la válvula de descarga parcialmente abierta. Abrase después la válvula lentamente, hasta que la presión o la capacidad alcance el valor deseado.

Cuando la bomba sea puesta en operación, deberá hacerlo suavemente y no ofrecer dificultad alguna. Si esto ocurre consúltese la sección Causas y Dificultades en la Operación.

Con objeto de evitar oscilaciones en el sistema y choques sobre el equipo, ciérrese lentamente la válvula de compuerta en la descarga, antes de parar el propulsor.



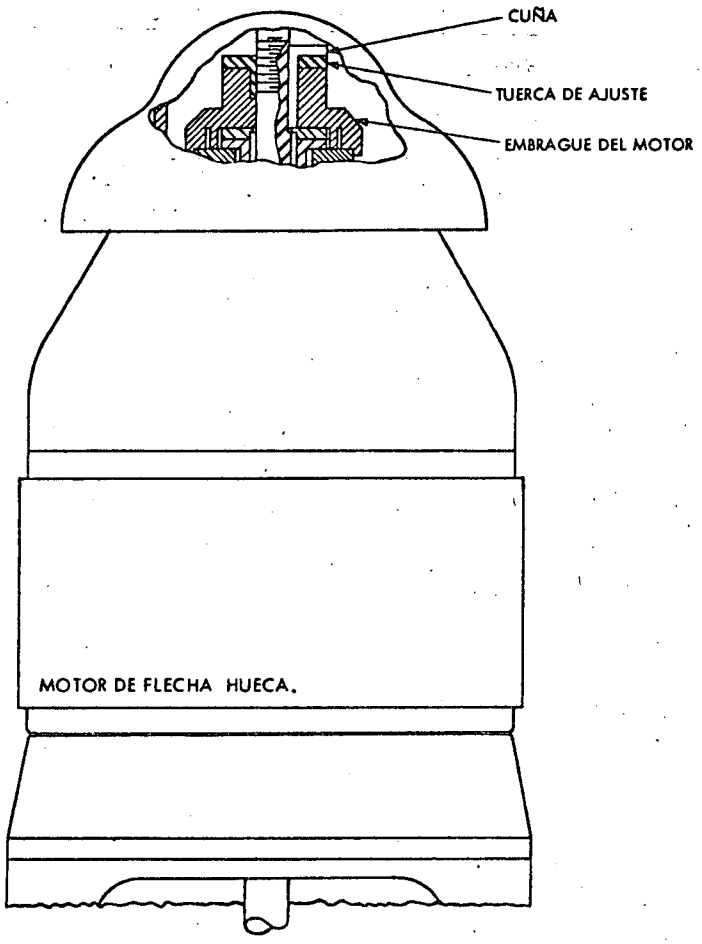
LUBRICACION

Las bombas lubricadas por agua dependen principalmente de las propiedades lubricantes del líquido bombeado, para la protección de las chumaceras de la columna y del cuerpo de tazones. La chumacera del cono de succión se empaca con una grasa insoluble. Cuando se llene de nuevo el espacio para grasa dispuesto en la cabeza de succión como complemento de una inspección de la bomba, úsese una grasa que tenga una viscosidad media a la temperatura del agua del pozo; (deberá ser aproximadamente 500 SSU a 55° Centígrados 131°F.). Se aconseja poner un antioxidante en dicha grasa. Todas las grasas de buena calidad lo tienen. Las bombas con flecha lubricada con agua deberán ser prelubricadas antes del arranque poniendo un poco de agua dentro de la columna con objeto de mojar las chumaceras de las flechas de línea. El agua de prelubricación deberá escurrir durante cinco minutos por cada 30 mts. (100') de columna a una presión de 0,350 ks./cm2 (5 lbs.) cuando menos.

Las bombas lubricadas por aceite requieren mayor atención. La conservación de los bujes de los tazones depende principalmente de las propiedades lubricantes del líquido bombeado, pero arriba de los sellos, que se ponen en el cono de salida, se vierte un líquido lubricante. Si este es aceite se debe introducir por la chumacera de ajuste, como se aprecia en el corte transversal del dibujo. Se recomienda usar un buen aceite ligero para turbina (aproximadamente 150 SSU a la temperatura del agua bombeada). El lubricador deberá ajustarse de manera que deje caer en el tubo de protección de la flecha, de 5 a 6 gotas por minuto, mientras la bomba esté en operación.

Síganse las recomendaciones que figuran en el párrafo relativo a instalación, por cuanto se refiere a la cantidad de aceite que debe verterse en el tubo de protección, al hacerse el montaje y echar a andar la bomba. Cuando las condiciones de servicio hagan aconsejable lubricar una bomba de lubricación por aceite, con agua limpia en lugar de aceite, será necesario usar chumaceras de ajuste especiales. En tales casos se verterá agua dentro del agujero roscado de que están provistas las chumaceras de ajuste. Para tener la seguridad de que el tubo de protección esté bien lleno de agua cuando la bomba se ponga a trabajar, cuídese de verter el agua lubricante algunos minutos antes de arrancar la bomba. Los mejores resultados se obtendran si se vierte un mínimo de 7.5 l.m.p. (dos galones por minuto).

En lo conducente, consúltense las instrucciones de operación correspondiente al motor, para la lubricación de éste.



SK-132790

MANTENIMIENTO
Bombas lubricadas por agua

Estas bombas se suministran provistas con una caja de estopas. No se necesita ninguna atención o ajuste especial que no sean los de rutina para cualquier caja de estopas.

En ningún caso deberá apretarse el prensaestopas con la firmeza que requeriría evitar cualquier escape de agua. Esta práctica disminuiría la duración del empaque y haría que la flecha se rayara. Lo más conveniente será aflojar el prensaestopas hasta que las tuercas se puedan apretar a mano y permitir entonces que haya escapes abundantes durante el período de arranque inicial de la bomba o después de que se cambie el empaque. A partir de ese punto se irán reduciendo las fugas gradualmente apretando las tuercas del prensaestopas con unas cuentas vueltas una y otra vez hasta que el empaque quede bien ajustado. La maniobra se proseguirá hasta que las fugas sean normales, por ejemplo de 40 a 60 gotas aproximadamente por minuto.

Cuando se coloque nuevo empaque dará los mejores resultaaos utilizar anillos moldeados. Es-

WORTHINGTON

Bombas vertica es para pozos profundos

Descarga sobre el suelo

a) Diseño:

La nota destacada del diseño de la bomba vertical Worthington, es la relevante atención que se ha prestado al estudio hidrodinámico de las superficies.

Todos los pasajes de líquidos han sido diseñados hidrodinámicamente para evitar turbulencias destructivas y corrientes parásitas y para asegurar el flujo suave del fluído.

Hay otras características importantes que dan a la bomba vertical Worthington la calidad necesaria para un largo y seguro funcionamiento. La flecha es más fuerte y robusta, de diámetro extradimensionado y extra rígido. Los cojinetes son robustos con mayor superficie para soporte y menor distancia entre sí, para reducir la carga específica y consecuentemente reducir el desgaste. Estas bombas se pueden ofrecer lubricadas por agua o aceite.

b) Eficiencia del impulsor:

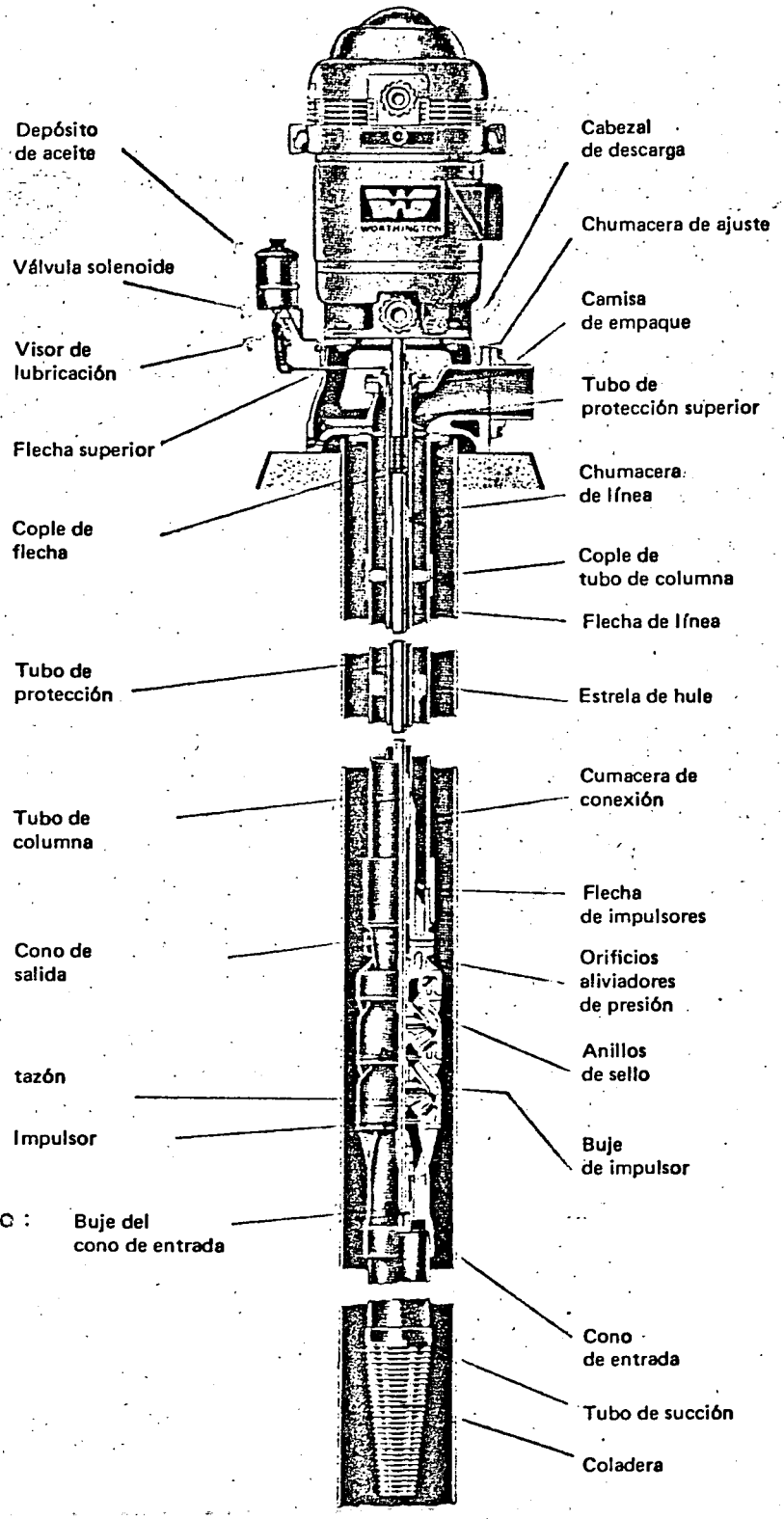
El corazón de la bomba vertical Worthington es su impulsor. Este impulsor da más alto nivel de eficiencia de bombeo a través de todo el rango de operación.

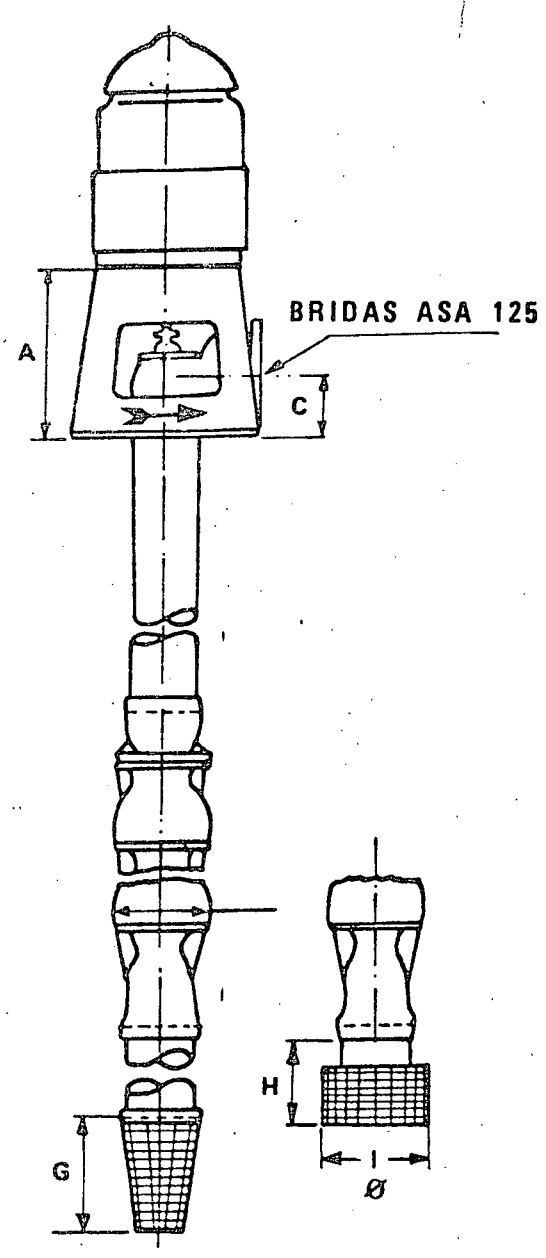
Las bombas verticales Worthington se adaptan para cambiar las condiciones operativas, ya sea modificando, agregando o quitando étapas.

Por medio de una cuidadosa selección del modelo de bomba, la forma de la curva caudal-altura puede ser adaptada a las necesidades específicas de la instalación.

c) Flexibilidad para accionamiento:

Muchos y variados sistemas de accionamiento pueden ser usados. El motor vertical es el más común; también pueden usarse motores de combustión interna, turbinas o motores horizontales, ya sea a través de una polea o de un cabezal de engranes; cuando se requiere un accionamiento dual, para reserva, se puede usar un cabezal combinado para accionamiento por motor eléctrico vertical o por motor de combustión horizontal.





DIMENSIONES DEL CABEZAL DE DESCARGA

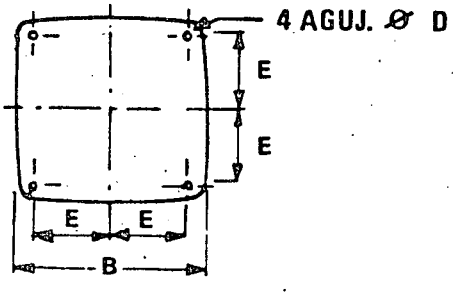
CABEZAL	Diametro de descarga	A	B	C	D	E
IM-6412	4	10 3/4	14 1/2	5	3/4	
IM-0616	6	12 1/4	20	7 1/4	3/4	8
IM-0816	8	14 1/4	20	7 1/4	3/4	8
2006	6	16 1/2	24	7 3/4	7/8	9 3/4
IM-1019	10	17 1/4	22	8 3/4	7/8	9 1/2
E-10	10	17 1/4	28	8 3/4	7/8	12 1/2
2412	12	20 1/4	30 1/4	10 3/4	7/8	11 3/4

DIMENSIONES DE LA COLADERA

TAMAÑO DE LA COLADERA	G	H	I
4	10 3/4	5 1/2	8
6	16	5 3/4	12
8	22 1/2	6 1/4	15
10	29 1/2	7 3/4	20
12	38 1/2	8 3/8	20

Todas las dimensiones en pulgadas.

CIMENTACION DEL CABEZAL DE DESCARGA



Fábrica y Ventas: Worthington de México, S.A.
Poniente 140 No. 859
México 16, D.F.
Tel: 567-5100 con 16 líneas

WORTHINGTON

tos anillos se proporcionarán como empaque de repuesto sobre pedido. Sin embargo, cuando se quieran acondicionar este tipo de anillos de un rollo de empaque se cortarán los extremos a tope y se acomodarán con cuidado para evitar que se produzcan deformaciones en los extremos. Cada nuevo anillo se colocará tan hondo como se pueda dentro de la caja de estopas por medio del prensaestopas. Se tendrá cuidado de cuatrapear las juntas poniéndolas alternativamente a 180 grados una de otra.

PIEZAS DE REPUESTO QUE SE RECOMIENDAN

Se aconseja tener siempre a la mano las siguientes partes de repuesto:

Un juego de empaques.

Un juego completo de bujes para el cuerpo de tazones.

La mitad de las chumaceras que lleve la columna.

MANTENIMIENTO
Bombas lubricadas por Aceite

Estas bombas se suministran con la flecha protegida por tubo de protección y con lubricador. Lo único que se necesita con ellos es llenar el lubricador y comprobar que éste funcione satisfactoramente.

PIEZAS DE REPUESTO QUE SE RECOMIENDAN

Se aconseja tener siempre a la mano las siguientes partes de repuesto:

Un juego completo de anillos de sello y de separadores.

Un juego completo de bujes para el cuerpo de tazones.

La mitad de las chumaceras que lleva la columna.

PROBLEMAS DE OPERACION Y CAUSAS QUE LO MOTIVAN

La Bomba no Arranca

1.— Bajo voltaje.
2.— Circuito eléctrico incompleto. (Pruébense todas las fases).
3.— Motor defectuoso.
4.— La bomba se metió forzada en un pozo que no tiene la verticalidad requerida.
5.— Los impulsores rozan en los topes superiores o en el extremo inferior.

LA BOMBA NO SACA LIQUIDO

1.—El impulsor inferior no trabaja sumergido.
2.—Baja velocidad de la bomba (voltaje o frecuencia insuficientes).
3.—La presión de descarga es muy grande.
4.—Hay cuerpos extraños atorados en las vías de agua.
5.—Se tapó la coladera.
6.—La flecha está rota.
7.—La dirección de la rotación es incorrecta.

CAUDAL INSUFICIENTE

1.—Baja velocidad.
2.—Presión de descarga mayor que aquélla para la que la bomba fue pedida.
3.—Coladera o vías de agua parcialmente obstruídas.
4.—Defectos mecánicos como, por ejemplo anillos de desgaste destruídos, impulsores desprendidos de la flecha.
5.—Vapor o aire que entran al cono de succión.
6.—Posibles indicaciones incorrectas del manómetro.
7.—Espejo de agua inferior al estimado.

PRESION INSUFICIENTE

1.—Caudal mayor de aquél para el que la bomba fue pedida.
2.—Las mismas causas que originan la insuficiencia de caudal antes explicado, salvo la número dos.

LA BOMBA TRABAJA EN SECO DESPUES DE ARRANCAR

1.—El nivel o espejo de agua cae por debajo del cono de succión.

LA BOMBA SOBRECARGA EL MOTOR

1.—Velocidad muy alta (voltaje o frecuencia excesivos).

2.—Disminución de la carga total que hace bombear líquido en exceso.

3.—El líquido bombeado tiene una gravedad específica diferente de aquélla para la cual se pidió la bomba.

4.—Bajo voltaje o insuficiencia de capacidad en el motor.

5.—Impulsores que rozan en el extremo superior o en el extremo inferior.

LA BOMBA VIBRA

1.—Alineamiento incorrecto.
2.—Cimentación carente de rigidez.
3.—Impulsores parcialmente atascados y por ello mismo fuera de balance.
4.—Flecha doblada.
5.—Elementos de rotación atorados.
6.—Bujes desgastados.
7.—Vapor o aire que entran al cono de succión.

DESGASTE EXCESIVO

1 —Arena en el agua bombeada.
2.—Pozo sin la verticalidad requerida.
3.—Flecha doblada.
4.—Véase lo relativo al caso de que la bomba vibre.

CORROSION

Si las flechas, los tubos o las piezas de fundición son atacadas porque el agua contenga impurezas excesivas téngase presente que Worthington está preparada para suministrar partes construídas de materiales resistentes a la corrosión. Las flechas pueden ser hechas de acero inoxidable, de bronce o de metal Monel; los tubos de auténtico hierro maleable, de acero cobrizado o de bronce; y las piezas fundidas, de bronce o de otras aleaciones especiales. Worthington cuenta con un cuerpo de especialistas y con facilidades de laboratorio que le permiten probar toda clase de aguas y tendrá el mayor gusto en proporcionar recomendaciones y en presentar cotizaciones que cubran estos casos especiales. Siempre que se presenten, los Ingenieros de la Worthington recomendarán materiales que, a su juicio, sean los más adecuados para las condiciones de servicio previstas. En tales casos no se podrán ofrecer garantías expresas con respecto a la vida de las partes recomendadas porque aunque se conozca el análisis químico del agua de que se trate, la velocidad con que esa misma agua circula por la bomba, tendrá efectos en la actividad de la corrosión.

BOMBAS MODELOS 6 Q A 15 Q
INSTRUCCIONES PARA SU REPARACION

Cuando se necesite reajustar el cuerpo de tazones de una de estas bombas, se sacará del pozo haciendo a la inversa las operaciones ya descritas para la instalación.

La consulta de la sección transversal aquí dibujada indicará el procedimiento a seguir para desmantelar o para armar. Al efecto se pondrá el cuerpo de tazones en posición horizontal y a un nivel adecuado que facilite el trabajo. Será necesario marcar los tazones para que guarden la misma posición cuando se armen de nuevo. Se quitarán los tornillos que unen el cono de succión con el tazón inferior y se deslizará el cono de succión hasta el extremo de la flecha. Se empujará entonces el buje del impulsor ranurado hacia la parte superior de la bomba. Se usará al efecto el útil de montaje SK-132787 que podrá ser suministrado junto con la bomba si así se pide, o comprado en Worthington de México cuando se desee. Después de que se haya aflojado el buje, el impulsor quedará suelto y podrá ser extraído hacia el extremo de la flecha. Finalmente se insertará un desarmador en la ranura del buje del impulsor para aflojarlo y se sacará también por el extremo de la flecha.

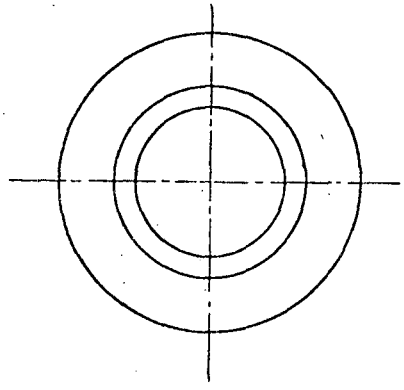
La misma operación se repetirá tantas veces como tazones e impulsores haya en cada bomba.

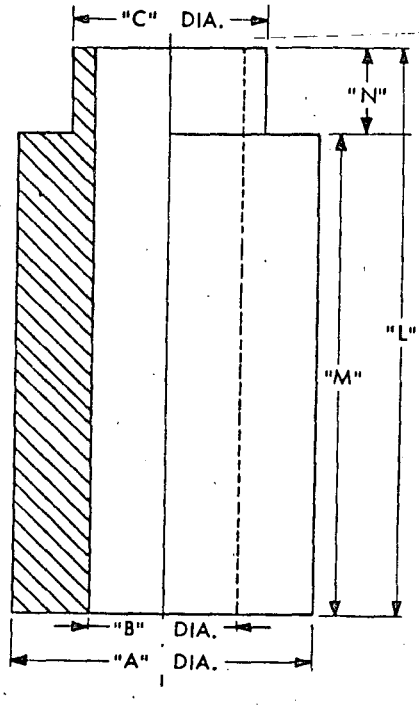
Después de que la bomba por reparar haya quedado desarmada se procederá a inspeccionar las partes y a repararlas. Si se trata de una bomba lubricada por aceite, el cono de salida se desarmará también quitando la chumacera de conexión a tiempo de desatornillar su cuerda izquierda. Para quitar el juego de anillos de sello y de espaciadores, se desatornillarán los tres tornillos que fijan las placas de retén y se extraerán los sellos a mano.

Para renovar los bujes de los tazones, cabeza de succión, caja de estopas y los anillos de desgaste (si se suministraron con la bomba), se quitarán a máquina las partes desgastadas, se meterán a presión bujes o anillos de tazón nuevos y se maquinará el diámetro interior al tamaño y alineamiento correcto. Si se desea, se puede también consultar a la fábrica con respecto a las dimensiones correctas de maquinado.

Si el cuerpo de tazones está provisto de un cono de entrada extra reforzado, éste se podrá desarmar desatornillando la cuerda izquierda del adaptador o capacete del cono de entrada y extraer los sellos "clipper" con los dedos.

MODELO DE BOMBA Y FLECHA	A	B	C	L	M	N
6 Q- 25.4 mm 6 Q- 1"	63.5 mm 2 1/2"	26.2 mm 1 1/32"	31.8 mm 1 1/4"	127 mm 5"	108 mm 4 1/4"	19 mm 3/4"
8 Q- 31.7 mm 8 Q- 1 1/4"	63.5 mm 2 1/2"	32.5 mm 1 9/32"	41.3 mm 1 5/8"	127 mm 5"	108 mm 4 1/4"	19 mm 3/4"
10 Q- 38.1 mm 10 Q- 1 1/2"	76.2 mm 3"	38.9 mm 1 17/32"	46 mm 1 13/16"	140 mm 5 1/2"	114 mm 4 1/2"	25.4 mm 1"
12 Q- 44.5 mm 12 Q- 1 3/4"	76.2 mm 3"	45.2 mm 1 25/32"	55.6 mm 2 3/16"	152 ... 6"	127 mm 5"	25.4 mm 1"
14-15 Q- 50.8 mm 14-15 Q- 2"	88.9 mm 3 1/2"	51.6 mm 2 1/32"	55.6 mm 2 3/18"	203 mm 8"	178 mm 7"	25.4 mm 1"



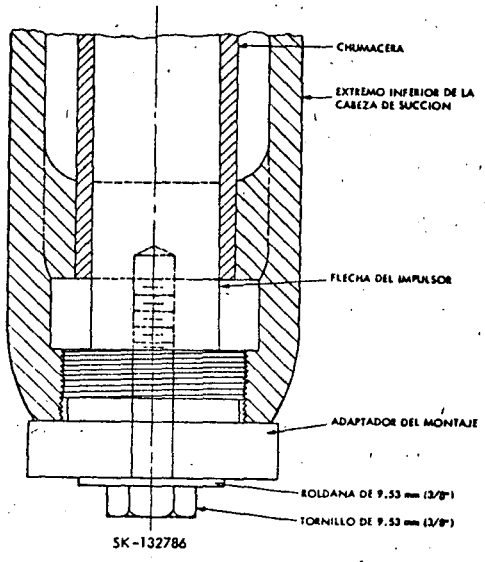


SK-132787

BOTADOR DEL BUJE DEL IMPULSOR

Antes de colocar nuevamente los sellos "clipper" o anillos de sello, se estudiará la sección transversal para comprobar que la secuencia y dirección son los correctos.

Al ensamblar de nuevo se atornillará en la parte inferior del alojamiento del buje del cono de entrada, el tapón adaptador (SK-132786) que será suministrado con la bomba si así se ordena o que podrá también comprarse en Worthington de México o con sus distribuidores autorizados cuando así se quiera. Habrá que acomodar el extremo inferior de la flecha hasta que tope con el adaptador y sujetarlo en su lugar con un tornillo de 9.5 mm. (3/8") a través del agujero del tapón. A continuación se hará deslizar el capacete del buje del cono de entrada y se reajustará en caso dado el prisionero. Con posterioridad se deslizará en la flecha un impulsor y se fijará tal como se muestra en el corte seccional. Entonces se encajará un desarmador en la ranura del buje de impulsor y se deslizará hasta el extremo de la flecha. Acto seguido se quitará el desarmador y se colocará el buje dentro del cubo del impulsor con ayuda de la herramienta de montaje SK-132787 con objeto de apretar el impulsor en la flecha. Finalmente se deslizará el tazón sobre la flecha, comprobando que las superficies apareadas estén limpias de grasa o de polvo. Más aún, las superficies de contacto se pintarán con un buen compuesto anticorrosivo. Para terminar se alinearán las nervaduras exteriores del tazón y se atornillará éste al cono de entrada apretando uniformemente todos los tornillos hasta que la unión quede bien firme.

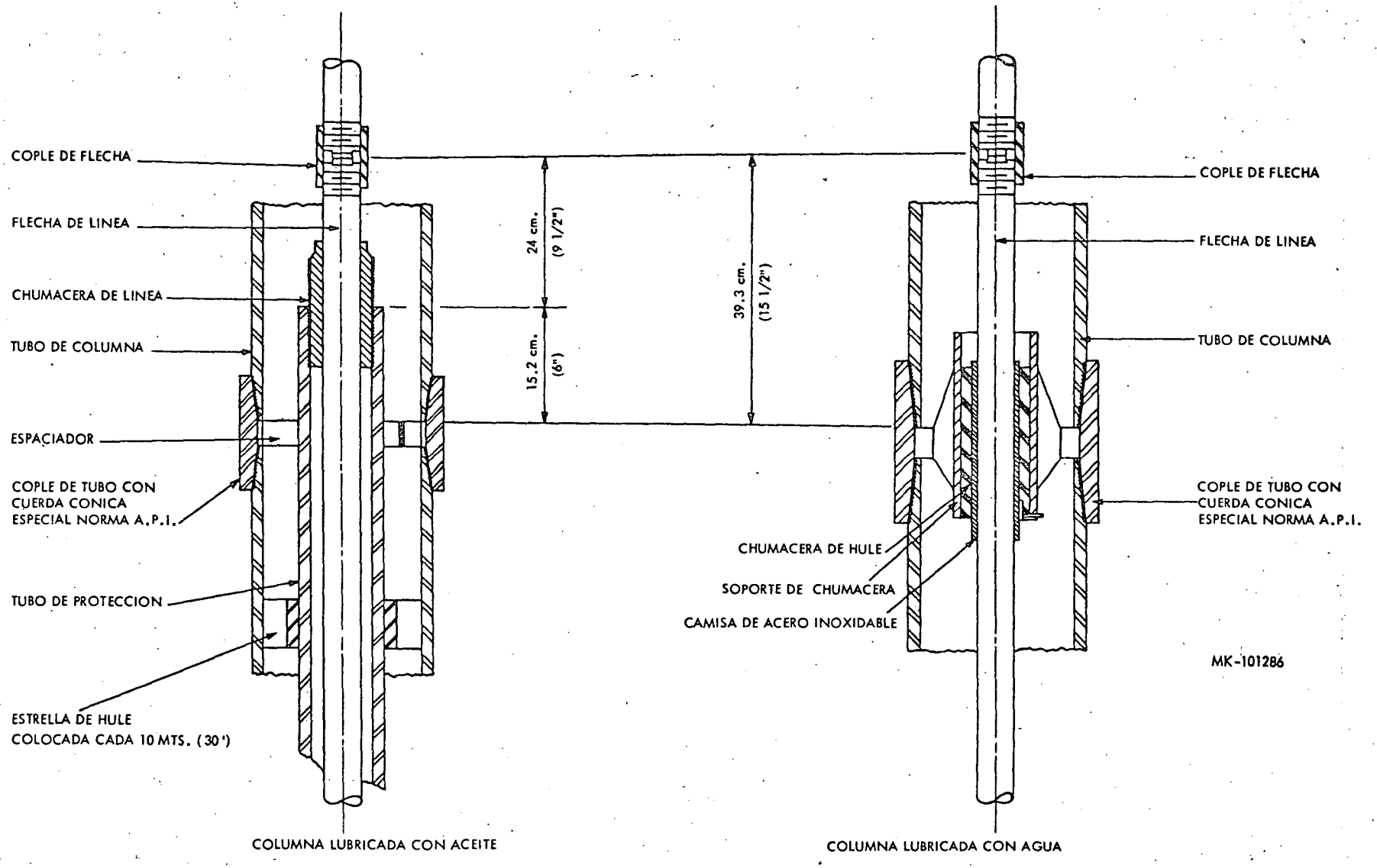


SK-132786

Adaptador de Montaje para bombas modelo "Q".

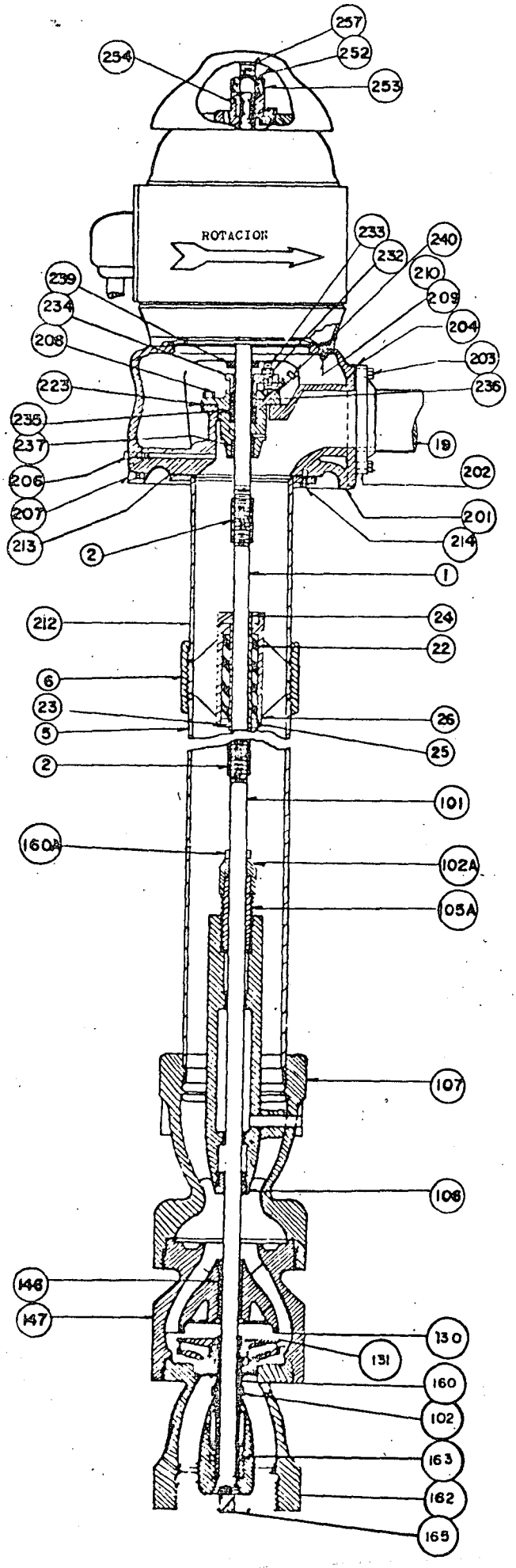
La operación anterior se repetirá hasta que todos los tazones e impulsores estén nuevamente en su sitio. Se quitará entonces el adaptador o tapón de montaje, se lubricará el buje del cono de entrada con una buena grasa insoluble que se pondrá a través de la grasera que se adaptará temporalmente a la entrada para el tubo que está roscado en la parte inferior del cono de entrada.

Acto seguido se pondrán el tapón que se suministra con la bomba. La bomba quedará así lista para ser montada en el pozo como ya se explicó en el capítulo de instalación.



* Cuando use chumaceras de reducción agregue 6.35 mm (1/4") a la dimensión anotada.

CABEZALES DE DESCARGA MODELO 1204



REF.	CABEZAL.
201	CABEZAL DE DESCARGA.
202	BRIDA DE DESCARGA.
203	TORNILLOS BRIDA DE DESCARGA.
204	JUNTA BRIDA DE DESCARGA.
206	TAPON (CONEXION PARA LUBRICACION CON AGUA).
207	TAPON (CONEXION DEL RESPIRADERO).
208	TORNILLOS CAJA DE EMPAQUES.
209	TUERCAS BASE DEL MOTOR.
210	TORNILLOS BASE DEL MOTOR.
212	TUBO DE COLUMNA SUPERIOR.
213	JUNTA (TUBO DE COLUMNA SUPERIOR).
214	TORNILLOS (TUBO DE COLUMNA SUPERIOR).
223	JUNTA DE CAJA DE EMPAQUES.
232	TUERCAS DE TORNILLOS DE PRENSA ESTOPAS.
233	ESPARRAGOS DE PRENSA ESTOPAS.
234	PRENSA ESTOPAS.
235	JAULA DE SELLO.
236	JUEGO DE EMPAQUES.
237	BUJE DE CAJA DE EMPAQUES.
239	ANILLO DESVIADOR.
240	GRACERA DE COPA.
252	TORNILLO DE SEGURO.
253	TUERCA DE AJUSTE.
254	CUÑA DE FLECHA SUPERIOR.
257	FLECHA SUPERIOR.
19	TUBO DE DESCARGA.

COLUMNA.

1	FLECHA DE LINEA.
24	CAMISA DE FLECHA.
2	COPLE DE FLECHA.
26	SOPORTE DE CHUMACERA.
22	CHUMACERA DE LINEA.
23	RETEN DE CHUMACERA.
25	REMACHES DE CHUMACERA.
5	TUBO DE COLUMNA.
6	COPLE DEL TUBO DE COLUMNA.

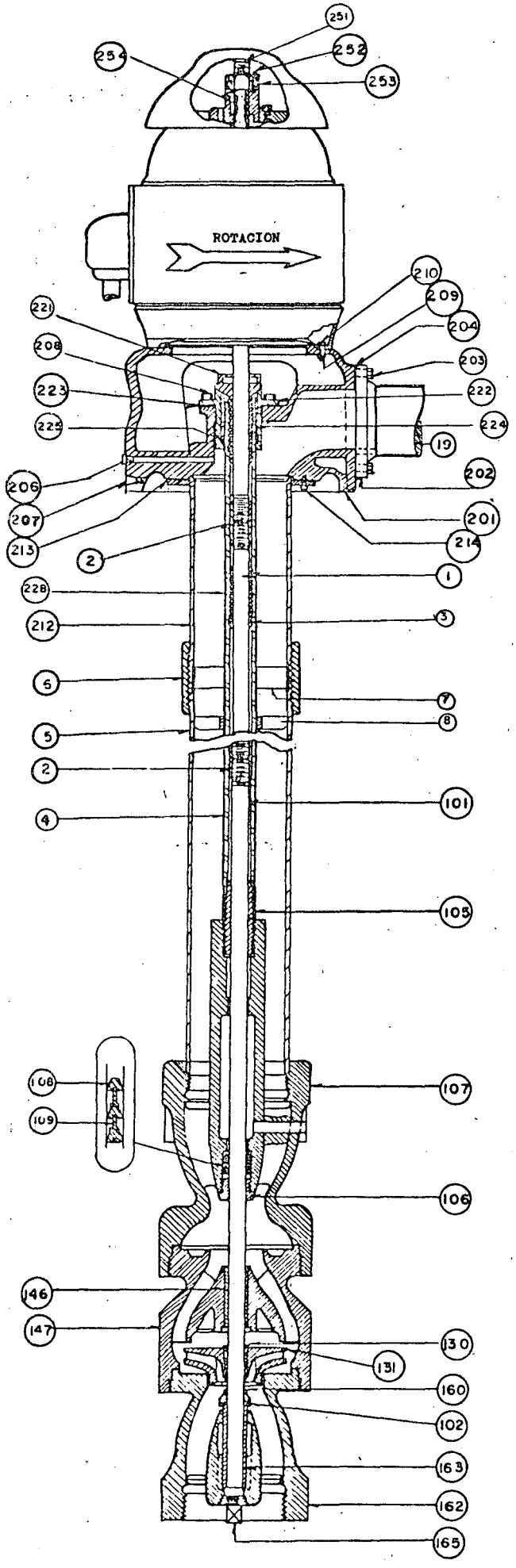
CUERPO DE TAZONES.

160A	RETEN DEL CAPACETE.
162	CONO DE ENTRADA.
163	BUJE DEL CONO DE ENTRADA.
102	CAPACETE CONO DE ENTRADA.
165	TAPON DE TUBO.
160	ANILLO "O"
107	CONO DE SALIDA.
106	BUJE RETEN.
105A	CHUMACERA DE CONEXION.
102A	CAPACETE CONO DE SALIDA.
131	IMPULSOR
130	BUJE DE IMPULSOR.
101	FLECHA DE IMPULSOR.
147	TAZON.
146	BUJE DE TAZON.

LISTA DE PARTES PARA LA BOMBA VERTICAL
TIPO TURBINA MODELO
5 5/8 QD. LUBRICADA POR AGUA.

MX-202184

CABEZALES DE DESCARGA MODELO 1204.



REF.	C A B E Z A L.
252	TORNILLO DE SEGURO.
201	CABEZAL DE DESCARGA.
202	BRIDA DE DESCARGA.
203	TORNILLOS BRIDAS DE DESCARGA.
204	JUNTA BRIDA DE DESCARGA.
206	TAPON (CONEXION PARA LUBRICACION CON AGUA).
207	TAPON (CONEXION PARA EL RESPIRADERO).
208	TORNILLOS (CAJA DE EMPAQUES).
209	TUERCAS TORNILLOS BASE MOTOR.
210	TORNILLOS BASE MOTOR.
212	TUBO DE COLUMNA SUPERIOR.
213	JUNTA (TUBO DE COLUMNA SUPERIOR).
214	TORNILLOS (TUBO DE COLUMNA SUPERIOR).
223	JUNTA DE CAJA DE EMPAQUES.
222	CAJA DE EMPAQUES (CON # 224).
221	CHUMACERA DE AJUSTE.
224	CAMISA DE EMPAQUE.
225	EMPAQUE GRAFITADO.
228	TUBO DE PROTECCION SUPERIOR.
251	FLECHA SUPERIOR.
254	CUÑA DE FLECHA SUPERIOR.
19	TUBO DE DESCARGA.
253	TUERCA DE AJUSTE.

	C O L U M N A.
1	FLECHA DE LINEA.
3	CHUMACERA DE LINEA.
2	COPLE DE FLECHA.
4	TUBO DE PROTECCION.
6	COPLE DE TUBO DE COLUMNA.
7	ESPACIADOR.
8	ESTRELLA.
5	TUBO DE COLUMNA.

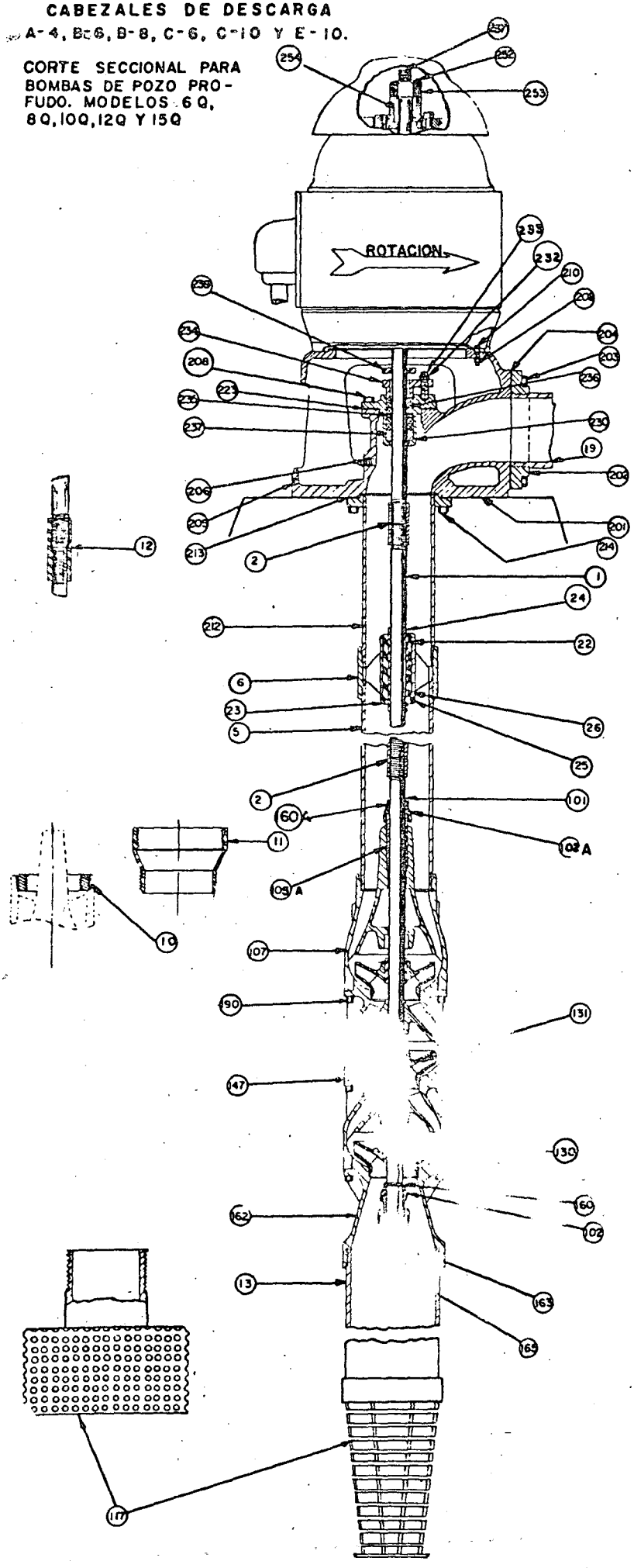
	C U E R P O D E T A Z O N E S.
109	SEPARADOR DE SELLO.
162	CONO DE ENTRADA.
163	BUJE DEL CONO DE ENTRADA.
102	CAPACETE CONO DE ENTRADA.
165	TAPON DE TUBO.
160	ANILLO "O" ELASTICO.
107	CONO DE SALIDA.
105	CHUMACERA DE CONEXION.
131	IMPULSOR.
130	BUJE DE IMPULSOR.
101	FLECHA DE IMPULSOR.
147	TAZON.
146	BUJE DE TAZON.
108	ANILLOS DE SELLO "U"
106	BUJE RETEN.

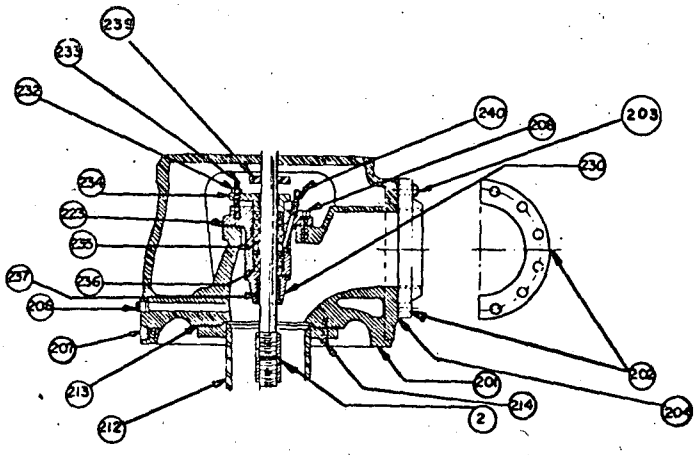
LISTA DE PARTES PARA BOMBA VERTICAL
TIPO TURBINA MODELO
5 5/8 QD. LUBRICADA POR ACEITE.

MX-202195

CABEZALES DE DESCARGA
A-4, B-6, B-8, C-6, C-10 Y E-10.

CORTE SECCIONAL PARA BOMBAS DE POZO PROFUDO. MODELOS 6Q, 8Q, 10Q, 12Q Y 15Q





CABEZALES DE DESCARGA
1204, 1606, 2006 Y 2412.

CABEZAL

201	Cabezal de Descarga.
202	Brida de Descarga.
203	Tornillos brida de descarga.
204	Junta brida de descarga.
205	Tapón (conexión drenaje).
206	Tapón (conexión para lubricación con agua).
207	Tapón (conexión del respiradero).
208	Tornillos (caja de empaque).
209	Tuercas base del motor.
210	Tornillos base motor.
212	Tubo de columna superior.
213	Junta (tubo de columna superior).
214	Tornillos (tubo de columna superior).
223	Junta de caja de empaques.
230	Caja de empaques. (con # 237).
232	Tuercas de tornillos de prensa estopas.
233	Esparragos de prensa estopas.
234	Prensa estopas.
235	Jaula de sello.
236	Juego de empaques.
237	Buje de caja de empaques.
239	Anillo desviador.
240	Gracera de copa.
252	Tornillo de seguro.
253	Tuerca de ajuste.
254	Cuña de flecha superior.
257	Flecha superior.
19	Tubo de descarga.

COLUMNA.

12	Cople de reducción o ampliación.
1	Flecha de linea.
24	Camisa de flecha.
2	Cople de flecha.
26	Soporte de chumacera.
22	Chumacera de linea.
23	Reten de chumacera.
25	Remaches de la chumacera.
5	Tubo de columna.
13	Tubo de succión.
117	Coladera.
6	Cople del tubo de la columna.
11	Campana de ampliación.
10	Anillo de reducción.

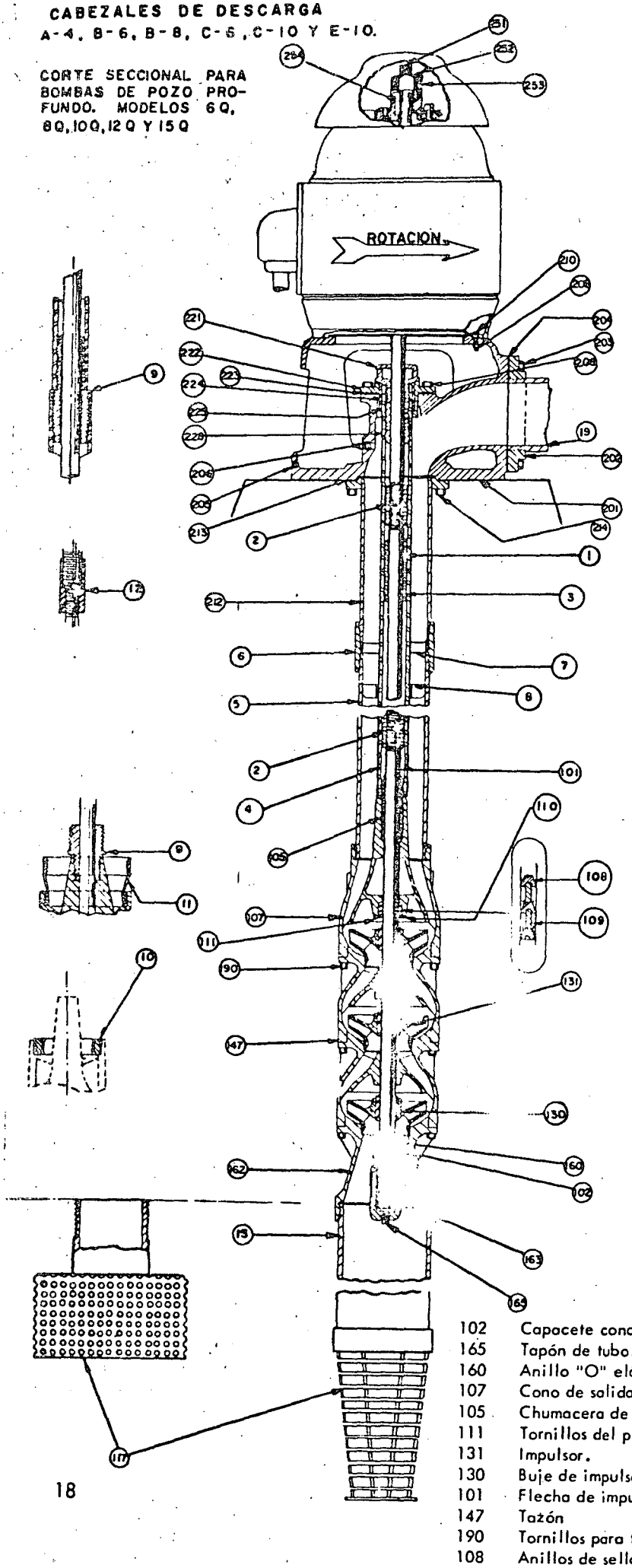
CUERPO DE TAZONES.

160A	Reten del capacete.
162	Cono de entrada.
163	Buje del cono de entrada.
102	Capacete cono de entrada.
165	Tapón de tubo.
160	Anillo "O".
107	Cono de salida.
105A	Chumacera de conexión.
102A	Capacete cono de salida.
131	Impulsor.
130	Buje de impulsor.
101	Flecha de impulsores.
147	Tazón.
190	Tornillos para tazón.

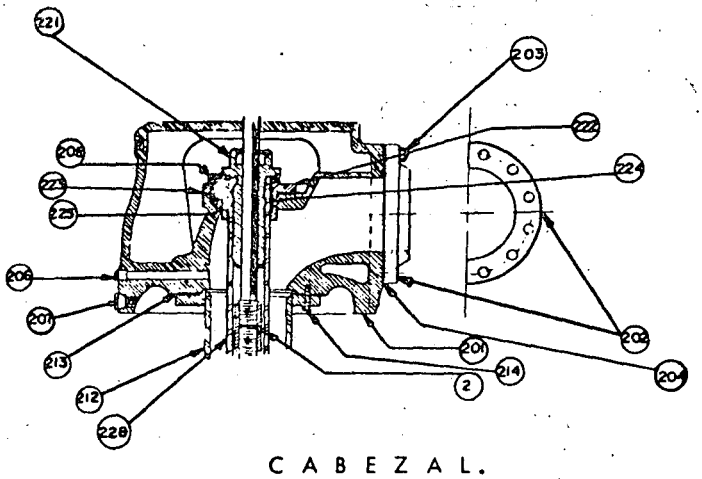
LISTA DE PARTES DE BOMBAS VERTICALES
TIPO TURBINA LINEA "Q".
LUBRICACION POR AGUA.
MX-202037

CABEZALES DE DESCARGA
A-4, B-6, B-8, C-6, C-10 Y E-10.

CORTE SECCIONAL PARA BOMBAS DE POZO PROFUNDO. MODELOS 6Q, 8Q, 10Q, 12Q Y 15Q



CABEZALES DE DESCARGA
1204, 1606, 2006, Y 2412.



C A B E Z A L.

201	Cabezal de Descarga.
202	Brida de Descarga.
203	Tornillos brida de descarga.
204	Junta brida de descarga.
205	Tapón (conexión drenaje).
206	Tapón (conexión para lubricación con agua).
207	Tapón (conexión del respiradero).
208	Tornillos (caja de empaque).
209	Tuercas tornillos base motor.
210	Tornillos base motor.
212	Tubo de columna superior.
213	Junta (tubo de columna superior).
214	Tornillos (tubo de columna superior).
223	Junta de caja de empaque.
222	Caja de empaques (con # 224).
221	Chumacera de ajuste.
224	Camisa de empaque.
225	Empaque grafitado.
228	Tubo de protección superior.
252	Tornillo de seguro.
253	Tuerca de ajuste.
254	Cuña de flecha superior.
251	Flecha superior.
19	Tubo de descarga.

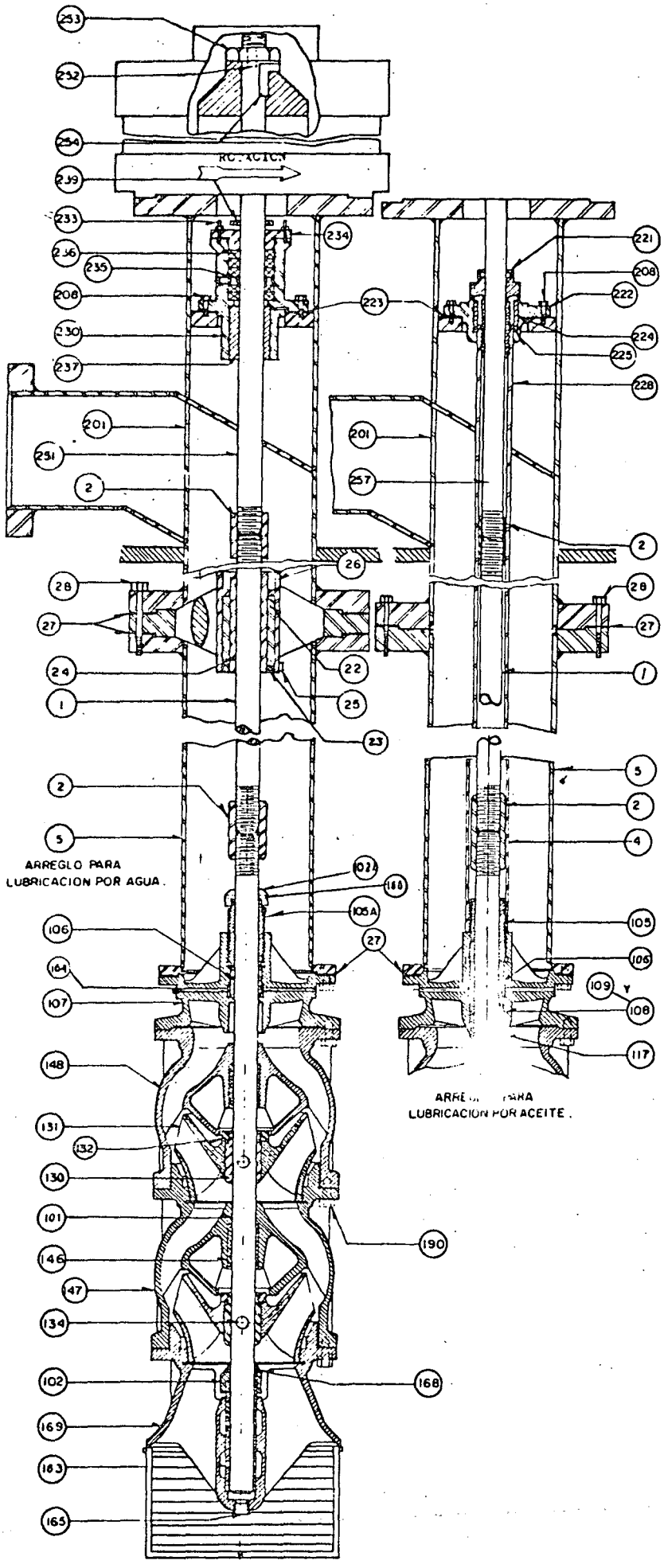
C O L U M N A.

9	Chumacera de reducción o ampliación.
1	Flecha de linea.
3	Chumacera de linea.
2	Cople de flecha.
4	Tubo de protección.
6	Cople de tubo de columna.
7	Espaciador.
8	Estrellas.
5	Tubo de columna.
13	Tubo de succión .
117	Coladera.
10	Anillo de reducción.
11	Campana de ampliación.
12	Cople de reducción o ampliación.

CUERPO DE TAZONES.

102	Capacete cono de entrada.
165	Tapón de tubo.
160	Anillo "O" elástico.
107	Cono de salida.
105	Chumacera de conexión.
111	Tornillos del plato reten.
131	Impulsor.
130	Buje de impulsor.
101	Flecha de impulsor.
147	Tazón
190	Tornillos para tazón.
108	Anillos de sello.
109	Anillo separador de sello.
110	Plato reten.
162	Cono de entrada.
163	Buje del cono de entrada.

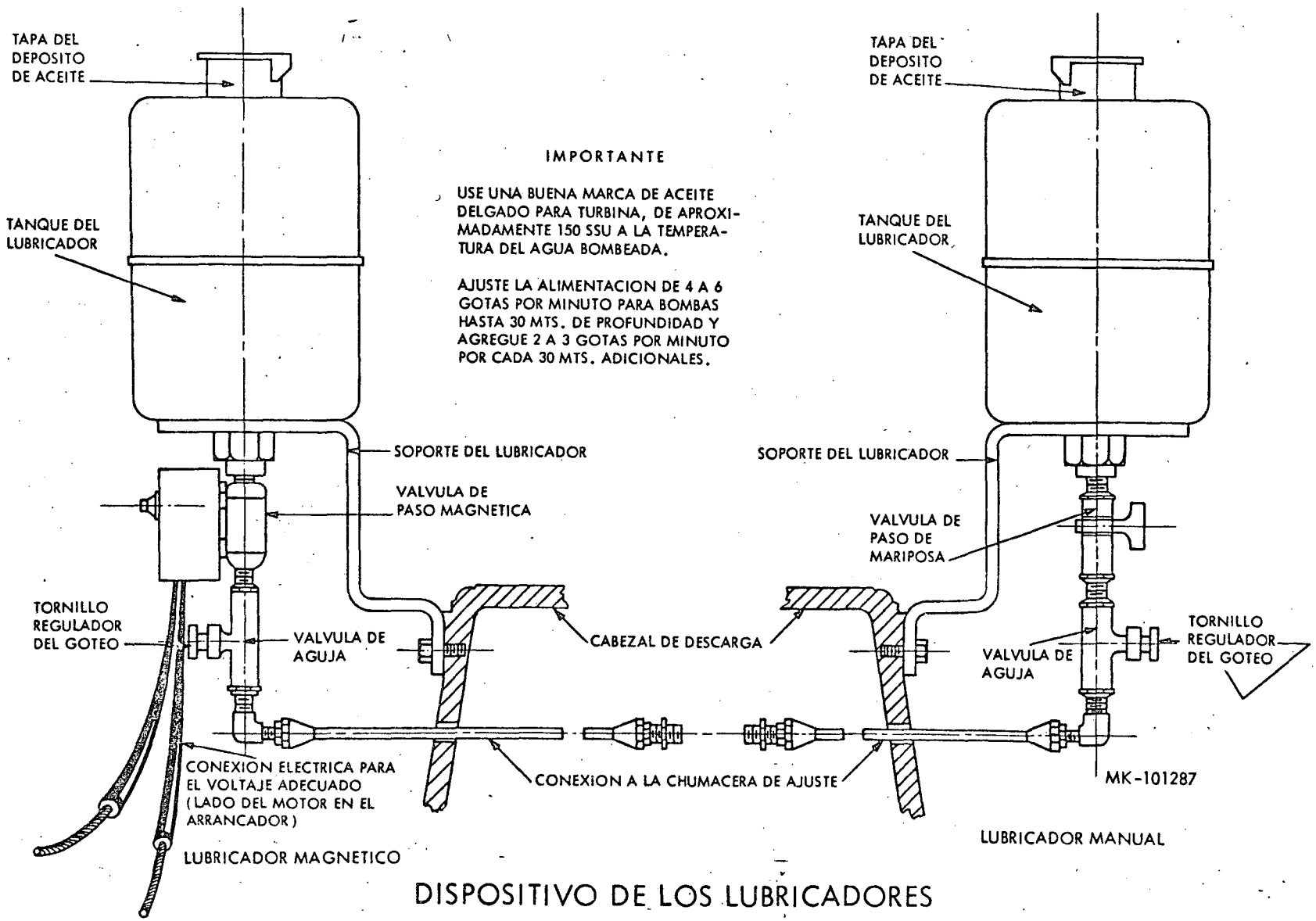
LISTA DE PARTES DE BOMBAS VERTICALES
TIPO TURBINA LINEA "Q".
LUBRICACION POR ACEITE.
MX-202039



REF.	CUERPO DE TAZONES	LUBRICACION AGUA	LUBRICACION ACEITE
2	COPLE DE FLECHA	x	x
102	CAPACETE CONO DE ENTRADA	x	x
105	CHUMACERA DE CONEXION		x
105A	CHUMACERA DE CONEXION	x	
106	BUJE DEL CONO DE SALIDA	x	x
107	CONO DE SALIDA	x	x
108	ANILLO DE SELLO "U"		x
109	SEPARADOR DE SELLO		x
101	FLECHA DE IMPULSORES	x	x
117	RETEN DE SELLO		x
131	IMPULSOR	x	x
132	TUERCA DEL BUJE DE IMPULSOR	x	x
130	BUJE DEL IMPULSOR	x	x
134	PERNO DEL BUJE DEL IMPULSOR	x	x
146	BUJE DE TAZON SUPERIOR E INTERMEDIO	x	x
147	TAZON INTERMEDIO (CON No. 146)	x	x
148	TAZON SUPERIOR (CON No. 146)	x	x
165	TAPON PARA TUBO	x	x
168	PRISIONERO DEL CAPACETE	x	x
169	CAMPANA DE SUCCION	x	x
163	BUJE DE LA CAMPANA DE SUCCION	x	x
190	TORNILLOS DE LOS TAZONES	x	x
102A	CAPACETE CONO DE SALIDA	x	
164	TAPON PARA TUBO	x	
	CABEZAL DE DESCARGA		
2	COPLE DE FLECHA	x	x
201	CABEZAL DE DESCARGA	x	x
208	TORNILLOS CAJA DE EMPAQUES	x	x
221	CHUMACERA DE AJUSTE		x
222	CAJA DE EMPAQUES		x
223	JUNTA DE LA CAJA DE EMPAQUES	x	x
224	CAMISA DE EMPAQUES		x
225	EMPAQUE		x
228	TUBO DE PROTECCION SUPERIOR		x
230	CAJA DE EMPAQUES	x	
233	ESPARRAGOS DEL PRENSA ESTOPAS	x	
234	PRENSA ESTOPAS	x	
235	JAULA DE SELLO	x	
236	JUEGO DE EMPAQUES	x	
237	BUJE DE LA CAJA DE EMPAQUES	x	
239	ANILLO DESVIADOR	x	
251	FLECHA SUPERIOR	x	
252	TORNILLO DE SEGURO	x	x
253	TUERCA DE AJUSTE	x	x
254	CUNA DE LA FLECHA SUPERIOR	x	x
257	FLECHA SUPERIOR		x

REF.	COLUMNA	AGUA	ACEITE
1	FLECHA DE LINEA	x	x
5	TUBO DE COLUMNA	x	x
22	CHUMACERA DE LINEA	x	
23	RETEN DE CHUMACERA	x	
24	CAMISA DE FLECHA	x	
25	REMACHE DE LA CHUMACERA	x	
26	SOPORTE DE LA CHUMACERA	x	
27	JUNTA TUBO DE COLUMNA	x	x
28	TORNILLOS TUBO DE COLUMNA	x	x
4	TUBO DE PROTECCION		x

LISTA DE PARTES BOMBAS
22 QH Y 22 QJ
MX-202183



IMPORTANTE

USE UNA BUENA MARCA DE ACEITE DELGADO PARA TURBINA, DE APROXIMADAMENTE 150 SSU A LA TEMPERATURA DEL AGUA BOMBEADA.

AJUSTE LA ALIMENTACION DE 4 A 6 GOTAS POR MINUTO PARA BOMBAS HASTA 30 MTS. DE PROFUNDIDAD Y AGREGUE 2 A 3 GOTAS POR MINUTO POR CADA 30 MTS. ADICIONALES.

DISPOSITIVO DE LOS LUBRICADORES

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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS POTABILIZADORAS

T E M A 3

Q U I M I C A D E L A G U A

Ing.Francisco Montejano Uranga

enero 1979

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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE

PLANTAS POTABILIZADORAS

T E M A 3

Revisión de los principios de química y microbiología aplicados al tratamiento del agua.

QUIMICA

3.1 Toma de muestras

2 litros para análisis físico-químicos
El tiempo transcurrido entre la toma y el análisis no debe ser mayor de

72 horas para aguas no poluidas.
48 horas para aguas ligeramente poluidas.
12 horas para aguas poluidas.

Ese tiempo debe registrarse en el informe de laboratorio.

Al tomar la muestra hay que hacer las determinaciones de pH, temperatura y gases disueltos.

La muestra debe ser representativa de las condiciones existentes, y su manejo no debe contaminarla. El envase debe estar limpio; hay que enjuagarlo 2 ó 3 veces con el agua objeto de muestreo.

Para que sea representativa, debe ser una muestra "compuesta" de porciones formadas a diferentes tiempos en que se considere que hay variaciones en la calidad, ó de diferentes puntos de muestreo.

En caso de toma de muestra "compuesta" deberán seguirse las instrucciones del laboratorista.

El envase debe rotularse con número, fecha, lugar, nombre del que la toma, con información sobre alguna particularidad de esa muestra.

Para las muestras de sistema de distribución, antes de tomarla, hay que dejar escurrir el agua por algunos minutos.

Las de pozos se tomarán después de extraer agua con la bomba durante un tiempo suficiente que asegure que el agua representa la calidad del acuífero.

De una corriente, y si se toma una sola muestra debe ser del punto medio y a media profundidad.

3.2 Turbiedad

Es la expresión de la propiedad óptica de una muestra, que hace que la luz se disperse y sea absorbida cuando pasa a través de la muestra.

Los medios para estimarla, son de dos tipos, cuyos resultados no son siempre comparables:

Turbidímetros
Nefelómetros

Los más sencillos son los turbidímetros; el que se usa como base para calibrar otros aparatos es el turbidímetro Jackson; consiste esencialmente en un tubo de vidrio; ya marcado con diversas turbiedades, que se monta verticalmente en un soporte; se coloca una vela especial debajo del tubo; se pone en el tubo una pequeña porción de la muestra; se enciende la vela; con una pipeta se agrega la muestra en porciones sucesivas hasta que la forma de la flama se pierda (cuando se ve desde la parte superior del tubo); se lee la turbiedad directamente en la graduación del tubo.

La Lectura se anota en unidades Jackson de turbiedad.

El tubo Jackson se usa para determinar la turbiedad de suspensiones de alta turbiedad: 25 a 1,000 unidades.

Para otras turbiedades, se verá el procedimiento en las prácticas de laboratorio.

Las Normas Internacionales de Potabilidad establecen un máximo de 5 unidades Jackson.

Las Normas de E. U. A. establecen cero.

El hecho es que por lo común, 10 unidades son apenas perceptibles, - cuando el volumen es de 1/4 de litro.

3.3 Color

Importancia sanitaria.

El ser humano rechaza el agua con color. Un agua que presenta color puede ser inocua a la salud, pero es rechazada; en cambio un agua con metal tóxico en solución, y sin color, (cristalina) es aceptada.

El problema de la eliminación del color mediante tratamiento, es uno de los problemas más difíciles. Por todo ello, la determinación del color es una de las tareas más importantes.

Unidad : 1 mg/l de Pt, en forma de cloroplatinato de potasio cobaltoso.

En general, las aguas naturales presentan colores "verdaderos" de color amarillento, que varía poco en tonalidad. Por ello, en el laboratorio lo que se mide es más bien la INTENSIDAD del color, en lugar del tono.

Por tanto, se distinguen dos clases de color :

Color verdadero
Color aparente

Puede definirse el color verdadero, como aquel que no es removible por centrifugación.

A ello se debe que una muestra que se sospecha tiene color aparente, se somete primero a centrifugación, antes de determinar su color mediante comparación con tubos Nessler de soluciones de color conocido, o con aparatos calibrados previamente con patrones de solución de $K_2 \; P_t \; Cl_6$

La Normas Internacionales establecen una concentración aceptable de potabilidad, de 5 unidades.

De hecho, para el común de las gentes, 10 unidades son apenas perceptibles en un volumen de un vaso de agua común.

3.4 Olor

Como en el caso del color, lo que se estima es la intensidad y no la clase de olor.

El olor se estima mediante el cociente conocido como "Número de olor incipiente". y puede definirse como el recíproco de la dilución de la muestra (con agua inodora) que apenas huele.

$$N.O.I = \frac{A + B}{A}$$

A = ml de muestra

B = ml de agua inodora

Desde el punto de vista sanitario, el olor es importante, porque, como en el caso de las propiedades anteriormente mencionadas, el olor de un agua influye en el hecho de ser rechazada o aceptada, y determina los procesos de tratamiento.

Las normas internacionales no fijan un N.O.I. Sólo mencionan que el olor y el sabor no deben ser motivo de rechazo.

Su determinación se detallará en el laboratorio.

Revisión de los Principios fundamentales de Química.

Lista de los elementos más comunes
(Para memorizar los que tengan *)

NOMBRE	SIMBOLO	PESO AT.	VALENCIA
Aluminio *	Al	26.98	+ 3
Arsénico *	As	74.91	+ 5,+ 3,0, -3
Azufre *	S	32.07	+ 6,+ 4,0,-1,-2
Bario	Ba	137.36	+ 2
Bismuto	Bi	209.00	+ 5,+3,0,-3
Boro	B	10.82	+ 3
Bromo	Br	79.92	+ 5,+1,0,-1
Cadmio	Cd	112.41	+ 2
Calcio *	Ca	40.08	+ 2
Carbono *	C	12.01	+ 4
Zinc *	Zn	65.38	+ 2
Cloro *	Cl	35.46	+ 7,+5,+3,+1,0,-1
Cobalto	Co	58.94	+ 2,+3
Cobre	Cu	63.54	+ 1,+2
Cromo	Cr	52.01	+ 6,+3,+2,0
Estaño	Sn	118.70	+ 2,+4
Fluor	F	19.00	- 1
Fósforo	P	30.97	+ 5,+3,+1,0,-2,-3
Hierro	Fe	55.85	+ 2,+3
Hidrógeno *	H	1.01	+ 1
Magnesio *	Mg	24.32	+ 2
Manganeso	Mn	54.94	+ 7,+6,+4,+3,+2,0
Mercurio	Hg	200.61	+ 2
Niquel	Ni	58.69	+ 2
Nitrógeno *	N	14.01	+ 5,+4,+3,+2,+1,0, -1,-2,-3
Oro	Au	197.00	+ 3,+1,0
Oxígeno *	O	16.00	- 2
Plata	Ag	107.88	+ 1
Platino	Pt	195.23	+ 2, +4
Plomo	Pb	207.21	+ 2
Potasio *	K	39.10	+ 1
Selenio	Se	78.96	+ 6,+4,+2,0,-2
Silicio	Si	28.09	+ 4
Sodio *	Na	22.99	+ 1
Uranio	U	238.07	
Yodo	I	126.91	+ 7,+5,+4,+1,0,-1

Nota: Los subrayados son los tóxicos.

Pesos atómicos.

Si mediante balanza analítica, se separan 22.99 g de Na, a ese peso se le llama átomo-gramo.
En la Naturaleza, los gases y los elementos llamados halógenos, se presentan en moléculas formadas por dos átomos.
Así, el hidrógeno, gas, está formado por moléculas H_2.
El nitrógeno: N_2, el oxígeno O_2

Si en alguna forma, se logra separar por peso 32.00 g de oxígeno, ese peso tiene 6.023×10^{23} moléculas veraderas de oxígeno.
Si por peso, se separan 2.02 g de hidrógeno, ese peso contiene 6.023×10^{23} moléculas verdaderas de hidrógeno.

2×35.46 g de cloro tienen 6.023×10^{23} moléculas de cloro.

22.99 g de Na contienen 6.023×10^{23} átomos verdaderos de sodio.

$$\text{Peso equivalente de un elemento} = \frac{\text{Peso atómico}}{\text{Valencia}}$$

Hay elementos que siempre aparecen en los compuestos con una sola valencia.

Ejemplo de elementos con valencia constante (no cambia).

H; + 1	Ca; + 2
Ag;+ 1	Mg; + 2
K; + 1	Ba; + 2
Na;+ 1	O; - 2

Al;+ 3 El carbono C; + 4
Fe;+2,+3
Cu;+1,+2

Los halógenos es común que trabajen con valencia -1, pero hay muchos compuestos en que aparecen con las otras valencias anotadas en la lista.

Se pueden formar compuestos de elementos
+ y -

$2\ H^+ + O^= \longrightarrow H_2O$
$2\ H_2 + O_2 \longrightarrow 2\ H_2O$
$Cl_2 + Ca \longrightarrow Ca\ Cl_2$
$Cl_2 + 2Ag \longrightarrow 2\ Ag\ Cl$
$Cl^- + Ag^+ \longrightarrow Ag\ Cl$

$Mg^{++} + O^= \longrightarrow MgO$
$2Mg + O_2^= \longrightarrow 2\ MgO$

Si se ponen juntos 2 x 35.46 g de cloro con 2 x 22.99 g de sodio, hay igual número de átomos de uno y otro; se corresponden 1 a 1, y se combinan para dar 6.023×10^{23} moléculas de NaCl.

$$Cl_2 + 2\ Na \longrightarrow 2\ Na\ Cl.$$

$$2 \times 35.46 \times 2 \times 22.99 \longrightarrow 116.90$$

1 molécula g + 2 átomos g ---→ 2 moléculas g

La reacción anterior se podría haber escrito

$$Cl + Na \longrightarrow NaCl$$

$$35.46 + 22.99 \longrightarrow 58.45$$

Al peso 35.46 se le llama peso Equivalente del Cloro, porque para fines de reacciones químicas, equivale a otro peso de sodio: 22.99 g, porque ambos tienen el mismo número de átomos reales.

Así, un equivalente de cloro = 35.46 g de cloro
Un equivalente de Na = 22.99 g

En la reacción $Cl_2 + 2\ Na \longrightarrow 2Na\ Cl$,
2 equivalentes de cloro + 2 equivalentes de sodio dan dos equivalentes de NaCl.

En la lista de elementos se ve que el cloro puede tener valencia -1, y el Na, +1

En las combinaciones químicas generalmente se unen los elementos de signo contrario.

Ejemplos de pesos equivalentes de elementos:

$$\text{Peso Equiv. del oxígeno} = \frac{16.00}{2} = 8.00$$

$$\text{Peso Equiv. del Mg} = \frac{24.32}{2} = 12.16$$

Las reacciones siempre tienen lugar de un equivalente de un elemento, con un equivalente de otro.

2 Equiv, con 2 Equiv.
3 Equiv. con 3 Equiv.
etc.

Así:

$Cl_2 + Ca \longrightarrow CaCl_2$

$2 \times 35.46 + 40.08 \longrightarrow 111.00$ g

2 Equiv. + 2 Equiv. ---→ 2 Equiv.

Por esa razón, si se ponen juntas

35.46 g de cloro + 20.04 g de Ca ---→ 55.50 g de $CaCl_2$

1 Equiv. + 1 Equiv. ---→ 1 Equiv.

Siempre se combinan 1 Equiv. con 1 Equiv., pero fijarse en -- que la reacción no es una suma de equivalentes.

Por ejemplo: en la reacción de $Cl_2 + Ca \longrightarrow CaCl_2$

2 Equiv. + 2 Equiv. ---→ 2 Equiv.

La reacción no es una relación de igualdad, sino una relación de equivalencia.

<u>Peso Equivalente de un compuesto</u>

$$\text{P.E. de un compuesto} = \frac{\text{Peso molecular}}{\text{Valencia del elemento de mayor valencia}}$$

Ejemplo:

$$\text{El P.E. del } CaCl_2 = \frac{40.08 + 2 \times 35.46}{2}$$

$$= 55.5 \text{ g}$$

Radicales

En la Naturaleza, hay grupos de elementos que se presentan -- siempre juntos en diversos componentes, como si fueran un solo elemento.

Por Ejemplo:

Na_2 (CO_3)

K_2 (CO_3) Todos contienen el grupo CO_3

H_2 (CO_3)

Mg (CO_3)

Al grupo CO_3 se le llama radical carbonato.

Cuando ese grupo está cargado eléctricamente, se le llama ion

ion $CO_3^{=}$, ion $SO_4^{=}$ con HCO_3^{-} , ion $NO_2^{=}$

ion NO^{-}

También los elementos cargados eléctricamente, se les llama iones.

H^+; ion hidrógeno

Cl^-; ion cloruro

Na^+; ion sodio

etc.,

Con los iones mencionados se pueden formar la mayor parte de los compuestos con que se trabaja en ingeniería sanitaria.

Los análisis químicos se hacen en la mayoría de los casos, buscando los elementos, y los compuestos formados por los radicales y los elementos.

Carbonatos (y bicarbonatos)
Sulfatos
Cloruros (y los otros "uros" de los halógenos)
Nitratos

Así, en los análisis se reportan los contenidos de carbonato de sodio, Ca, K, Mg.

Sulfato de Na, Ca, Mg

Nitratos de Na, Ca, Mg

Cloruros de Na y Mg

Ejercicios.

¿Cúal es la valencia del átomo o grupo de átomos (ion) subrayados de cada uno de los compuestos siguientes?

H (NO_3)	Na(OH)	NaCl	K_2S
Ca $(OH)_2$	$Na_2(CrO_4)$	$K_2(Cr_2O_7)$	
H_3 (PO_4)	$H_2(SO_4)$	(NH_4) Cl	
As Cl_3	Al_2O_3	Ba O	HBr
K (MmO_4)	K_2 (CrO_4)	K (ClO_3)	
Fe Cl_3	Ag_2O	H_2CO_3	

Números de oxidación

¿Cuál es el número de oxidación del átomo subrayado en cada uno de los compuestos siguientes?

K_2 CrO_4 , K_2 Cr_2 O_7 , K MmO_4

Na Mm O_4

Soluciones

Solución:

Dispersión de átomos, moléculas o iones, de una sustancia en un medio líquido.

Suspensión:

Dispersión de sustancias en partículas de tamaño mayor que el atómico, molecular o iónico.

Diferencias de una solución y una suspensión:

Efecto Tindal

Unidades

mg/l;

Molar : moles por litro de solución.

Normal : equivalentes por litro de solución.

% : peso por unidad de volumen de solución.

Alcalinidad

1a. Definición:

Capacidad de una solución para neutralizar un ácido.

2a. Definición:

La cualidad de las aguas naturales debido a la presencia de los radicales

$CO_3^{=}$, HCO_3^{-} , y en las aguas tratadas, los anteriores y OH^{-}

Los silicatos también causan alcalinidad.

Expresión de una sustancia como otra.

Con ejemplos.

Si el análisis del Ca de un agua dice:

Ca -------- 120 mg/l;

Es común y útil expresarlas como Ca CO_3

P.E. del Calcio = 20 g

P.E. del Ca CO_2 = 50 g

¿Cuántos equivalentes de Ca hay en 120 mg de Ca ?

$\frac{0.120}{20}$ = 0.006 Equiv. de Ca

Por otra parte

0.006 Equiv's. de Ca CO_3 = 0.006 X 50 = 0.300 gramos

ó 300 mg

Se puede decir que el agua contiene 120 mg/l de Ca

ó

300 mg/l de Ca como Ca CO_3

La operación puede simplificarse:

$$120 \times \frac{50}{20} = 300$$

Sust. A como B = Contenido de A $\frac{\text{Peso Equiv. B}}{\text{Peso Equiv. A}}$

La alcalinidad y la dureza siempre se expresa como Ca CO_3 para hacerlas comparables y ver las relaciones que existen entre esas dos cualidades.

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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES

DE PLANTAS POTABILIZADORAS

PRACTICAS DE QUIMICA

Ing. Francisco Montejano Uranga

enero 1979

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

C O L O R

El color de las aguas naturales puede ser "aparente" o "verdadero".
Para medir el color en el laboratorio, hay que eliminar el color "aparente" mediante centrifugación; por tanto, lo que se mide es sólo el color "verdadero".

La unidad para medir el color, es el color producido por 1 mg/l de solución de P_t en forma de $K_2 P_t Cl_6$ (cloroplatinato de potasio) en agua destilada.

La medida del color de la muestra, se puede hacer por comparación de su color, con una serie de patrones de color, en tubos Nessler, mediante una solución patrón de 500 mg/l de P_t, y haciendo diversas diluciones, una para cada patrón.

Cada tubo se rotula con su color en mg/l.
La muestra también se pone en tubo Nessler y se compara con los tubos Nessler ya rotulados, y se ve cual es el tubo de igual color que la muestra.

<u>Solución Patrón de 500</u>

Disolver 1.246 g de $K_2 P_t Cl_6$, que contiene 0.5 g ó 500 mg de P_t, y agregar 1 g de $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ (Cloruro Cobaltoso) en un poco de agua destilada.

Llévese a 1 litro. Esa solución es la de 500 mg/l.

<u>Preparación de patrones</u>.

Tómense 20 ml de solución patrón y agréguense 80 ml de H_2O destilada; esa será la dilución:

$$\frac{20}{20 + 80} = \frac{20}{100} = \frac{2}{10}; \text{ ó } 1 \text{ a } 5$$

ó sea la dilución que contiene 1/5 de 500 ó 100 mg/l de color.
Vacíese en Nessler y rotúlese: color 100

Tómense 18 ml de solución de 500; agréguense 82 ml de agua destilada;

$$\text{dilución: } \frac{18}{18+82} = \frac{18}{100}$$

$$\frac{18}{100} + 500 = 90 \text{ mg/l}$$

rotúlese

Tómense sucesivamente 16, 14, 12, 10, 8, 6, 4 y 2 ml de solución de 500, vacíense en Nessler de 100, llévense a 100 con agua destilada y se trandrán los patrones de color de 70, 60, 50, 40, 30, 20 y 10 mg/l de color.

Estos patrones van de 10 en 10 mg/l.

Si se quiere mayor precisión, se pueden hacer en la misma forma, patrones que vayan de 5 en 5, o de 2 en 2, etc.

O L O R

Número de Olor Incipiente

N.O.I.

Puntos previos:

Se tiene una muestra de agua que despide olor, y agua inodora en cantidad suficiente.

Dilución.

Supóngase que se desea hacer una dilución 1:10 (uno a diez) de -- agua con olor al agua inodora.

Se toma 1 ml del agua con olor, y se vacía en 9 ml de agua inodora con lo cual se tiene una dilución

$$\frac{1}{1 + 9} = \frac{1}{10} = 1:10$$

Si llamamos "A" a los ml de agua con olor y "B" a los ml de agua inodora, la dilución es:

$$\text{DILUCION} = \frac{A}{A + B}$$

Número de Olor Incipente.

Se define como el recíproco de la dilución que apenas huele

Si en el ejemplo anterior de dilución, ya se habían hecho varias diluciones:

1:2 ; 1:8 ; 1:10 ; y todas huelen, pero la 1:12 ya no olía (resultado (-)), la que apenas huele es 1:10, entonces el N.O.I. de esa muestra es

$$\text{N.O.I.} = 10 = \frac{A + B}{A}$$

Los Métodos Estándar recomiendan que A + B sea siempre 200 ml, de tal manera que los ml de agua con olor, siempre se lleven a 200 ml con agua inodora; y además, se sugiere hacer una prueba previa, gruesa, para determinar en forma tosca, el rango o ambito en que está el N.O.I.

PROCEDIMIENTO

PRUEBA GRUESA (40°C)

Tomar 200 ml de la muestra, percíbase el olor; si huele, regístrese (+).

Tómense 50 ml de la muestra, elévese a 200 ml con agua inodora, si huele, regístrese (+).

Tómense 12 ml; llévense a 200; si hay olor, regístrese (+).

Tómense 2.8 ml; no huele, regístrese (-).

La que apenas huele es 12 ml.

$$\text{Dilución} \quad \frac{12}{12 + 188} = \frac{12}{200}$$

$$\text{N. de O.I. } \underline{\text{grueso}} \quad \frac{200}{12} = 16.6(6) \doteq 17$$

Para precisar el N.O.I., seleccione de la tabla, el juego de ml que hay que diluir a 200, hasta que al encontrar el que apenas huele, se pueda encontrar el NOI en forma semajante a la anterior.

Por ejemplo, para el ejemplo anterior, el juego de ml para el de 12 ml es

12, 8.3, 5.7, 4.0, 2.8

ya se llevaron los 12 a 200 y el resultado es (+)

tómense 8.3; llévense a 200; el resultado es (+)

tómense 5.7; llévense a 200; el resultado es (-)

El que apenas huele es 8.3

$$\text{La dilución es} \quad \frac{8.3}{8.3 + 191.7} = \frac{8.3}{200}$$

$$\text{El N.O.I.} = \frac{200}{8.3} = 24$$

ml. de agua con olor, para la prueba gruesa } 200, 50, 12, 2.8

ml de muestra para la prueba definitiva

Si en la prueba gruesa, la que sale (-) es 50; (la de 200 es la que apenas huele)

Entonces háganse diluciones de: 140 a 200
100 a 200
70 a 200
50 a 200

Si en la prueba gruesa, la que sale (-) es la de 12 ml, (la de 50 es la que apenas huele), entonces háganse diluciones de:

35 a 200
25 a 200
17 a 200
12 a 200

Si en la prueba gruesa, la que sale (-) es la de 2.8 ml, (la de 12 es la que apenas huele), entonces háganse diluciones de:

2 a 200
1.4 a 200
1.0 a 200

TURBIEDAD.

Se puede medir haciendo uso del depósito conocido como Turbidímetro de Jackson o de Bujía.

El turbidímetro consta esencialmente de un tubo vertical graduado, y por debajo tiene una bujía encendida, que se observa de arriba hacia abajo.

La unidad de turbiedad es la centésima parte, de la turbiedad que hace que desaparezca la flama, cuando el espesor que atraviesa la luz es de 21.5 cm.

Si la turbiedad está entre 25 y 1,000 unidades, se usa el tubo Jacson.

Si la turbiedad de la muestra está entre 5 y 100, se usan patrones preparados por diluciones de una suspensión de turbiedad conocida mediante el tubo Jackson.

Si la turbiedad es menor de 5 unidades, se usa el turbidímetro de Baylis o el St.Louis, o el nefelómetro,o instrumentos fotoeléctricos.

Como práctica de laboratorio, se tendrá una suspensión de 500 unidades aproximadamente.

De ella se prepararán patrones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 y 100 unidades. Cada patrón estará rotulado.

La turbiedad de la muestra se determinará, comparando visualmente la muestra con los patrones.

Precaución.

Al medir la turbiedad de la suspensión con el tubo Jacson, no se encienda la bujía, si el tubo Jackson está vacío, porque en esa forma se rompe.

Con la bujía apagada, vaciar una pequeña cantidad de suspensión, y hasta después, encienda la bujía.

Luego, con una pipeta, váyase vaciando más suspensión, hasta que desparezca la forma de la bujía, y sólo se vea el campo de luz difusa. Entonces hágase la lectura.

ALCALINIDAD

Reactivos

Solución 0.02 N de H_2SO_4

Indicadores:

Fenolftaleina, Anaranjado de metilo, y Mixto.

(1) Hágase una determinación gruesa de la alcalinidad total, usando el Indicador de A.M.

Si la alcalinidad total > 100 mg/l, repítase la prueba usando primero Fenolftaleína y luego A.M.

Regístrese el resultado

Si la alcalinidad total de la determinación

gruesa < 100 mg/l; repítase la prueba usando F e indicador Mixto.

Regístrese el resultado

pH

Determinar el pH de la muestra mediante el potenciómetro.

CO_2

Con los datos de alcalinidad y pH, temperatura y sólidos S. estimados, use la gráfica de los Métodos Estándar y determine CO_2 de la muestra.

DUREZA TOTAL

Método del EDTA

Reactivos:

Solución de EDTA; 1 ml = 1 mg de dureza como Ca CO_3

Indicador; Negro de Erio Cromo T.

Regulador de pH.

Tomar en un Erlenmeyer 50 ml de muestra; poner __ ml de amortiguador de pH, poner unas gotas del indicador; gotear solución de EDTA de la bureta hasta que aparezca un color azul puro, hacer la lectura.

Calcular la DT., en mg/l como $CaCO_3$, tomando en cuenta el volumen que se tomó de muestra.

Dureza del calcio
Indicador Murexida

para pH de 12, ponga 2 ml de solución 1 N de Na OH, agregue un polvito de Murexida; titule rápidamente con EDTA, hasta que aparezca el color bugambilia.

Haga la lectura de la bureta.

Calcule la D del calcio en mg/l como Ca CO_3 y regístrela.

Dureza del Mg

DMg = D.T - D el Calcio

CLORUROS Cl^-

Método de Mohr

Reactivos. Solución de Ag NO_3, 0.0141 N

Indicador de cromato de potasio.

Se preparó disolviendo 50 g de K_2 CrO_4

en un poco de agua destilada.

Se agregó solución de Ag NO_3 hasta que apareció el precipitado rojo.

Se dejó en reposo por 12 horas, se filtró y se diluyó a 1 litro con agua destilada.

Determine la concentración del ion Cl^-, usando ____ ml de muestra en un Erlenmeyer. Agregue 1.0 ml de indicador de K_2CrO_4, titule con la solución de Ag NO_3 de la bureta hasta que aparezca apenas el tinte rojizo.

$$mg/l \text{ de } Cl^- = \frac{\text{ml de Ag } NO_3 \text{ x N del Nitrato X } 35450}{\text{ml de muestra}}$$

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

PRIMER CURSO PARA OPERADORES DE PLANTAS POTABILIZADORAS

TEMA 3

QUIMICA DEL AGUA

Ing. Francisco Montejano Uranga

enero 1979

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

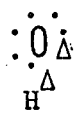
Origen de los iones. (en solución)

Se forman debido al efecto dieléctrico del solvente (el agua), al separar los átomos de una molécula neutra que contiene elementos ligados por unión iónica o electrostática.

Ej. : El agua divide al NaCl en iones, totalmente

$Na\ Cl \dashrightarrow Na^{+}\ Cl^{-}$

El agua divide al agua en iones, sólo parcialmente



Neutro

Un átomo neutro de hidrógeno $H^{\cdot}$ (electrón)

H^{+} ion hidrógeno

El grupo OH queda con un electrón en exceso del número de electrones correspondiente a la neutralidad : $:\ddot{O}:$; $H^{\cdot}$

Neutralidad 6 + 1 = 7

Ej. : El oxhidrilo tiene 8 e ; 1 e de más

$\dashrightarrow$ negativo

A diferencia de la solución de NaCl, en que todo el cloruro de sodio en sosolución, aparece en forma de iones, el agua divide en iones a sólo una pequeña parte de moléculas de agua.

a 25 °C, aparece en forma iónica, en un litro de

agua (1 litro = 1,000 g); $10^{-7} = \frac{1}{10,000,000}$

$$\frac{1}{10,000,000} \times 1000 = \frac{1}{10,000} \text{ de g} = 0.1 \text{ de 1 mg}$$

Aún así, el número de iones reales de H^{+}y OH^{-}es muy grande, y está disperso en el litro de agua.

Como cada molécula de agua de las que se ioniza, da una ion H^{+} y 1 ion OH^{-} , el agua pura contiene, a 25°C, igual número de iones H y por tanto igual número de iones gramo de H^{+} , y iones gramo de OH^{-}

La concentración de moléculas, o de átomos gramo se expresa con { }

También

$\{H\pm\}$ significa el número de iones gramo de hidrógeno, por litro

En el agua pura a 25°C $\{H^+\} = \{OH\} = 10^{-7}$

Potencial de hidrógeno

Se llama pH : $-\log\{H^+\}$

$\log 10^{-7} = -7$

$pH = -\log 10^{-7} = -(-7) = 7$

Producto iónico del agua

$\{H^+\}\{OH^-\} = Kw = 10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$

Por introducción de una sustancia al agua, y si hay reacción química, puede suceder que el número de iones $H\pm$ aumente o disminuya por ejemplo :

$$CO_2 + H^+ + OH^- \dashrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 \dashrightarrow H\pm + HCO_3^- \dashrightarrow$$

$$\dashrightarrow H\pm + CO_3^{=}$$

Los iones OH^- disminuyen para forma HCO_3^-

Hay aumento de $\{H^+\}$

Si el CO_2 es el que viene de la atmósfera, la $\{H^+\} = 10^{-5.5}$ iones g

$$10^{-5.5} > 10^{-7}$$

$$pH = -\log 10^{-5.5} = 5.5$$

El agua pura con CO_2 de la atmósfera (agua destilada), tiene pH = 5.5

Si esa agua se hierve, para expulsar el CO_2 y se impide la entrada del CO_2 de la atmósfera, el pH = 7.0

Lo notable es que si la $\{H^+\}$ aumentó; la OH^- disminuye en tal forma que que el producto iónico es el mismo

$$10^{-5.5} \times 10^{-8.5} = 10^{-14}$$

$10^{-5.5} \times$ [illegible]

En el caso del agua pura, en que $\{H^+\} = \{OH^-\}$, a la solución se le llama neutra

Cuando $\{H^+\} > \{OH^-\}$

$$10^{-5.5} > 10^{-8.5}$$

ó

$$pH = 5.5 < 7,$$

por el hecho de que predominan las H^+, a la solución de CO_2 en agua se le llama solución ácida.

Cuando por algún motivo $\{OH^-\} > \{H^+\}$ ó $pH > 7$, a la solución se le llama básica.

<u>Uniones químicas</u>

Unión iónica o electrostática

Ejemplo : El Na; sólido y el cloro (gas)

$$:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}\cdot + Na\cdot \longrightarrow (:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:)^- + (Na)^+$$

Neutro Neutro NaCl

Atomo neutro de Cloro

N° at. 17; 2,8,7 : $:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}\cdot$

Atomo de nuetro de Sodio

N° at. 11; 2,8,1 N·

Hay traslado de electrones :

El electrón del sodio se va al cloro,

El Na. se carga (+); el cloro se carga a (-)

Se unen $\longrightarrow$ NaCl ; Cristal

Si se hace una solución de NaCl, en agua, el agua parte o divide al NaCl

$$:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}: Na \longrightarrow Na^{\pm} + (:\ddot{\underset{\cdot\cdot}{Cl}}:)^-$$

Se sabe que esto sucede, debido a que si se hace una solución de NaCl, es muy buena conductora de la electricidad.

Unión Covalente

Los dos elementos contribuyen con un electrón a la pareja unión, pero no hay traslado de electrones. El par de elementos permanece unido. Los elementos no ganan ni pierden electrones. No se cargan eléctricamente;

Ej: H:H ; H_2 ; los dos hidrógenes permanecen unidos en solución acuosa.

Se disuelve H_2 en agua, el agua no lo separa: La unión es covalente.

En el caso de la disociación del agua; una unión es iónica y la otra es covalente. El ion OH^- está formado por unión covalente.

Al ion OH^- nunca lo separa el agua por que de H^+ y oxígeno.

Acidos:

Todo compuesto capaz de liberar iones H^+

Ej: H_2CO_3, HCl, HNO_3, H_2SO_4

Bases o Alcalis

Todo compuesto capaz de aceptar iones H^+

El ion $OH^- + H^+ \longrightarrow H_2O$

$NaOH + H^+ + Cl \longrightarrow NaCl + H_2O$

El NaOH es una base

$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$; el HCO_3^- es aquí una base o álcali

$HCO_3^- \longrightarrow H^+ + CO_3^=$; el HCO_3^- aquí es un ácido

A estos compuestos se les llama anfotéricos.

Alcalinidad

Característica del agua debida a la presencia de los iones negativos OH^-, HCO_3^- ; $CO_3^=$, los cuales hacen que esa agua que los contiene, sea capaz de neutralizar ácidos, si se les agrega.

Los silicatos también producen alcalinidad, por ello, se puede describir la alcalinidad, como la capacidad que puede tener un agua, para reaccionar con un ácido.

Debido a esto último, la alcalinidad se mide agregando ácido a una muestra alcalina, hasta lograr que toda la alcalinidad reaccione con la solución ácida que se agrega.

Cuando se igualan el número de equivalantes de la alcalinidad, con el número de equivalentes de ácido, se dice que se ha alcanzado el punto de equivalencia o punto final de la titulación.

Sin embargo, hay que hacer notar que al igualar esos números de equivalentes, no necesariamente se llega a la neutralización (no se llega a pH = 7)

La razón es la siguiente:

Cuando se hace una titulación de alcalinidad, las reacciones son:

$$OH^- + H^+ \longrightarrow H_2O$$

$$CO_3^{=} + H^+ \longrightarrow HCO_3$$

$$HCO_3^- + H^+ \longrightarrow H_2CO_3$$

y por tanto, se forma un ácido, el ácido H_2CO_3, que dará H^+ en cantidades equivalentes a la alcalinidad inicialmente presente.

Una alcalinidad de 300 ó más mg/l produce un pH final de titulación de 4.6
Una alcalinidad inicial de 100 ó menos, produce un pH final de 5 a 5.5

Cuando se hace una titulación de alcalinidad, surge el problema de saber cuando se llega al punto de equivalencia. Precisamente, el conocimiento de los cambios de pH y los indicadores, ayudan a conocer los puntos finales de las titulaciones.

Indicadores

Colorantes orgánicos, cuyo tono, o cuya intensidad de color, no depende de la concentración del indicador, sino del pH de la solución a la que se agregan.

En el caso particular de la alcalinidad, cuando se tiene una muestra con sólo HCO_3^-, el pH es 8.3 ó 8.4.

No importa cual sea la concentración de HCO_3^- en la muestra, el pH es 8.3 a 8.4.

Por otra parte, el indicador permite conocer el volumen necesario

de solución ácida para cambiar todas las OH^- y $CO_3^{=}$ en HCO_3^-.

Si luego se agregan unas gotas de anaranjado de metilo, la muestra se torna amarilla. Se sigue goteando solución ácida, hasta que la solución se pone de un color canela. Cuando esto sucede todos los iones HCO_3^- se han convertido en H_2CO_3 y el pH puede ser aproximadamente 4.5 ó 4.6.

Se ha llegado al punto final o punto de equivalencia.

Si se conocen:

1. La concentración de la solución ácida.

2. Los volúmenes gastados de solución ácida para decolorar el rosa de la fenolftaleina, y para cambiar el color amarillo del A. de M. a color canela.

3. El volumen de muestra; entonces es posible determinar las concentraciones de OH^-, HCO_3^- y $CO_3^{=}$ originalmente presentes, mediante una titulación de alcalinidad, usando los indicadores fenolftaleina y anaranjado de metilo.

Resultado	Alcal. de OH^-	$CO_3^{=}$	HCO_3^-
F = 0	0	0	T
F 1/2 T	0	2 F	T -2F
F = 1/2 T	0	2 F	0
F 1/2 T	2F-T	2(T-F)	0
F = T	T	0	0

Reacciones que tienen lugar, durante una titulación de alcalinidad.

Suponiendo que la muestra tiene

OH^-, $CO_3^{=}$ y HCO_3^-

$OH^- + H^+$ del ácido $\longrightarrow H_2O$ que se disocia muy poco

$CO_3^{=} + H^+$ del ácido $\longrightarrow HCO_3^-$ (pH = 8.4)

$HCO_3^- + H^+$ del ácido $\longrightarrow H_2CO_3$ que se disocia muy poco

El pH es 5.5 si la Alc. inicial < 100

pH = 6.5 si la alcalinidad inicial es > 100

Indicadores.

Fenolftaleina. Cambia de color a pH = 8.4

Rojo de metilo y verde de bromocresol. Cambia de color de azul verdoso a gris acero.
pH = 5.2 a 5.0
Gris acero a rosa pálido de 5.0 a 4.8

Anaranjado de Metilo
Cambio de color de amarillo a canela } pH = 4.6 a 4.4

Análisis volumétrico. Titulación

Descripción.

Bureta y matraz

V_x = Volumen de muestras con la sustancia x, en el matraz.

N_x = Concentración en Equiv's/litro, de x.

V_y = Volumen del reactivo en la bureta

N_y = Concentración en Equiv's/litro de y

En general, el producto VN = número de equivalentes.

Las sustancias reaccionan; equivalente con equivalente.

El punto final de una titulación tendrá lugar cuando el número de equivalentes de la sustancia del reactivo (de la bureta) sea igual al número de equivalentes de la sustancia de la muestra (en el matraz).

Núm. Equiv's. de x = Núm. de Equiv's. de y

$$N_x V_x = N_y V_y$$

$$N_x = \frac{V_y N_y}{V_x}$$

$$g/l \text{ de } x = \frac{V_y N_y P.E.x}{V_x}$$

$$\text{mg/litro } x = \frac{V_y \; N_y \; P.E.X \times 1{,}000}{V_x}$$

Multiplicando ambos miembros por $\frac{P.E_z}{P.E_x}$

$$\text{mg/l de } x \text{ como } z = \frac{V_y N_y \; P.E_x \times 1{,}000 \; P.E_z}{V_x \quad PE_x}$$

$$\text{mg/l de } x \text{ como } z = \frac{\text{ml de } y \; N_y \times 1{,}000 \; PE_z}{\text{ml de muestra}}$$

Para la alcalinidad, que se expresa como $C_a\,CO_3$ sea cual fuere el racidal que la produce

$$\left(\begin{array}{l}\text{mg/litro de Alc.}\\ \text{como } Ca\,CO_3\end{array}\right) = \frac{\text{ml de Soluc.de } H_2SO_4 \times \text{N ácido y PE.}CaCO_3 \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

Como el P.E del $C_a\,CO_3 = 50$ y si se toman 100 ml de muestra

$$\left(\begin{array}{l}\text{mg/l de Alc.}\\ \text{como } Ca\,CO_3\end{array}\right) = \frac{\text{ml de ácido} \times \text{Nácido} \times 50 \times 1{,}000}{100}$$

Aquí se ve que conveine que $N_y = 0.02$ Equiv./litro

$$\left(\begin{array}{l}\text{mg/l de Alc.}\\ \text{como } Ca\,CO_3\end{array}\right) = \frac{\text{ml de ácido} \times 0.02 \times 50 \times 1{,}000}{100}$$

$$\boxed{\begin{array}{l}\text{mg/l de Alc.}\\ \text{como } Ca\,CO_3\end{array} = 10 \times \text{ml. de solución de ácido.}}$$

Dureza.

Aguas duras son aquellas que gastan mucho jabón para producir espuma. Cuando se hierven, depositan "sarro"
Forman incrustaciones en las calderas

La dureza se debe a la presencia de los iones

Ca^{++} y Mg^{++} principalmente.

Se clasifica de acuerdo con los radicales a los que estaban asociados esos iones antes de estar en solución (o en forma iónica)

D.C. Dureza de los carbonatos

$$\left.\begin{array}{l} Ca\,(HCO_3)_2 \\ Mg\,(HCO_3)_2 \\ Mg\,CO_3 \end{array}\right\} \text{Solubles en agua}$$

D.N.C. Dureza de los No carbonatos o de los

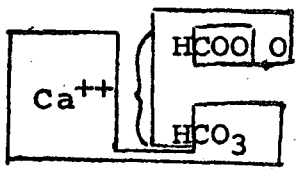
$SO_4^{=}$, Cl^-, y NO_3^- de Ca y Mg

Ej: $Ca\,SO_4$
$Mg\,SO_4$ solubles en agua

Compuestos tales como el $Ca\,CO_3$, $Mg\,(OH)_2$ son insolubles. Permanecen como tales, sin disolverse (precipitado) y se disocian muy poco, por eso, prácticamente no causan dureza.

A la dureza debida a la presencia de $Ca\,(HCO_3)_2$ en forma de Ca^{++} y $2HCO_3^-$ se le llama dureza temporal, porque si se hierve el agua, se expulsa el CO_2; entonces

$$Ca\,(HCO_3)_2 \xrightarrow{\text{Ebullición}} CO_2\uparrow + CaCO_3\downarrow + H_2O$$



A la dureza que no se puede eliminar por ebullición, se le llama dureza permanente.

$$\left.\begin{array}{l} Ca^{++} \\ Mg^{++} \end{array}\right\} \begin{array}{l} CO_3^{=} \\ SO_4^{=} \\ Cl^- \\ NO_3^- \end{array}$$

Como se expresa la dureza

Como carbonato de Ca, cualesquiera que sean los iones que la producen.

Relaciones entre la alcalinidad y la dureza

D.T = D C + DNC

Como los radicales $CO_3^{=}$ y HCO_3^{-}, (asociados a los que producen dureza) producen también alcalinidad,

Si la Alc. Total = D.T., entonces no hay D.N.C.

Si la Alc. T > D.T., tampoco hay D.N.C.

El exceso de alcalinidad, se debe a la presencia de $NaHCO_3$

$Na_2 CO_3$; $KHCO_3$, $K_2 CO_3$ o bicarbonato de Na y K que sí producen

alcalinidad, pero no producen dureza.

Si la alcalinidad T < D.T.; entonces sí hay dureza de los Na Carbonatos

D.N.C. = D.T - Alc. T.

Determinación de la dureza.

Métodos de laboratorio:

Volumétrico = "complexímetrico"
Gravimétrico

El volumétrico es el más rápido y fácil

El gravimétrico es más exacto, pero es más laborioso.

Método Volumétrico. Dureza Total

También lleva los nombres de:

Método complexímetrico
Método del Versenato - Titra Ver. (indicador)
Método EDTA
"Secuestren"

En la bureta, una solución de concentración conocida de la sal de sodio del ácido Etilen-Diamino-Tetra Acético.

Esta Sal "secuestra" a los iones divalentes de Ca^{++} y Mg^{++}, dando

iones complejos muy estable. Llamando M^{++} a los iones que producen la dureza.

$$M^{++} + EDTA \longrightarrow \{M.EDTA\} \longrightarrow (1)$$

Se usa como indicador del punto final de la titulación, el reactivo conocido como

Negro de Erio Cromo T

Si se pone un poco de este indicador en agua destilada (sin Ca^{++} ni Mg^{++}), le imparte un color azul.

Si se agrega el indicador N. de E.T al agua dura (con iones Ca^{++} y Mg^{++}), este se cambia con unos cuantos iones de Ca^{++} y Mg^{++} dando un color violeta

$$N.\ de\ E.T + M^{++} \longrightarrow \underset{\substack{\text{color violeta} \\ \text{o} \\ \text{" vino}}}{[M.N\ de\ ET]} \quad ---(2)$$

Si se procede a la titulación con Solución de EDIA, los iones Ca^{++} y Mg^{++} son "secuestrados" por el EDTA; de acuerdo con (1). Persiste el color violeta (o rojo vivo).

Cuando el EDTA agota los iones Ca^{++} y Mg^{++}, todavía le quita sus iones Ca^{++} y Mg^{++} al complejo de color vino (o violeta), dejándolo en su estado original azul. Ese cambio de color anuncia el punto final de la titulación.

La solución de EDTA se ha preparado previamente, de tal manera que:

$\longrightarrow$ 1 ml de Solución de EDTA = 1 mg de dureza como $CaCO_3$

$\longrightarrow$ Determinación del Ca, por el método EDTA= Cal. Ver.

Para ello se usa la misma solución de la sal de sodio de EDTA, pero antes de titular, se agrega una solución de Na OH; 1N, la cual logra subir al pH a 12, con lo cual se precipita el Mg^{++} en forma de $Mg(OH)_2$

Se procede a la titulación usando como indicador el reactivo conocido Murexida (purpurato de amonio).

El mecanismo es semejante al anterior

Murexida + algunos iones de Ca^{++} $\longrightarrow$ rosa

Murexida sola $\longrightarrow$ bugambilia

Durante la titulación persiste el color rosa.

Cuando el EDTA secuestra todos los iones Ca^{++}, todavía le quita sus iones Ca^{++} al complejo de color rosa, dejándolo en su estado original de color bugambilia, lo cual indica el punto final de la titulación.

Dureza del magnesio.

$$D_{Total} - D_{Calcio} = D_{Magnesio}$$

Importancia sanitaria de la dureza.

1) Ausencia de espuma con el uso del jabón. El uso de detergentes elimina esa desventaja.

2) Las incrustaciones en las calderas requieren su cuantificación, y tratamiento.

3) Procesos industriales que requieren aguas blandas.

4) Para la salud del hombre, la dureza no tiene gran significación. El organismo se acostumbra a las aguas duras.

Clasificación de las aguas por su dureza.

$<$ 100 mg/litro como $CaCO_3$: aguas blandas

100 a 200 mg/litro como $CaCO_3$: aguas moderadamente duras

$\geq$ 200 mg/litro: aguas duras

Ablandamiento.

Dos procedimientos

(1) Con Cal y Na_2CO_3

(2) Intercambio iónico

Ablandamiento con $Ca(OH)_2$ y Na_2CO_3 en 2 etapas

PRIMERA ETAPA

El CO_2 consume Cal

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O \longrightarrow (1)$$

Dureza de los Carbonatos

$$Ca^{++} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underline{CaCO_3} + 2H_2O$$

$$Mg^{++} + 2HCO_3^- + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underline{CaCO_3} + Mg^{++} + CO_3^{=} + 2H_2O$$

<u>Dureza del magnesio</u>.

$$Mg^{++} + CO_3^{=} + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCO_3 + \underline{Mg(OH)_2}$$

$$Mg^{++} + SO_4^{=} + Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca^{++} + SO_4^{=} + \underline{Mg(OH)_2}$$

Así, la cal requerida para la primera etapa, está en relación con el contenido de CO_2 , DC, y contenido de Mg. Como la dureza de los carbonatos y la alcalinidad son numéricamente iguales, cuando se expresan como $CaCO_3$, los cálculos de la cantidad de cal requerida pueden ser:

Reactantes

$CO_2 + Ca(OH)_2$; CO_2 en mg/l 74/44 = $Ca(OH)_2$ en mg/l.
44 74

Alc + $Ca(OH)_2$; Alc. en mg/l 74/100 = $Ca(OH)_2$ en mg/l.
100 74

$Mg^{++} + Ca(OH)_2$; Mg^{++} en mg/l 74/24.3 = $Ca(OH)_2$ en mg/l.
24.3 74

Para que tengan lugar las dos últimas reacciones, tiene que haber un exceso de iones OH^-, para que excedan el producto de solubilidad del $Mg(OH)_2$. Por esa razón, se requiere un pH = 10.8

Por esa razón hay que agregar un exceso de aprox. 50 mg/l de $Ca(OH)_2$

Ese exceso se remueve en las etapas posteriores.

El proceso de esta primera etapa se hace en un tanque en que se sedimentan los precipitados debidos a la adición de Cal, que son

$CaCO_3$ e $Mg(OH)_2$

Al final de esta etapa se agrega CO_2

A este proceso se le llama recarbonatación, y tiene por objeto convertir los excesos de cal, en $CaCO_3$, para que puedan ser removidos en la 2a. etapa.

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + CO_2 \longrightarrow \underline{CaCO_3} + H_2O$$

Además, el $Mg(OH)_2$ que no se precipitó y el que no se sedimentó, es convertido en $Mg\ CO_3$

$$Mg^{++} + 2OH^- + CO_2 \longrightarrow Mg^{++} + CO_3^{=} + H_2O$$

Al agregar el CO_2, el pH no debe ser menor de 9.5; si pH < 9.5, mucho de los $CO_3^{=}$ se convierten en HCO_3^-, y el exceso de Ca^{++} no se precipitará como $CaCO_3$ como es deseado.

La cantidad de CO_2 para la recarbonatación de la primera etapa puede calcularse como sigue:

Reactantes	Cálculos
$Ca\ (OH)_2 + CO_2$ (74, 44)	; $Ca\ (OH)_2$ (en exceso) x 44/74 = CO_2 en mg/l
$Mg\ (OH)_2 + CO_2$ (58.3, 44)	; $Mg\ (OH)_2$ (residual) x 44/58.3 = CO_2 en mg/l
	Total de CO_2

SEGUNDA ETAPA

Después de la primera etapa y su recarbonatación, el agua contiene dureza remanente de Mg, la dureza restante de carbonato de Ca no precipitado o no sedimentado, y la dureza DNC originalmente presente o la formada.

Para eliminarla hay que agregar $Na_2\ CO_3$

$$Ca^{++} + SO_4^{=} + Na_2\ CO_3 \longrightarrow Ca\ CO_3 + Na^+ + SO_4^{=}$$

DNC + $Na_2\ CO_3$ (100, 106) ; DNC x 106/100 = $Na_2\ CO_3$ en mg/l

RECARBONATACION DE LA 2a. ETAPA

Después de los procesos anteriores, el agua está sobresaturada de $Ca\ CO_3$. Se seguirá precipitando, como incrustaciones en los granos de arena de los filtros, y en las tuberías, lo cual se puede evitar mediante una recarbonatación

$$CO2 + CO_3 + H_2O \longrightarrow 2\ HCO_3^-$$

Suficiente para bajar el pH a 8.6

Ejemplo:

D.T. ------> 280 mg/l como $Ca\ CO_3$

Mg ------> 21 mg/l

Alc. T ----> 170 mg/l como $Ca\ CO_3$

CO_2 ------> 6 mg/l

Cal hidratada requerida para

CO_2 6 X 74/44 = 10.09

Alc. 170 x 74/100 = 125.80

Mg^{++} 21 x 74/24.3 = 63.95

Exceso = 50.00

Total 249.84

Si la cal comercial es del 90%

$$\frac{249.84}{0.9} = 277.62 \text{ mg/l}$$

$Na_2 CO_3$ que se requiere

DNC = 280 - 170 = 110 mg/l

Carbonato de sodio

$$110 \times \frac{106}{100} = 117 \text{ mg/l}$$

Recarbonatación de la primera etapa
Exceso de cal apagada = 50 mg/l

$$50 \times \frac{44}{74} = 29.73$$

$$Mg(OH)_2 \quad 20\left(\frac{44}{58.3}\right) = 15.1$$

Recarbonatación de la Segunda etapa:

Agregar CO_2 hasta que el pH baje a aproximadamente 8.6

Ablandamiento por intercambio iónico

Zeolitas - Naturales
Sintéticas

Cloruros

Importancia Sanitaria.

No son dañinos al hombre. En concentraciones mayores de 250 mg/l, imparten sabor salado.

Se usa como trazador. También sirve para detectar contaminación con aguas negras.

Su determinación en el laboratorio

Método de Mohr

Reactivo de $Ag\ NO_3$; 0.0141 N

$Cl^- + Ag \longrightarrow Ag\ Cl$ precipitado

Indicador $K_2\ Cr\ O_4$

$2\ Ag^+ + CnO_4^{=} \longrightarrow Ag_2\ CrO_4$

Color ladrillo

$$Cl^- \text{ en mg/l} = \frac{(\text{ml } Ag\ NO_3 - \text{testigo}) \times 0.5 \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

$$0.5 = 0.0141 \times 35.46$$

Fluoruros

Significación Sanitaria

$(F^-) > 1.00$ mg/l ----→ Fluorosis. Manchas en los dientes

$(F^-) < 1.00$ mg/l ----→ Propensión a las caries

Determinación de F^- en el laboratorio

Métodos Colorímetros

Método del Reactivo de Alizarino. Zirconio.

Mientras mayor es la concentración de

F; menor es la cantidad del color resultante

(Reactivo de alizarino - Zr) + $6F^-$ ----→ alizarino amarillo
Rojizo

+ $Zn\ F_6^{=}$

El método es apropiado para hacerlo mediante comparación visual de la muestra en tubo Nessler, con patrones de concentraciones conocidas de F^- también en tubos Nessler.

La razón es que las intensidades de color son bajas.

METODO SPANDS.

Es semejante. Da coloración más intensa y por eso es apropiado para uso de fotocolorímetro de espectrofotómetro.

En relación con los fluoruros, son importantes los métodos para los procesos de fluoruración y de defluoruración.

Hierro y Manganeso

Ocurren:
En las aguas subterráneas.
En ríos, lagos y vasos de almacenamiento.
En el suelo. En minerales en forma de óxido férrico Fe_2O_3;

como carbonato ferroso $FeCO_3$ poco soluble.

La presencia de CO_2 en las aguas subterráneas de suelos y el carbonato ferroso

$$FeCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow Fe^{++} + 2HCO_3^-$$

Los mayores problemas se presentan cuando en el suelo existe como compuestos férricos insolubles.

Mientras hay O_2 disuelto, aunque haya este tipo de fierro +++ y bastante CO_2, no hay disolución. Sin embargo, en condiciones anaerobias, el fierro férrico y el Mn se reduce de +4 a +2 en su estado de oxidación, poniéndose en solución.

Esto tiene lugar debido a reacciones biológicas en presencia de materia orgánica en las aguas subterráneas y en lagos que se estratifican.

Significación Sanitaria

No dañan la salud del hombre.
Manchas en las ropas en el proceso de lavado.
Manchas en los muebles de baño.
Crecimiento en las tuberías.
Sabor.

Determinación de Hierro en el laboratorio.

Método de la fenantrolina (colorimétrico)

Se basa en el hecho de que el reactivo 1,10 fenantrolina se combina con el ion Fe^{++} para formar un ion complejo de color anaranjado rojizo, cuya intensidad depende de la concentración de Fe^{++}.

Se usan tubos Nessler o fotómetro. Previo a la aplicación de la fenantrolina, hay que disolver los precipitados férricos tratando la muestra con HCl

$$Fe(OH)_3 + 3H^+ \longrightarrow Fe^{+3} + 3H_2O$$

y transformando el ion Fe^{+3} en iones Fe^{+2}

usando hidroxilamina como agente reductor

$$4\ Fe^{+3} + 2\ NH_2\ OH \longrightarrow 4\ Fe^{+2} + N_2O + H_2O + 4H^+$$

El Mn se presenta en las aguas naturales en la forma soluble de ion Mn^{+2}. Por aireación da el ion Mn^{+4}, que a su vez produce MnO_2 coloidal, constituyendo así un problema especial para su eliminación que en términos generales, consiste en la desestabilización del coloide de $Mn\ O_2$.

De otra manera, si no se elimina, causa manchas oscuras en la ropa durante el lavado.

<u>Determinación del Mn en el laboratorio</u>.

Método colorimétrico.
Método del Metaperyodato de Potasio.

Fundamentalmente se basa en la coloración morada que da el ion permangánico cuya intensidad varía con la concentración.

Se pueden usar tubos Nessler para los patrones de color, pero el ion permangánico no se obtiene directamente del $KMm\ O_4$ sino de una solución de $Mm\ SO_4$ que mediante el metaperyodato de K y H_2SO_4 convierte el ion Mn^{++} en ion $Mn\ O_4^-$ que es el ion que produce color.

La muestra se trata en la misma forma y se compara con los patrones.

Prueba del vaso para la coagulación y floculación.

(Pruebas de las jarras)

Puntos previos.

Solución: Dispersión de partículas de una sustancia en un líquido (solvente), cuando el tamaño de esas partículas es molecular, tamaño atómico o iónico.

Las partículas no se sedimentan, no presentan el efecto "Tindal", debido a su tamaño extremadamente pequeño.

Diám. < 10 Å (1 Å = 10^{-8} cm.)

ó < 1 milimicra

Suspensión Coloidal:

Es una dispersión de partículas de una sustancia en el solvente, cuando el tamaño de esas partículas oscila entre 10 Å a 1,000 Å (0.001 a 1). Una micra = 1/1,000 de ml.

Las partículas tampoco se sedimentan como en el caso de las soluciones, pero sí presentan el efecto Tindal.

El efecto Tindal consiste en ver una partícula de tamaño aparente mayor que el real, debido al contraste de luz y sombra producido por rayos de luz rasante.

En muchos casos las aguas turbias naturales deben su turbiedad a la presencia de coloides inorgánicos u orgánicos.

Las partículas coloidales que producen turbiedad, aún cuando no son extremadamente pequeñas, no se sedimentan porque están cargadas negativamente, y se repelen.

Pueden representarse

Para eliminar ese defecto de las aguas naturales, es necesario romper el coloide de turbiedad, neutralizando la carga negativa, y permitiendo así que las partículas no se repelan y se sedimenten.

Si se logra que también se peguen esas partículas, para formar otras mayores, se dice que se floculan y se aumenta su velocidad de sedimentación.

Para romper el coloide de turbiedad, se aplican a la solución, sales con elementos positivos, que al ionizarse, neutralizan la carga del coloide.

Las más usadas son el alumbre.

$Al_2 (SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ ó $18 H_2O$

y el Sulfato férrico $Fe_2 (SO_4)_3$

Al^{+3} + Coloid → Al Coloid neutro o menos negativo

En cualquier forma, hay reacciones químicas al agregar el coagulante.

Cuando se agrega alumbre al agua turbia, el alumbre reacciona con los iones oxhídrilos del agua, para formar

$Al (OH)_3$ que se ioniza poco

$$Al_2 (SO_4)_3 + 6 H_2O \rightarrow 2 Al (OH)_3 + 6 H^+ + 3 SO_4^=$$

Baja el pH a tal grado que la reacción se interrumpe.

Eliminando las H^+ se logra que no baje el pH y que siga la formación de $AL(OH)_3$

Los bicarbonatos de las aguas naturales actúan como amortiguadores de pH porque acaparan a las H^+

$$H CO_3^- + H^+ \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow H_2O + CO_2$$

Para desarrollar mejor los aspectos cuantitativos se escriben las ecuaciones en forma molecular.

$$Al_2 (SO_4)_3 + 6 H_2O \rightarrow 2 (Al(OH)_3) + 3 H_2 SO_4$$

$$3 Ca (HCO_3)_2 + 3 H_2SO_4 \rightarrow 3CaSO_4 + 6 CO_2 + 6 H_2O$$

$$Al_2 (SO_4)_3 + 3 Ca(HCO_3)_2 \rightarrow 2Al(OH)_3 + CaSO_4 + 6 CO_2$$

La misma ecuación se puede escribir, para relaciones de peso, como sigue:

$$Al_2(SO_4)_3\ 14 H_2O + 3Ca (HCO_3)_2 \rightarrow 2 Al(OH)_3 + 3CaSO + 6 CO_2$$

600 3 x 100 6 x 44 + 264

+ 14 H_2O

De aquí resulta que:

600 partes de alumbre destruyen 300 partes de alcalinidad

1 mg/l de alumbre destruye 0.5 mg/l de alcalinidad

600 partes de alumbre producen 264 partes de CO_2

1 mg/l de alumbre produce 0.44 mg/l de CO_2

PRUEBA DE "JARRAS"

El hecho de que las aguas naturales presenten cualidades cuyas características nocivas son muy diversas, tales como turbiedad, color, dureza, etc., implica que es necesario corregir esas características nocivas mediante procesos tales como coagulación, floculación, ablandamiento, estabilización, etc.

Por otra parte, en la teoría de esas procesos intervienen constantes y variables difíciles de cuantificar en forma también teórica.

De esas dos circunstancias surge la necesidad de experimentar por tanteos, en muchas muestras de tamaño relativamente pequeño, los métodos conocidos de tratamiento en el dispositivo conocido como Dispositivo de Jarras.

Consiste en una serie de 6 depósitos de 2 a 4 litros de capacidad donde se pone la muestra. El dispositivo tiene agitación mecánica (paletas) de velocidad variable.

Con ello es posible tantear diversos valores para:

Dosis de reactivos (coagulantes)
Velocidades de agitación para la Mezcla
Tiempo de Mezcla
Velocidad de Floculación
Tiempo de Floculación
Valores de pH, etc.

y obtener así valores óptimos y seleccionar los mejores métodos y procesos aplicables al proyecto de una obra de tratamiento.

Es conveniente tener presente que el pH y la alcalinidad cambian cuando se agrega un coagulante.

Cada milimole/litro de Fe^{+3} ó de Al^{+3} agregado hace que baje 3 milimoles de alcalinidad.

Mediante este mismo dispositivo, es posible seleccionar ayudas de coagulación tales como la sílice activada, Nalco 600 y otros con diversos nombres comerciales.

En lo que se refiere a tiempos de mezcla rápida, son comunes, valores que oscilan desde 10 segundos hasta 5 minutos.

Para mezcla lenta o floculación, son comunes valores que oscilan entre 5 y 30 minutos.

Estos valores determinarán los tiempos de retención de los depósitos de mezcla de los reactivos, y de los depósitos de floculación; así como las características de los equipos de agitación de ambos, en el proyecto definitivo de la Planta de Tratamiento.