



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS
COSTEROS Y METODOS DE CONTROL

ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

OCTUBRE, 1980

GENERALIDADES SOBRE LA INTRUSION SALINA EN ACUIFEROS COSTEROS Y METODOS DE CONTROL

Por: ING. JUAN MANUEL LESSER ILLADES

La explotación de agua subterránea en acuíferos de zonas costeras encara un gran riesgo, denominado "Intrusión salina". Muchas de las zonas costeras de México están siendo degradadas por este fenómeno, como resultado del exceso de bombeo.

Un renglón importante en los acuíferos costeros, es el estudio de la determinación de la intrusión salina cuando ésta aún no la ha afectado nocivamente. Dentro de estos estudios, es esencial, la determinación de la posición del nivel piezométrico y sus fluctuaciones con el tiempo, así como el registro de los incrementos de salinidad en los pozos. Si se cuenta con estos datos puede conocerse rápidamente la posición y la peligrosidad de la intrusión y planear las alternativas más convenientes para su control.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LA INTRUSION SALINA.

Para que una zona costera se vea afectada por este fenómeno, es necesario que se cumplan las dos condiciones siguientes:

- a) Continuidad Hidráulica.- En muchas cuencas costeras de nuestro país, existe continuidad hidráulica en los materiales que forman las planicies costeras la cual se continúa hasta el mar, cerca de la línea de la costa. Puede presentarse también, capas de material permeable confinado, que se continúa a cierta profundidad, hasta más allá de la costa. Algunos acuíferos se encuentran cubiertos por lodo y otros materiales relativamente impermeables que impiden que el agua de mar los contamine.
- b) Inversión del Gradiente.- Otras de las condiciones necesarias para que se lleve a cabo la intrusión salina, es la inversión del gradiente, la cual, se presenta cuando la carga hidráulica del mar es mayor a la del acuífero. Esto sucede si el nivel piezométrico es abatido a profundidades bajo el nivel del mar.

Cuando el gradiente es hacia el mar, existe un flujo de agua hacia él y cuando el gradiente es hacia tierra adentro se establece un flujo de agua, hacia el valle. En la --

práctica, la magnitud el gradiente hidráulico se obtiene a partir de la medición de la profundidad al nivel del agua en pozos y norias.

PRINCIPIO DE GHYBEN - HERZBERG.

A lo largo de las líneas de costa el agua de los acuíferos se encuentra descansando sobre el agua de mar, debido a la diferencia de densidades de éstas. El contacto entre estas dos masas de agua (interfase salina) se encuentra en equilibrio dinámico, por lo cual las modificaciones en las condiciones originales del acuífero, producen cambios en la posición del contacto entre las dos aguas.

La profundidad a la cual se encuentra la interfase fue descrita por Badon Ghyben en 1869, y aplicada a problemas específicos por Bairat Herzberg en 1901.

La teoría se basa en lo siguiente:

El peso de una columna vertical de agua dulce que va desde el nivel piezométrico del acuífero hasta la interfase se encuentra equilibrada por el peso de una columna de agua de mar que vaya desde el nivel del mar, hasta la interfase. Esto es, el peso de la columna de agua dulce de longitud $h + Z$ es igual al peso de una columna de agua de mar de longitud Z , donde "h" es la elevación del nivel estático a partir del nivel del mar y "Z" es la profundidad a la interfase, a partir del mismo nivel de referencia.

Si "Dd" y "Dm" representan las densidades del agua dulce y de mar respectivamente, la condición para el balance hidrostático se expresa de la siguiente manera:

$$D_m \cdot g \cdot Z = D_d \cdot g \cdot (h + Z)$$

$$Z = \frac{D_d}{D_m - D_d} h$$

Considerando que las densidades del agua de mar y del agua dulce son 1.025 y 1.000, respectivamente, tenemos que:

$$Z = 40 h$$

O sea que por cada metro que se eleve el nivel piezométrico sobre el nivel del mar, existirán 40 metros de agua dulce bajo el mismo nivel de referencia (Figura 2). La posición del nivel piezométrico sobre el mar, condiciona la profundidad a la interfase. Los movimientos de la superficie del mar por mareas y de la superficie piezométrica del acuífero, producidos por aumento ó disminución de agua en él, pro-

ducen fluctuaciones en la posición de la interfase. El área en donde se llevan a cabo estas fluctuaciones, se denominan zona de difusión. La mayoría de los acuíferos que no están sobreexplotados, descargan agua hacia el mar y la posición real de la interfase, en este caso, se encuentra a mayor profundidad (Hubbert) que la calculada por Ghyben-Herzberg, (figura 3).

MECANISMO DE LA INTRUSION SALINA.

Existen varios mecanismos por los cuales el agua de mar puede intrudirse a un acuífero costero. Estos, están relacionados con la disminución de la elevación del nivel piezométrico y la inversión del gradiente hidráulico, que permite al agua de mar moverse hacia tierra adentro. Bajo condiciones naturales en los acuíferos costeros, existe un equilibrio entre la recarga, la descarga y el cambio del almacenamiento. Es conveniente que exista un flujo de agua dulce al mar, para conservar el equilibrio, y evitar la intrusión. Conforme el agua subterránea es extraída por bombeo, el nivel estático baja acomodándose a las nuevas condiciones y el flujo de la intrusión salina se comienza a mover hacia el acuífero, ocupando primero las zonas costeras y posteriormente la zona de explotación del valle.

METODOS DE CONTROL DE LA INTRUSION SALINA.

Varios métodos de control son conocidos y utilizados para prevenir la intrusión salina. Los más comunes son:

- 1).- Reducción de la extracción
- 2).- Recarga artificial,
- 3).- Fronteras impermeables.
- 4).- Barrera con pozos de bombeo y
- 5).- Barreras con pozos de inyección (figura 4).

REDUCCION DE LA EXTRACCION.

Una de las medidas técnicamente más sencillas para prevenir la intrusión de agua de mar, es la reducción de la extracción de agua subterránea, a un nivel planificado. Esta medida implica una disminución en las demandas de agua lo cual, en ocasiones crea problemas socioeconómicos y políticos muy fuertes. Cuando se opta por este método y el bombeo es reducido, puede establecerse nuevamente el gradiente hacia el mar y la intrusión es reemplazada por un ligero flujo de agua dulce hacia el mar. Si existe información suficiente sobre la variación de los niveles del agua y si se conocen las condiciones geológicas del subsuelo, la reducción de la extracción puede ser controlada de tal manera, que se obtenga la máxima cantidad de agua sin provocar una intrusión salina nociva.

RECARGA ARTIFICIAL.

Para ello es necesario contar con una fuente adicional de agua así como condiciones apropiadas del terreno, de tal manera, que la recarga pueda llevarse a cabo. Las obras para la recarga pueden consistir en zanjas superficiales construidas en el área de recarga a través de las cuales se hace circular agua que se infiltra al subsuelo. Otro tipo de obras, consiste en la construcción de presas de infiltración, localizadas en la zona de recarga. En zonas donde existen capas confinantes impermeables, pueden construirse pozos de inyección. Al llevar a cabo esta recarga se provoca la reinvención del gradiente hacia el mar, la cual es acompañada por un flujo de agua dulce. La recarga, en esta forma, es económica, respecto a los otros métodos, pero en la mayoría de los casos no se cuenta con fuentes de agua adicional para llevarla a cabo.

FRONTERAS IMPERMEABLES.

Consiste en la construcción de una barrera impermeable entre la línea de costa y los pozos de explotación. El medio de construcción puede ser excavando una zanja que posteriormente se rellena con materiales arcillosos. Otro tipo de barrera, consiste en el inyectado de material impermeable. Estas construcciones son usadas solo en áreas relativamente someras. Es importante, el conocer los resultados posteriores a su construcción, ya que, si la impermeabilización es completa, permitirá abatimientos fuertes y por lo tanto la obtención de mayores volúmenes de agua almacenada. Este método tiene la desventaja de no contar con un flujo de agua subterránea hacia fuera de la zona, que en ocasiones, es necesario para mantener un balance de sales favorables.

BARRERA DE POZOS DE BOMBEO.

Consiste en una línea de pozos localizados entre la zona de explotación del valle y el mar. Los pozos, deben de extraer toda el agua de mar que intrusióna al acuífero, hasta obtener un equilibrio hidrostático. Para ello, los niveles de agua deben de ser bajados en la barrera, más que en cualquier otro punto en la cuenca. El volumen de extracción que se lleva a cabo en el valle, debe de ser reducido, cuando menos una cantidad ligeramente menor a la que se obtenía antes de aplicar el método. Es importante, disponer del registro de los niveles del agua en la zona de la barrera, así como el conocer la cantidad exacta de agua que se debe de bombear para obtener los resultados deseados. Esta cantidad de agua que se debe de extraer, es muy variable y deberá de ser mayor

al volumen de agua de mar que originalmente intruía. -
Mientras más cerca del mar se localiza la barrera, el bombeo
tendrá que ser mayor.

BARRERA CON POZOS DE INYECCION.

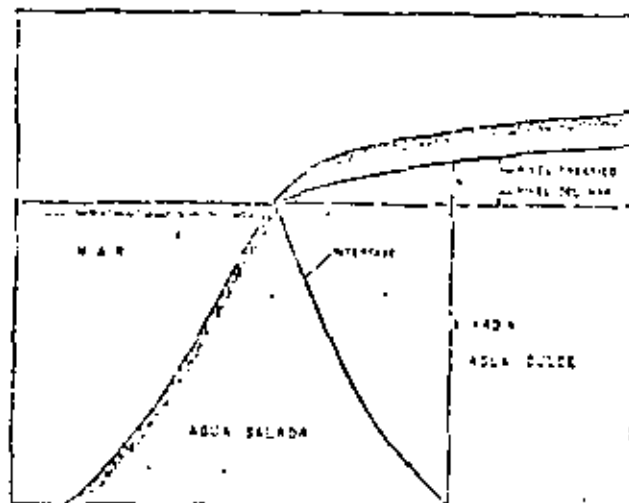
Este método para control de intrusiones salinas, -
consiste en la construcción de pozos de inyección alineados -
a lo largo de la costa, su funcionamiento va a depender de la
resistencia que encuentre el agua al moverse en el subsuelo. -
Al inyectar agua al acuífero se provoca la elevación del ni-
vel piezométrico lo cual se lleva a cabo hasta alcanzar el --
gradiente requerido. Debido a la diferencia en densidad en-
tre el agua de mar y el agua dulce, se requiere una columna -
de 41 metros de agua dulce para equilibrar una columna de 40
metros de agua salada. Para controlar la intrusión es nece-
sario primeramente determinar el espesor de sedimentos permea-
bles. Posteriormente se construye la barrera de pozos de in-
yección y se provoca la elevación del nivel piezométrico a lo
largo de la línea de pozos, hasta alcanzar una altura de 75 -
centímetros arriba del nivel del mar, por cada 30 metros de -
espesor del acuífero bajo el mismo nivel de referencia. La -
cantidad de agua utilizada para dicho fenómeno puede ser esti-
mada. Después de que en la barrera con pozos de inyección, -
se establece un equilibrio, la cantidad de agua que fluye ha-
cia el acuífero, será la cantidad de agua de mar que intruía
anteriormente, siempre y cuando la explotación de la pla-
nicie se haya conservado igual. Para mantener el balance di-
námico de esta zona, es necesario que exista un pequeño flujo
de agua dulce hacia el mar. La magnitud de este flujo es va-
riable, pero será de alrededor del 10% de la que fluye hacia
el acuífero. El número de pozos requeridos para formar la ba-
rreira dependerá de las características hidráulicas del acuífe-
ro, en especial de la capacidad específica de un pozo de bom-
beo perforado en la zona.

METODO COMBINADO: BARRERA POR POZOS DE BOMBEO BARRERA POR PO- ZOS DE INYECCION.

Este método utiliza la combinación de los dos méto-
dos anteriores. Para ello, la barrera por pozos de bombeo, -
es localizada entre la línea de costa y la zona de explotación
del valle y la barrera por pozos de inyección se ubica tierra
adentro, del otro lado de la zona de explotación. La barrera
combinada, compuesta de los dos sistemas, operando simultánea-
mente, minimizada los efectos de subsidencia y extracción de
agua, así como otros efectos secundarios y permite una mayor
flexibilidad en su operación sobre la de uno solo de los sis-

temas previamente descritos.

NOTA : Para la elaboración de este artículo, se -
utilizaron datos de diferentes textos y trabajos, principal-
mente de los apuntes del curso de hidrología subterránea del
Departamento de Recursos Hidráulicos del Estado de California,
E.U., por Raymond C. Richter.



INTRUSION SALINA SEGUN LA TEORIA DE G. HERZBERG

FIG- 1

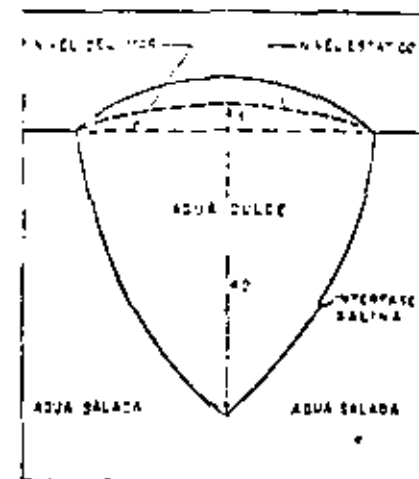
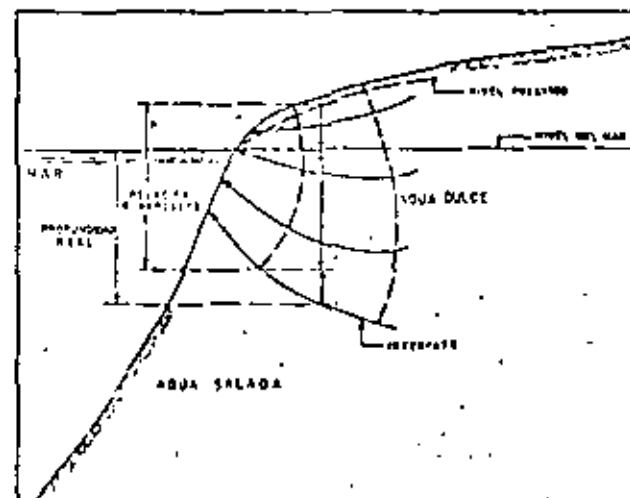
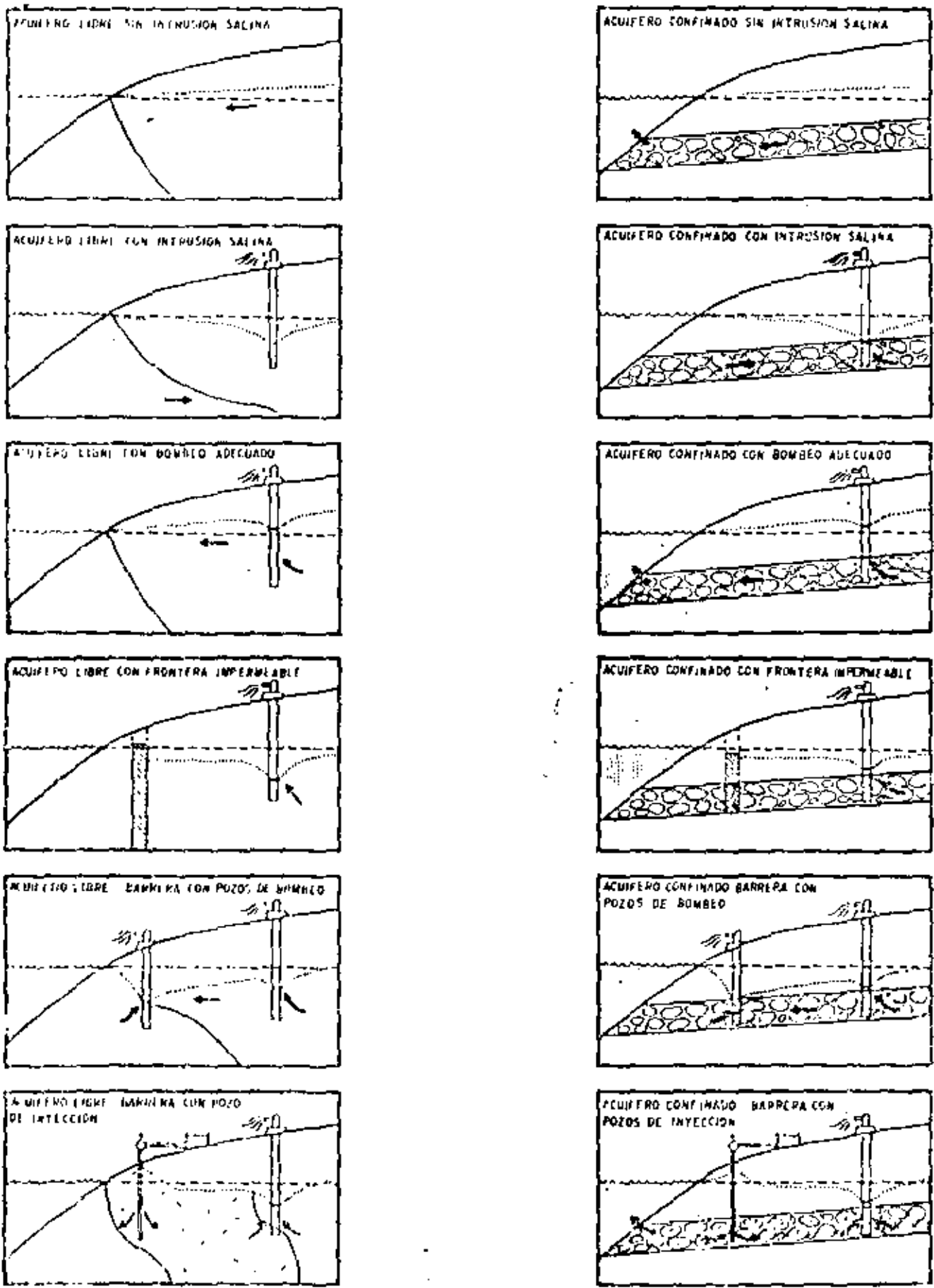


FIG. 2 POSICION DE LA INTERFASE SALINA EN UNA ISLA



DIFERENCIA ENTRE LA PROFUNDIDAD REAL A LA INTERFASE Y LA CALCULADA POR G. HERZBERG.

FIG- 3



NIVEL SUPERFICIE TIERRA NIVEL DEL MAR ---

 AGUA DULCE

 AGUA SALADA

 AGUA INYECTADA

FIG. 4



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA

ING. JORGE E. ALVARADO ORTUÑO

OCTUBRE, 1980

CONTROL Y OPERACION DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS SUBTERRANEAS

SISTEMAS DE CONTROL.

FORMAS DE CONTROL.

BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN
GEOHIDROLÓGICA.

POR ING. JORGE ENRIQUE ALVARADO ORTUNO

EN EL ACTUAL CURSO, SE HAN PRESENTADO
LOS DIFERENTES ASPECTOS REQUERIDOS PARA OBTENER AGUA SUBTERRÁNEA A -
TRAVÉS DE UNA PERFORACIÓN.

SE HAN PERCATADO DE LA IMPORTANCIA QUE
TIENE: LA DEFINICIÓN DE LA LOCALIZACIÓN ADECUADA PARA LA PERFORACIÓN,
A TRAVÉS DEL DICTÁMEN GEOHIDROLÓGICO EN QUE INTERVIENE LA GEOLOGÍA -
SUPERFICIAL, LA GEOFÍSICA PROSPECCIÓN GEOHIDROLÓGICA, FOTINTERPRETA
CIÓN, TRAZADORES, ETC.

SE HAN ESTUDIADO LAS TÉCNICAS DE PERFO
RACIÓN QUE SE DEBEN EMPLEAR PARA CADA FORMACIÓN Y LOS PROBLEMAS DERI
VADOS AL NO UTILIZAR LAS HERRAMIENTAS Y MATERIALES ADECUADOS. ASI--
MISMO SE HA VISTO LO IMPORTANTE QUE ES LA SELECCIÓN DE LOS ADAMES, -
EL ENGRAVADO Y EN ALGUNOS CASOS LA CEMENTACIÓN EN EL POZO. DIFEREN
TES TIPOS DE LIMPIEZA, LOS AFOROS Y LA SELECCIÓN DE LAS BOMBAS.

TAMBIÉN SE HAN ENTERADO DE LAS DICIPLI
NAS Y PROCEDIMIENTOS QUE INTERVIENEN PARA LOS ESTUDIOS DE EVALUACIÓN.

LOS PROBLEMAS QUE SE PRESENTAN Y LOS OBJETIVOS FUNDAMENTALES DE ELLOS, SABIENDO DE ANTEMANO QUE DEL RESULTADO OBTENIDO EN LA EVALUACIÓN DE UNA ZONA PUEDEN DERIVARSE OPINIONES POSITIVAS EN ESA REGIÓN, TALES COMO EL INCREMENTO DE MÁS POZOS, QUE POR ENDE ABRIRAN NUEVAS TIERRAS AL CULTIVO O TAMBIÉN SE PUEDE CONCLUIR EL DE LLEVAR AL EXTREMO NECESARIO DE VEDAR LA ZONA, IMPIDIENDO LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS POZOS A FIN DE PRESERVAR EL ACUÍFERO EL MAYOR TIEMPO POSIBLE Y EN LA FORMA MÁS RECOMENDABLE.

AHORA BIÉN, ENTENDEMOS LA NECESIDAD DE REGISTRAR EN ALGUN LUGAR ESTOS RESULTADOS Y EXPERIENCIAS QUE SEGURAMENTE SERÁN DE UTILIDAD EN EL FUTURO INMEDIATO Y MEDIATO. SI EL TRABAJO SE CONCRETA A UNA SOLA OBRA DE PERFORACIÓN Ó A UNA SOLA ZONA DE EVALUACIÓN, PODEMOS FACILMENTE MEMORIZAR LA HISTORIA DEL ESTUDIO Y EL RESULTADO, ASÍ MISMO EN EL CASO DEL POZO SE RECUERDA LA PROFUNDIDAD, SUS DIÁMETROS DE ADEME, SU CAUDAL Y TODOS LOS DETALLES DE CONSTRUCCIÓN. SI SE TRABAJA CON 100 POZOS YA NO SERÁN MEMORIZADOS LOS DATOS TAN FACILMENTE, ESTANDO SUJETOS A OLVIDOS CONFORME PASA EL TIEMPO. PERO SI HABLAMOS DE 100 ZONAS Ó DE 10, 20 Ó 50,000 POZOS DEFINITIVAMENTE ES IMPOSIBLE QUE PERSONA ALGUNA RECUERDE LOS DETALLES. POR TAL MOTIVO HAY NECESIDAD DE ANOTARLOS EN EXPEDIENTES Y LOCALIZAR LOS EN PLANOS.

EN LA ACTUALIDAD MÉXICO, REQUIERE CONOCER Y PLANEAR LA EXPLOTACIÓN RACIONAL DE SUS MUY IMPORTANTES RESERVAS MINERAS Y PETROLERAS, PERO TAMBIÉN COMO REGLÓN DEFINITIVO, SU POTENCIAL DE AGUA, TANTO SUPERFICIAL COMO SUBTERRÁNEA.

CUANDO LOS TÉCNICOS DE CUALQUIER DISCIPLINA, RELACIONADA CON EL AGUA SUBTERRÁNEA, REQUIEREN DE ALGUNA INFORMACIÓN, SE INICIA UN PROBLEMA QUE GENERALMENTE PARECE INTERMINABLE, SE CONCENTRAN EN UNA ZONA, EN PARTICULAR, Y SE TIENEN QUE APRENDER LA CODIFICACIÓN USADA EN ESE TIEMPO, POR LA INSTITUCIÓN Ó PERSONA QUE LA ELABORÓ, Y CUANDO SE TIENE QUE TRABAJAR A NIVEL NACIONAL, USUALMENTE RESULTABA EL CAOS; DIFERENTES CONSIDERACIONES, DIFERENTES NOMENCLATURAS, DIFERENTES UBICACIONES, DIFERENTES CRITERIOS, DIFERENTES PLANOS, ETC.

PERSONAS CAPACITADAS HABIAN TRATADO DE ORDENAR ESTA INFORMACIÓN DE MUCHAS MANERAS PERO GENERALMENTE SEPARANDO LAS DIVERSAS ZONAS CON SUS DIVERSOS PROBLEMAS.

ASÍ PUES EN ESTA OCASIÓN, SE HABLARÁ DE LA SOLUCIÓN QUE SE HA DADO AL PROBLEMA DE REUNIR LA INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA A NIVEL NACIONAL EN FORMA INTEGRAL Y ADECUADA A ESTA EPOCA, Y A LOS RECURSOS DISPONIBLES. SIN MENOSPRECIAR NUNCA EL ESFUERZO REALIZADO POR PERSONAS E INSTITUCIONES QUE NOS ANTECEDIERON, DADO QUE ESA FUÉ LA BASE DE LA IDEA, CREACIÓN E INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS Y FORMAS DE CONTROL QUE HAN DADO COMO RESULTADO EL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA. ESTE BANCO SEGURAMENTE REGIRÁ POR BASTANTES AÑOS PENSANDO Y DANDO CABIDA A QUE EN EL FUTURO SE PODRÁ AFINAR AÚN MÁS ADICIONANDO CADA VEZ MAS DETALLES. DEBIDO A LA RECOPIACIÓN DE DATOS APORTADOS POR PERSONAS Y TÉCNICOS QUE COMO USTEDES ENTENDERÁN LO VALIOSO Y LA UTILIDAD PRÁCTICA DE CONOCER Y REGISTRAR LOS PORMENORES Y EXPERIENCIAS OBTENIDAS AL DESARROLLAR SUS

TRABAJOS DE PERFORACIÓN Y QUE SI BIEN, ANTERIORMENTE NO HABIA UNA -
 FORMA DE CONTROL NACIONAL AHORA EXISTE UNA PARA SU MANEJO INTEGRAL. -
 DE FORMA TAL QUE PERMITE AGILIZAR LA TOMA DE DECISIONES, EVITANDO -
 ERRORES QUE EN FORMA LOGICA SE COMETIAN POR NO TENER AL ALCANCE LA -
 INFORMACIÓN NECESARIA.

EL BANCO CONTEMPLA 4 FACETAS IMPORTANTES: EN UNA DE ELLAS EL REGISTRO DE LOS APROVECHAMIENTOS DE AGUAS -
 SUBTERRÁNEAS CON TODAS SUS CARACTERÍSTICAS DE CONSTRUCCIÓN LA TERMI-
 NACIÓN, UBICACIÓN Y A QUIEN BENEFICIA. ASÍ COMO LAS FORMACIONES --
 ATRAVEZADAS DURANTE LA PERFORACIÓN Y CALIDADES DE AGUA.

OTRA FACETA ES LA ELABORACIÓN DE DOS -
 PLANOS A NIVEL ESTATAL Y CON LAS CONDICIONES ACTUALES DE EXPLOTACIÓN
 Y LA GEOLOGÍA SUPERFICIAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE ROCA ACUÍFERA.

OTRA FACETA ES LA DE ELABORAR, IMPRI--
 MIP, PUBLICAR Y DIVULGAR PLANOS A NIVEL ZONA GEOHIDROLÓGICA, CON LEN-
 GUAJE ENTENDIBLE A TODA PERSONA COMO GUÍA DE LAS CONDICIONES EN LOS
 ACUÍFEROS Y ZONAS FACTIBLES DE PERFORAR.

LA ULTIMA SE REFIERE A LA CODIFICACIÓN
 Y REGISTRO DE TODOS LOS DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS REVISADOS DE LUGA-
 RES Y SITIOS EN PARTICULAR.

NO ESTÁ POR DEMÁS ASENTAR QUE ESTE -
 BANCO DEBERÁ ESTARSE ACTUALIZANDO, DEBIDO A QUE TANTO LOS ACUÍFEROS

COMO LA CONSTRUCCIÓN DE POZOS, ESTÁ SUJETA A UNA ACTIVIDAD DINAMICA
CONSTANTE.

PASAREMOS A EXPONER EN FORMA RESUMIDA
EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y LOS PASOS DADOS PARA LA INTEGRACIÓN
DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA.

BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEHIDROLOGICA

EL PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

COMO SE HA MENCIONADO A NADIE ESCAPA - LA IMPORTANCIA QUE TIENE EL AGUA COMO FACTOR PARA LA SUPERVIVENCIA, - LA SALUD, EL DESARROLLO AGRÍCOLA, PECUARIO, MUNICIPAL, INDUSTRIAL Y RECREATIVO. EN SÍNTESIS FORMA PARTE INTEGRAL E INDISPENSABLE DE LA VIDA.

ES POR ESTO QUE EN LA ACTUALIDAD, TO-- DOS LOS PUEBLOS DE LA TIERRA, TIENEN UNA SERIA PREOCUPACIÓN POR CONQ CER SUS RESERVAS DE AGUA, SU RENOVACIÓN Y LA UTILIZACIÓN QUE LE DEN Y DEBERÁN DARLE EN EL FUTURO. SE PUEDE MENCIONAR QUE EN LA MAYOR - PARTE DEL MUNDO SE CONOCEN EN FORMA SOMERA O CON GRAN PRECISIÓN, DES DE HACE TIEMPO SUS RECURSOS ACUÍFEROS SUPERFICIALES. EN LA ACTUALI-- DAD SE TIENE YA UNA IDEA DEFINIDA Y CLARA ACERCA DE LA IMPORTANCIA - DE ESTE VITAL LÍQUIDO, ASÍ COMO EL RENDIMIENTO QUE OTORGA EL CONS-- TRUÍR PRESAS GRANDE O PEQUEÑAS A FIN DE RETENER EL AGUA DE ESCURRI-- MIENTOS, PARA SU APROVECHAMIENTO EN DIFERENTES USOS, TRATANDO ASÍ DE OBTENER LOS MAYORES BENEFICIOS.

EN MÉXICO, AL IGUAL QUE EN OTROS PAÍ-- SES, SE CONOCE ESTE RECURSO SUPERFICIAL Y SE HAN CONSTRUIDO MÁS DE - 1,046 PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y 1,348 PRESAS DERIVADORAS, ASÍ COMO UN SIN NUMERO DE BORDOS DE RETENCIÓN, Y SE TIENE YA UN CONOCIMIENTO MUY RAZONABLE DE LAS PRECIPITACIONES EN TODO EL PAÍS.

A TRAVÉS DE PLATICAS ANTERIORES SE LE HA COMENTADO, QUE NO FUE HASTA EL PRESENTE SIGLO EN QUE SE PRODUJERON INQUIETUDES ACERCA DEL CONOCIMIENTO DEL AGUA SUBTERRÁNEA, PUES HASTA ENTONCES LA UTILIZACIÓN DEL AGUA DEL SUBSUELO SE HABÍA LIMITADO A SU PRODUCCIÓN ESPONTÁNEA A TRAVÉS DE NORIAS, TAJOS, GALERÍAS FILTRANTES Y EN MUY RARAS OCACIONES A TRAVÉS DE PERFORACIONES DE POZOS, SIN CONOCER SU CUANTÍA NI RESERVA.

SE HA MENCIONADO TAMBIÉN QUE EL ESTUDIO INTEGRAL DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN EL MUNDO SE HA DESARROLLADO RECIENTEMENTE; LOS TÉCNICOS Y CIENTÍFICOS HAN DEFINIDO MÉTODOS, FORMULAS Y LEYES PARA SU CAPTACIÓN ESTUDIO Y CONOCIMIENTO DEBIDO A LA GRAN UTILIDAD Y BENEFICIO OBTENIDOS, POR UN LADO Y POR OTRO LOS EFECTOS PERJUDICIALES QUE SE OBSERVARON AL EXPLOTAR ESTE ELEMENTO.

¿CUANDO NOS PREGUNTAMOS QUE HA OCURRIDO EN MÉXICO CON NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS? ¿QUÉ TAN IMPORTANTES SON PARA NUESTRO PAÍS? ¿QUÉ TANTO CONOCEMOS DE ELLAS? ¿EN QUE MEDIDA Y PROFUNDIDAD DEBEMOS ESTUDIARLAS?

DEBEMOS RECORDAR QUE EL 63% DEL TERRITORIO NACIONAL ESTÁ COMPUESTO DE ZONAS ÁRIDAS O SEMI-ÁRIDAS Y QUE POR LO TANTO EL RIEGO ES "INDISPENSABLE" EN ESTAS ZONAS, SIENDO NECESARIO EN OTRO 31%, CONVENIENTE EN UN 5% E INECESARIO POR TENER LLUVIA TODO EL AÑO EN UN 1%. SABEMOS TAMBIÉN QUE CUANDO MENOS EL 95% DE NUESTRAS GRANDES CIUDADES, CIUDADES PEQUEÑAS Y POBLADOS, SE ABASTECEN DE AGUA SUBTERRÁNEA.

EN NUESTRA PATRIA LA CAPTACIÓN DE ESTE ELEMENTO HA TENIDO DOS DIFERENTES ASPECTOS, POR UN LADO: LOS AGRICULTORES MEXICANOS, LAS GRANDES CIUDADES Y CENTROS TURÍSTICOS, HAN UTILIZADO CON MUCHO ÉXITO LA EXPLOTACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA, CUANDO LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS SE HAN ENCONTRADO EN BUENAS CONDICIONES PARA LA EXTRACCIÓN, PERO NO HAY QUE OLVIDAR EL OTRO ASPECTO; CUANDO SE ABATEN ESTOS NIVELES A GRAN PROFUNDIDAD SE HACE ANTIECONÓMICA SU EXPLOTACIÓN. EN ZONAS COSTERAS, SE PUEDEN PRESENTAR ADEMÁS DAÑOS IRREVERSIBLES AL BOMBLEAR BAJO EL NIVEL DEL MAR, PROVOCANDO LA INTRUSIÓN DE AGUA SALADA DE MAR TIERRA DENTRO. EN OTRAS OCASIONES SE PROVOCAN GRIETAS EN EL TERRENO Ó HUNDIMIENTO EN GRANDES ÁREAS. TAMBIÉN PUEDEN SER IGUALMENTE DAÑINOS CUANDO ESTOS NIVELES SON DEMASIADO SUPERFICIALES, PROVOCANDO LA SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN DE LOS SUELOS DEJANDO GRANDES ÁREAS SIN PRODUCCIÓN, ASÍ TAMBIÉN SE PUEDEN PRESENTAR PROBLEMAS GRAVES, COMO LOS DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, AL NO CONOCER Y PREVEER ESTE FENÓMENO.

SE ANOTAN SOLAMENTE ALGUNAS ZONAS COMO EJEMPLO DE CADA UNO DE ESTOS FENÓMENOS EN EL PAÍS:

DE SOBRE-EXPLOTACIÓN: LA ZONA LAGUNERA EN COAHUILA Y DURANGO:

DE INTRUSIÓN SALINA: VALLES DE NOROESTE Y CALIFORNIA.

DE HUNDIMIENTOS Y GRIETAS: EL VALLE DE MÉXICO.

DE SALINIZACIÓN POR EVAPOTRANSPIRACIÓN: LA REGIÓN DE RÍO VERDE S.L.P.

DE CONTAMINACIÓN: LA PENÍNSULA DE YUCATÁN.

SEGÚN CALCULOS MUY GENERALES DE LA DIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE ESTIMA QUE EXISTEN ALREDEDOR DE UNOS 100,000 POZOS EN LA REPÚBLICA, CONCENTRADOS EN EL CENTRO Y NORTE DEL PAÍS Y QUE LA PRODUCCIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA ALCANZA UNA CIFRA DEL ORDEN DE 13,600 MILLONES DE METROS CÚBICOS AL AÑO.

POR LAS CONSIDERACIONES ANTERIORES, REQUERIMOS DE TENER UN AMPLIO CONOCIMIENTO EN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS ACUÍFEROS EN TODOS Y CADA UNO DE LOS ESTADOS DEL INTERIOR, ATENDIENDO A SUS DIMENSIONES, ALIMENTACIÓN Y RESERVAS ALMACENADAS. SU CANTIDAD, FORMA Y DISTRIBUCIÓN DE LOS POZOS DE EXPLOTACIÓN, CON EL MAYOR NÚMERO DE CARACTERÍSTICAS POSIBLES QUE NOS PERMITA CON EL ESTUDIO DE TODOS ESTOS ELEMENTOS, PLANIFICAR LA UTILIZACIÓN "RACIONAL" ACTUAL Y FUTURA DEL POTENCIAL DE AGUA SUBTERRÁNEA COMO RECURSO VITAL PARA LA ECONOMÍA DEL PAÍS, A FIN DE PODER PLANEAR SU EXPLOTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN MÁS ACERTADA.

ACTUALMENTE VARIAS DEPENDENCIAS GUBERNAMENTALES E INSTITUCIONES, PERFORAN APROXIMADAMENTE EL 70% DE LOS POZOS EN EL PAÍS; EL 30% RESTANTE LOS CONSTRUYEN INDUSTRIAS Y PARTICULARES. LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE EVALUACIÓN LOS REALIZA CASI EN SU TOTALIDAD EL GOBIERNO FEDERAL.

AHORA BIÉN, CADA DEPARTAMENTO, INSTITUCIÓN, EMPRESA O PARTICULAR, CONSCIENTES DE LA IMPORTANCIA QUE REÚNE EL TENER LOS INFORMES DE SUS CAPTACIONES, GENERALMENTE LOS GUARDA. AL IGUAL QUE LAS CONSTRUCTORAS TIENEN DATOS AL MENOS PARA EL PAGO DE

SUS TRABAJOS ARCHIVAN RECIBOS, ESTIMACIONES DE OBRAS O FACTURAS, PERO OCURRE QUE CADA UNO GUARDA PARA SÍ LOS DATOS QUE CONSIDERA DE "SU" UTILIDAD, DESHECHANDO LOS QUE NO LE SIRVEN, DESCONOCIENDO LO IMPORTANTE QUE ES PARA LOS ESTUDIOS Y CENSOS DE "GRAN VISIÓN", EL CONTAR CON LOS ANTECEDENTES HASTA EL MÍNIMO DETALLE DE LAS CONDICIONES EN LOS APROVECHAMIENTOS.

HAY UN GRAN NÚMERO DE INFORMACIÓN DISPERSA EN TODO EL PAÍS, ORDENADAS EN MUY DIFERENTES TIPOS Y AUNQUE EN LO GENERAL SON LOS MISMOS DATOS, ES NECESARIO SISTEMATIZARLA EN FORMATOS BIEN DEFINIDOS QUE PUEDAN SER CONCENTRADOS Y MANEJADOS, EVITANDO CONFUSIONES, Y COMPLICACIONES A LOS TÉCNICOS EN GEOHIDROLOGÍA. EN GENERAL, SE DA EL CASO, QUE EN VARIAS INSTITUCIONES TIENEN DETALLES VALIOSOS CON DIVERSOS ORDENAMIENTOS, LOCALIZADOS EN COORDENADAS, EJES O CUADROS DISEÑADOS PARA UNA ZONA EN PARTICULAR SIN OBEDECER HASTA EL MOMENTO UN ORDEN NACIONAL. ADEMÁS ES COMUN QUE LA INFORMACIÓN DISPERSA EN CADA OFICINA, SE CLASIFICAN NUEVAMENTE Y EN OTRA FORMA.

EN EL SEGUNDO MES DE 1979 SE TIENE CUBIERTO CON ESTUDIOS DE EVALUACIÓN, CERCA DE LA CUARTA PARTE DEL PAÍS 500,000 Km^2 Y OTRA CUARTA PARTE DE MÉXICO, CON RECORRIDOS DE RECONOCIMIENTOS GENERALES, HACIENDO UN TOTAL DE 1'000,000 Km^2 , CONTRA LOS 2'000,000 Km^2 QUE EN NÚMEROS REDONDOS TENEMOS POR ESTUDIAR.

EL ACERVO DE DATOS OBTENIDOS QUEDA ASENTADO EN LAS 2,500 PERFORACIONES QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE

HAN CONSTRUÍDO, CON UNA LONGITUD DEL ORDEN DE 500,000 MTS., ASÍ COMO EN LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS DESDE EL PUNTO DE VISTA DE EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS, CON LOS CENSOS RESPECTIVOS DE POZOS Y LOS 3,000 DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS EN SITIOS PARTICULARES. CON ESTOS TRABAJOS EL PAÍS SE ENCUENTRA CON UNA MUY BUENA PORCIÓN YA ESTUDIADA Y CONOCIDA, TENIENDO DATOS FIDÉLIGNOS DE APROVECHAMIENTOS, HACIENDO UN TOTAL DE 60,000 EN FORMA GENERAL, DE ESTOS YA SE HAN CODIFICADO APROXIMADAMENTE 35,000.

POR ESTAS RAZONES SE DETERMINÓ TOMAR DE INMEDIATO, ACCIÓN FIRME Y DECIDIDA PARA LA INTEGRACIÓN Y FORMACIÓN DEL "BANCO NACIONAL DE INFORMACION GEOHIDROLOGICA".

ACTUALMENTE LA SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS A TRAVÉS DE LA SUBDIRECCIÓN DE GEOHIDROLOGÍA Y DE ZONAS ÁRIDAS, SE HA PREOCUPADO POR RECOPIRAR TODA LA INFORMACIÓN DISPERSA EN MATERIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS ORDENÁNDOLA EN DOS FORMATOS QUE HAN TOMADO BASTANTE TIEMPO ACEPTAR (FIGS. 1 Y 2), CONTANDO CON MÁS DE 120 ANOTACIONES, SIENDO 73 DATOS INDEPENDIENTES Y EFECTIVOS, CONTEMPLANDO TODOS Y CADA UNO DE LOS ASPECTOS DE INTERÉS PARA LA GRAN DIVERSIDAD DE TAREAS Y TRABAJOS QUE REALIZAN LAS DIFERENTES INSTITUCIONES. PARA EL MANEJO DE ESTE GRAN NÚMERO DE DATOS, SE RECURRIÓ AL USO DE COMPUTADORAS.

DE PRIMORDIAL IMPORTANCIA FUE LA DE DAR UN "NÚMERO ÚNICO" ADICIONAL A CADA APROVECHAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA LLÁMESE POZO, NORIA, TAJO, MANANTIAL, GALERÍA FILTRANTE, ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA, ETC., CONSIGNANDO DESDE LUEGO EL NÚMERO O CLAVE

CON EL QUE SE CONOCE ACTUALMENTE Y SU NÚMERO DE REGISTRO NACIONAL.

MUY IMPORTANTE FUE LA LOCALIZACIÓN --
POR COORDENADAS Y SU ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR, ADEMÁS DE --
LOS DATOS QUE SE ANOTAN EN LAS FORMAS ELABORADAS PARA ESTE FIN.

SE PLANTEÓ ESTE FORMATO DE MANERA QUE
CON LAS COORDENADAS Y NÚMERO ÚNICO PERMITA QUE EN EL PROCESO DE PRO
DUCCIÓN EN LA COMPUTADORA MARQUE SU UBICACIÓN, EN PLANOS DIBUJADOS
POR ELLA MISMA A LAS ESCALAS CONVENIENTES, DE ESTA MANERA SE DETEC
TA DE INMEDIATO SI HAY DUPLICIDAD DE UN MISMO APROVECHAMIENTO. ASÍ
MISMO AL TENER EL NÚMERO ÚNICO, UN POZO POR EJEMPLO, AL SER RELOCA
LIZADO O CANCELADO, ESTE NÚMERO ÚNICO QUEDA REGISTRADO DANDO OTRO -
AL NUEVO APROVECHAMIENTO RELOCALIZANDO, AUNQUE SEA EN EL MISMO PRE
DIO, LO CUAL EVITARÁ TAMBIÉN CONFUSIONES PUES QUEDARÁN ALMACENADOS
EN LA COMPUTADORA LOS INFORMES DEL ANTIGUO Y EL NUEVO POZO.

LA COMPUTADORA NOS INDICARÁ LAS ZONAS
MÁS DENSAMENTE CUBIERTAS DE APROVECHAMIENTOS PERMITIENDO TENER UNA
IDEA GENERAL ESTATAL O NACIONAL DE ESTA SITUACIÓN. CABE MENCIONAR
TAMBIÉN QUE SE ANOTARÁ ADEMÁS DEL ESTADO, EL MUNICIPIO, EL EJIDO O
PEQUEÑA PROPIEDAD, CUENCA O SUB-CUENCA GEOHIDROLÓGICA; ADEMÁS SE -
PUEDE TRABAJAR CON LA UBICACIÓN EN LOS 31 ESTADOS, LOS 2,394 MUNICI
PIOS DEL PAÍS Y LOS 21,556 EJIDOS, CON LA SUPERFICIE TOTAL, LA SU
PERFICIE CULTIVADA Y LAS FAMILIAS QUE LOS INTEGRAN.

ESTOS DATOS Y LOS DEMÁS DEBERÁN ACTUA
LIZARSE AÑO CON AÑO.

EL SISTEMA HA SIDO ADAPTADO PARA PRODUCIR LOS MÁS DIVERSOS LISTADOS Y COMBINACIONES QUE EN UN MOMENTO DADO SE PUEDAN NECESITAR PODREMOS DE TAL FORMA SOLICITAR AL BANCO, DIFERENTES TIPOS DE INFORMACIÓN GENERAL TALES COMO: LA CANTIDAD DE POZOS EN ROCAS CALIZAS O BASÁLTICAS O DE RELLENO, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE POZOS DE 4, 6, 12 Y 16 PULGADAS EN EL PAÍS Y EN QUÉ LUGARES SE ENCUENTRAN, O TAMBIÉN SE PODRÁ PREGUNTAR POR EJEMPLO, EL NÚMERO DE POZOS CON ELEVACIONES ENTRE 1.000 Ó 1.200 MTS. SOBRE EL NIVEL DEL MAR O CUALQUIER ELEVACIÓN QUE SE REQUIERA. TAMBIÉN CUÁLES Y CUÁNTOS POZOS TIENEN MÁS DE 1.000 Ó 1.500 PPM DE SÓLIDOS TOTALES DISSUELTOS Y SU UBICACIÓN O CUÁLES TIPOS O MARCAS DE BOMBAS EXISTEN EN OPERACIÓN.

SEGURAMENTE SE PENSARÁ EN LA DIFICULTAD QUE SE ENFRENTA AL TRATAR DE LLENAR EN TODAS SUS PARTES LOS FORMATOS. PUES ALGUNOS INFORMES LOS TENDREMOS A LA MANO, PERO QUIZÁ OTROS NO. SE PLANEÓ PARA ESTOS CASOS, EL CONSIGNAR UN DATO ESTIMADO (SE ANOTA CON ASTERISCO) DEBIDO A QUE EN LA ACTUALIDAD HAY TÉCNICOS MUY CALIFICADOS EN CADA ESTADO QUE CONOCEN EN FORMA GENERAL SU ÁREA DE TRABAJO, POR TANTO LOS DATOS APROXIMADOS DE ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR, PRODUCCIÓN DE LOS POZOS, TIPO DE ROCA Y SU PROFUNDIDAD, ETC., PODRÁ FÁCILMENTE ESTIMARSE CON RELATIVA SEGURIDAD A RESERVA DE RATIFICARLOS POSTERIORMENTE QUITANDO ENTONCES EL ASTERISCO. EN ESTA FORMA SE PUEDE YA TRABAJAR CON LOS DATOS SEGUROS Y LOS ESTIMADOS, OBTENIENDO LAS CIFRAS RESPECTIVAS.

DEBIDO A LOS ESPACIOS REDUCIDOS QUE CABEN EN LAS COMPUTADORAS HUBO NECESIDAD DE ELABORAR SIETE INSTRUC-

TIVOS PARA LA FORMULACION DE LAS HOJAS BNI-1 Y BNI-2 (BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN 1 Y 2) A FIN DE EVITAR CONFUSIONES Y AGILIZAR LAS ANOTACIONES DEBIENDO CONTINUAR LA SIGUIENTE SECUELA PARA SU MANEJO:

(AUDIOVISUAL ILUSTRATIVO A LO SIGUIENTE)

DEBIDO A LO ARIDO DEL TEMA Y A FIN DE AGILIZAR Y HACER MAS AMENA ESTA PARTE TAN DETALLADA -DE LA PLATICA-, EN ESTE AUDIOVISUAL SE DAN SOLAMENTE ALGUNOS EJEMPLOS PARA EL LLENADO DE FORMAS.

Es importante asentarse nuevamente que el Banco de Información, no tiene como finalidad solamente archivar la información, que en un momento dado, sólo sirve para engrosar y trastornar más los archivos, las gavetas y los almacenes en las oficinas, es necesario obtener de las computadoras la mayor utilidad posible, poniéndolas a trabajar en beneficio de los programas y planes actuales y futuros, solicitando los datos con toda la gama de alternativas posibles que faciliten al técnico razonar y manejar la información, así como decidir la forma más acertada de plantear y llevar a cabo sus proyectos, las computadoras fueron fabricadas para agilizar los trabajos con el mínimo de errores.

En resumen, los técnicos deberán saber que van a preguntar a la computadora de acuerdo con el proyecto a realizar.

Se ha mencionado la importancia y utilidad que tiene el que a la misma computadora pueda dibujar por si sola los planos a escalas más convenientes y que al mismo tiempo pueda detectar, (de existir) errores en cuanto a la ubicación por medio de coordenadas, permitiendo de este modo la corrección de los mismos.

CON LA PROGRAMACIÓN Y AVANCE LOGRADO ES POSIBLE EN LA ACTUALIDAD OBTENER EL DIBUJO DE LA REPÚBLICA MEXICANA, - DE CUALQUIER ESTADO DEL PAIS, ASÍ COMO LA AMPLIFICACIÓN DE ALGUNA ZONA EN PARTICULAR PROPORCIONANDO LAS COORDENADAS REQUERIDAS, AL MISMO TIEMPO UBICA LOS APROVECHAMIENTOS QUE TENGA ALMACENADOS.

CABE RESALTAR COMO UN COMENTARIO MUY IMPORTANTE QUE LOS DATOS ACUMULADOS EN LA COMPUTADORA Y LOS RESULTADOS - QUE NOS PROPORCIONE SERÁN EXCLUSIVAMENTE AQUELLOS CON LOS CUALES LA - ALIMENTAMOS, ES DECIR "SI LOS DATOS INICIALES SON ERRONEOS" LOGICAMENTE NOS PRODUCIRÁ INFORMACIÓN ERRÓNEA DE AQUI QUE SE DEBERÁ TENER SUMO CUIDADO AL RÉCABAR Y ALIMENTAR CON LA INFORMACIÓN ADECUADA PARA LOGRAR UN ALTO ÍNDICE DE CONFIABILIDAD EN EL BANCO DE INFORMACIÓN.

POR OTRO LADO CONVIENE RECORDAR LAS PALABRAS DE UN EXCELENTE GEOHIDRÓLOGO QUE EN RELACIÓN A LAS COMPUTADORAS - EXPUSO: "LA COMPUTADORA POR GRANDE Y ELABORADA QUE SEA, NO ES MAS QUE UNA HERRAMIENTA ÚTIL QUE, ATENTA A LAS INSTRUCCIONES CONTENIDAS EN UN PROGRAMA QUE SE LE PROPORCIONE, PROCESA EFICAZMENTE LOS DATOS CON LOS QUE SE ALIMENTE, SIN QUE PUEDA DISCERNIR SI EL PROGRAMA Y LOS DATOS - SON LOS ADECUADOS AL PROBLEMA QUE SE PRETENDE RESOLVER. DE AQUI QUE LA FACULTAD PENSANTE CONTINUA SIENDO PRIVATIVA DEL ESPECIALISTA, PERO TAMPOCO PRETENDA SER TAN AVISADO QUE NO NECESITE DATOS Y MEDIDAS, HIPÓTESIS, CÁLCULOS Y COMPROBACIONES PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS.

LA EXPOSICIÓN ES MUY CLARA !NUNCA UNA MÁQUINA SUBSTITUIRÁ AL TÉCNICO! SIEMPRE SERÁ NECESARIO LA INTERVENCIÓN - DEL GEOHIDRÓLOGO PARA CADA ESTUDIO Ó DICTÁMEN EN LO PARTICULAR, LOS - DATOS RECABADOS SERVIRÁN EN UNA GRAN MEDIDA COMO ORIENTACIÓN RÁPIDA Y AGILIZACIÓN EN LA TOMA DE DECISIONES PREVIO ANÁLISIS, ESTUDIOS APLICACIÓN DEL CRITERIO Y EXPERIENCIA PARA LA SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS.

UNA VEZ EXPUESTOS LOS PLANTEAMIENTOS EN CUANTO A LA UTILIDAD, METODOLOGÍA, INSTRUCTIVOS Y CATÁLOGOS DE CLAVES EN SU PARTE CORRESPONDIENTE A LA RECOPIACIÓN DE DATOS, QUE PERMITE TRABAJAR A LA COMPUTADORA, PASAMOS A LA OTRA FACETA DE TRABAJO.

EL BANCO DE INFORMACIÓN NO SOLAMENTE CONTEMPLA LA RECOPIACIÓN DE DATOS Y SU REPRODUCCIÓN EN LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA, SINO QUE ADEMÁS PREVÉ LA ELABORACIÓN DE OTRO TIPO DE PLANOS ESTATALES Y DE LA REPÚBLICA QUE ORIENTA EN FORMA ACCESIBLE AUNQUE DESDE EL PUNTO DE VISTA MUY GENERAL SOBRE LA SITUACIÓN QUE GUARDA EL PAÍS EN ESTA MATERIA. PARA TAL FIN SE TRABAJA INTENSAMENTE EN LA FORMACIÓN DE PLANOS BAJO TRES ASPECTOS PRIMORDIALES:

- I.- PLANOS DE EXPLORACIÓN O GEOLOGÍA SUPERFICIAL.
- II.- PLANOS DE CUANTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS.
- III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA CON DATOS FÁCILES DE INTERPRETAR EN ZONAS ESPECÍFICAS.

I.- PLANOS DE EXPLORACION

ESTOS PLANOS LLAMADOS TAMBIÉN GEOLOGÍA SUPERFICIAL (FIG. 1) CONTEMPLA LA REPRESENTACIÓN DE LAS ROCAS ACUÍFERAS O ROCAS PERMEABLES SUSCEPTIBLES DE EXTRACCIÓN DE AGUAS SUBTERRÁNEAS, HABIENDO SIDO CLASIFICADAS COMO:

- 1).- ACUÍFEROS EN RELLENOS.
- 2).- ACUÍFEROS REGIONALES TERCIARIOS.
- 3).- ACUÍFEROS REGIONALES EN ROCAS CALIZAS.

Y PRESENTAN TAMBIÉN LAS PERFORACIONES DIRECTAS QUE CON FINES EXPLORATORIOS SE HAN REALIZADO A LA FECHA, ESTAS PERFORACIONES VAN DE LOS 50 A LOS 1,500 MTS. SE CUENTA CON LA INFORMACIÓN METRO A METRO EN LO QUE SE REFIERE A MUESTRAS Y CORTES LITOLÓGICOS, REGISTROS ELÉCTRICOS, CALIDADES DE AGUAS, GASTO, NIVEL ESTÁTICO Y DINÁMICO, ASÍ COMO CAUDAL ESPECÍFICO, AFOROS Y PRUEBAS DE BOMBEO CON LOS PARÁMETROS DE TRANSMISIBILIDAD Y EN OTROS MUCHOS CASOS TAMBIÉN ALMACENAJE. ESTE TIPO DE REPORTES SE ENCUENTRAN FORMANDO PARTE DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA Y DE ZONAS ÁRIDAS EN OFICINAS CENTRALES Y SUS RESIDENCIAS ESTATALES CON LA INFORMACIÓN DE MÁS DE 2,500 PERFORACIONES EXPLORATORIAS. ESTE TIPO DE INFORMACIÓN ORIENTA YA A LOS USUARIOS Y DEPENDENCIAS A PERFORAR O NO DETERMINADAS ZONAS DEL PAÍS, SABIENDO DE ANTEMANO LA PROFUNDIDAD Y DIÁMETROS ADECUADOS, LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS POR ATRAVESAR Y PROGRAMA TAMBIÉN EL COSTO APROXIMADO DE LA OBRA, ESTO EN LAS ZONAS ESTUDIADAS Y CONOCIDAS.

FIG. 1

II.- PLANOS DE CUANTIFICACIONES

ESTOS PLANOS REPRESENTAN LOS RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS DE CUANTIFICACIÓN O EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS (FIG. II) REPORTANDO EN RESUMEN LA CANTIDAD DE AGUA EXTRAÍDA EN LA ZONA DE ESTUDIO, LA CANTIDAD RECARGADA EN LA MISMA, LA CALIDAD DE AGUA EN PARTES POR MILLÓN, ASÍ COMO LA CANTIDAD QUE CONTIENEN LOS ACUÍFEROS DEL LUGAR, ESTAS CIFRAS SE DAN EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES Y REPORTAN SI EL ÁREA ESTÁ SOBRE-EXPLOTADA EN EQUILIBRIO O SUB-EXPLOTADA. EN LA MAYORÍA DE LAS 124 ZONAS ESTUDIADAS SE CUENTA YA CON CIFRAS CONSIGNADAS EN ESTE TIPO DE ESTUDIOS. AL INSERVAR EN CONJUNTO

LAS ÁREAS EVALUADAS SE PROGRAMARÁN LAS PRIORIDADES NECESARIAS PARA LA CONTINUACIÓN DE LA EVALUACIÓN DE ACUÍFEROS EN EL PAÍS, A TRAVÉS DE ESTUDIOS EN ÁREAS DEBIDAMENTE APROBADAS Y DE PREFERENCIA QUE SIGAN UNA CONTINUIDAD DENTRO DEL MARCO NACIONAL.

CON ESTOS PLANOS TAMBIÉN SE ORIENTA EN FORMA SEGURA Y DECIDIDA A USUARIOS E INSTITUCIONES A TRAVÉS DE ESTOS ESTUDIOS SOBRE LA CONVENIENCIA O NO DE EFECTUAR MÁS EXPLOTACIONES EN DETERMINADA ÁREA. EN ZONAS CON MAYOR CALIDAD DE ESTUDIOS SE PUEDE PROPORCIONAR EL NÚMERO, CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE POZOS A CONSTRUIR, ASÍ COMO LA CANTIDAD DE METROS CÚBICOS POR EXPLOTAR. HASTA EL MOMENTO SE HAN REGISTRADO LA FACTIBLE PERFORACIÓN DE 5,000 PERFORACIONES NUEVAS EN DIFERENTES ZONAS.

LA INTERRELACIÓN DE ESTOS PLANOS Y LOS PLANOS DIBUJADOS POR LA COMPUTADORA AL SER TRASLADADOS EN HOJAS TRANSPARENTES, PERMITIRÁ VER CON UNA MAYOR CLARIDAD LA SITUACIÓN GEOHIDROLÓGICA DEL PAÍS O DE REGIONES PARTICULARES, VISUALIZANDO DE ESTA FORMA LOS LUGARES FACTIBLES DE EXPLOTACIÓN PARA BENEFICIO DE MÉXICO QUE COMO FUENTE MUY IMPORTANTE PARA SU DESARROLLO ES OBTENER PRIMERO EL CONOCIMIENTO DEL POTENCIAL ACUÍFERO Y DESPUÉS EFECTUAR UN APROVECHAMIENTO RACIONAL PROGRAMADO DEL AGUA SUBTERRÁNEA EN TODO SU TERRITORIO. POR LAS CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS, OROGRÁFICAS Y GEOLÓGICAS DEL PAÍS, EN ALGUNAS ZONAS ES PROPIAMENTE UN RECURSO NO RENOVABLE Y EN OTRAS TIENE UN ALTO ÍNDICE DE RENOVACIÓN.

EL ESTUDIO DE ZONAS FACTIBLES PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS SERÁ OTRA FUNCIÓN IMPORTANTE DEL BANCO DE INFORMACIÓN, ASÍ COMO EL MANEJO COMBINADO DE AGUAS SUPERFICIALES CON LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS.

III.- PLANOS DE ZONA GEOHIDROLÓGICA

AL PROYECTAR UN DESARROLLO DE CUALQUIER TIPO, UN ASPECTO PRIMORDIAL QUE DEBE CONSIDERARSE ES SU ABASTECIMIENTO PERMANENTE DE AGUA. SI LA PROBABLE FUENTE DE ABASTECIMIENTO ES EL SUBSUELO, LOS USUARIOS POTENCIALES DEL RECURSO HIDRÁULICO (DEPENDENCIAS OFICIALES, EMPRESAS DESCENTRALIZADAS, GRUPOS EJIDALES, PARTICULARES, ETC) SE ENCUENTRAN COMO LO HEMOS EXPRESADO, CASI SIEMPRE CON UNA SERIA DIFICULTAD: DESCONOCEN CUÁLES SON LAS FUENTES DE INFORMACIÓN QUE PUEDEN CONSULTAR PARA SABER EN QUÉ ZONAS EXISTE AGUA EN CANTIDAD SUFICIENTE Y DE CALIDAD ADECUADA PARA SUS FINES, O BIEN SI EN UNA ÁREA ESPECÍFICA EXISTEN CONDICIONES FAVORABLES PARA EXTRAER ECONÓMICAMENTE DETERMINADAS CANTIDADES DE AGUA SUBTERRÁNEA.

ÁNTE LA APARENTE FALTA DE INFORMACIÓN EL USUARIO SELECCIONA SIN BASES TÉCNICAS EL EMPLAZAMIENTO DE SU DESARROLLO Y DE SUS CAPTACIONES. EL RESULTADO SUELE SER DESFAVORABLE, ACARRÉANDOLE A MENUDO PROBLEMAS Y PERJUICIOS ECONÓMICOS: LAS CAPTACIONES RESULTAN MUY COSTOSAS O DE BAJO RENDIMIENTO, LA CALIDAD DEL AGUA NO ES SATISFACTORIA, LOS ACUÍFEROS NO TIENEN POTENCIALIDAD SUFICIENTE PARA PROPORCIONAR EN FORMA PERMANENTE EL CAUDAL REQUERIDO, ETC. PARADÓJICAMENTE, CUANDO SE TRATA DE DESARROLLOS IMPORTANTES, ES COMÚN QUE EL ASPECTO ABASTECIMIENTO DE AGUA SE ESTUDIE DESPUÉS DE QUE SE HAN INICIADO LAS OBRAS O INSTALACIONES, DE MANERA QUE SI NO ES FACTIBLE DISPONER LOCALMENTE DEL AGUA REQUERIDA, EL USUARIO NO TIENE MÁS QUE OPTAR POR UNA DE DOS ALTERNATIVAS: SUMINISTRAR EL AGUA DESDE DONDE SEA Y AL COSTO QUE SEA O PERDER LA INVERSIÓN YA REALIZADA.

EXISTE ADEMÁS UN DESCONOCIMIENTO GENERAL DE CUALES SON LOS TRÁMITES LEGALES O ADMINISTRATIVOS QUE DEBEN EFECTUARSE PARA OBTENER LA CONCESIÓN CORRESPONDIENTE, E INCLUSO MUCHAS VECES SE INGORA QUE DEBEN EFECTUARSE CIERTOS TRÁMITES. COMO CONSECUENCIA DE ELLO UN GRAN NÚMERO DE CAPTACIONES SE CONSTRUYEN SIN HABER SIDO AUTORIZADAS NI REGISTRADAS, LO QUE IMPIDE TENER UN CONOCIMIENTO MÁS O MENOS REAL Y ACTUALIZADO DEL RÉGIMEN DE EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS.

EN REALIDAD HEMOS COMENTADO QUE LA ESCASES DE INFORMACIÓN NO ES TAN CRÍTICA. EN EFECTO, SE HAN DADO A CONOCER LOS ESTUDIOS GEOHIDROLÓGICOS A DIFERENTES NIVELES DE DETALLE REALIZADOS A LA FECHA, MEDIANTE LOS CUALES SE TIENE CONOCIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS Y POTENCIALIDAD DE LOS ACUÍFEROS DE UN GRAN NÚMERO DE ZONAS DISTRIBUIDAS EN EL PAÍS. LOS RESULTADOS DERIVADOS DE LOS ESTUDIOS SE HAN DADO A CONOCER, PROPORCIONANDO EJEMPLARES DE LOS INFORMES RESPECTIVOS A LAS PRINCIPALES DEPENDENCIAS INVOLUCRADAS EN EL ESTUDIO, EXPLOTACIÓN Y MANEJO DE LOS RECURSOS HIDRÁULICOS SUBTERRÁNEOS. SIN EMBARGO, PUESTO QUE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS DICHOS INFORMES SON MUY VOLUMINOSOS Y, POR LO MISMO, SU EDICIÓN IMPLICA UN ALTO COSTO, GENERALMENTE SÓLO SE PRODUCE UN NÚMERO LIMITADO DE ELLOS; SU DIFUSIÓN, POR CONSIGUIENTE, NO ES BASTANTE AMPLIA Y, ES COMUN QUE ESTE CONSTREÑIDA AL SECTOR OFICIAL O, AÚN MÁS A LAS DEPENDENCIAS DE ESTA SECRETARÍA.

POR OTRA PARTE, EL PROBLEMA NO SE RESUELVE DANDO MAYOR DIFUSIÓN A LOS ESTUDIOS REALIZADOS, PUES SU CONTENIDO ESTÁ EXPRESADO EN UN LENGUAJE TÉCNICO, DIFÍCILMENTE COMPRESIBLE PARA EL SUSUARIO COMÚN Y CORRIENTE.

DE TODO LO ANTERIOR SE INFIERE LA GRAN UTILIDAD QUE TENDRÍA EL DAR A CONOCER LA INFORMACIÓN RELATIVA AL RECURSO HIDRÁULICO SUBTERRÁNEO, EN UNA FORMA TAL QUE FUERA ACCESIBLE A LOS USUARIOS POTENCIALES DE TODO NIVEL. PARA EL EFECTO, SE INICIO LA ELABORACIÓN DE CARTAS QUE CONTENGAN LOS DATOS ESSENCIALES PARA PROPORCIONAR UNA IDEA APROXIMADA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS QUE PREVALECE EN EL SUBSUÉLO DE NUESTRO TERRITORIO.

ESTAS CARTAS REPRESENTAN ZONAS GEOHIDROLÓGICAS EN PARTICULAR, MOSTRANDO AQUELLOS DATOS QUE DEN RESPUESTA EN UNA FORMA PRÁCTICA, CLARA Y SENCILLA A LAS PREGUNTAS GENERALES QUE SE HACE EL USUARIO, PUDIENDO SER ENUMERADOS COMO SIGUE: LOCALIZACIÓN DE SITIOS FACTIBLES DE PERFORACIÓN, PROFUNDIDAD DEL NIVEL ESTÁTICO, CALIDAD DE AGUA Y TRANSMISIBILIDAD DEL ACUÍFERO.

EN EL REVERSO DEL PLANO SE CONSIGNA UNA INFORMACIÓN TEXTUAL DE CARÁCTER GENERAL CON LAS NOTAS ACLARATORIAS AL PLANO, ASÍ COMO BREVES ANOTACIONES RELATIVAS A LOS ASPECTOS LEGALES Y ADMINISTRATIVOS, REQUERIDOS PARA OBTENER EL PERMISO DE PERFORACIÓN.

SE DESCRIBE EN FORMA GENERAL EL ÁREA CUBIERTA CON LA CARTA Y LA UNIDAD GEOHIDROLÓGICA, ASÍ COMO LAS CONDICIONES DEL ACUÍFERO EN CUANTO A ESPESOR, MATERIALES QUE LO CONSTITUYEN, LAS FRONTERAS LATERALES Y VERTICALES, ETC.

CON ESTAS GUÍAS SERÁ FACTIBLE EN LA MAYORÍA DE LOS CASOS, QUE EL USUARIO programe LA PROFUNDIDAD DEL POZO Y EL COSTO DE SEADO.

ESTA FACETA SE ESTA INICIANDO Y SE ESPERA QUE EN BREVE TIEMPO Y DE ACUERDO CON LOS PRESUPUESTOS OTORGADOS PUE-
DAN PUBLICARSE EL MAYOR NÚMERO DE ESTAS CARTAS GEOHIDROLÓGICAS, DEBI-
DO A QUE EL FACTOR PRINCIPAL QUE SON LOS DATOS, YA SE CUENTA CON --
ELLOS.

DICTAMENES GEOHIDROLÓGICOS

FRECUENTEMENTE LOS CAMPESINOS SEAN EJIDATA-
RIOS, COMUNEROS O PARTICULARES, ASÍ COMO INDUSTRIALES O DEPENDENCIAS
FEDERALES, SOLICITAN A TRAVÉS DE ESCRITOS O VERBALMENTE LES SEA INDI-
CADO, SI EN UN LUGAR O SITIO EN PARTICULAR, ES FACTIBLE REALIZAR UNA -
PERFORACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA, EXPONIENTE SUS NE-
CESIDADES.

EL PROCEDIMIENTO PARA CONTESTAR ESTA PREGUN-
TA, CONSISTE EN LA VISITA DE UN GEÓLOGO EXPERIMENTADO, QUE HABIENDO -
REUNIDO PREVIAMENTE LA INFORMACIÓN DEL LUGAR EN CUESTIÓN, LO ANALIZA
Y SE TRANSLADA FÍSICAMENTE. EN EL SITIO ESTUDIADO EMITE UN DICTÁMEN
ACERCA DE LAS CONDICIONES GEOHIDROLÓGICAS LOCALES, CONCLUYENDO EN LA
POSIBILIDAD O NO, DE SER POSIBLE (CON INFORMACIÓN ADICIONAL) EL RANGO --
APROXIMADO DE EXTRACCIÓN Y PROFUNDIDAD REQUERIDA, EN CASO DE LLEVARSE
A CABO UNA PERFORACIÓN; SEAN BUENAS, REGULARES, POBRES Ó NULAS SEGÚN
LOS REQUERIMIENTOS.

A ESTA ACCIÓN SE LES HA DENOMINADO "DICTA--
MEN GEOHIDROLÓGICO", CUYOS DATOS SE ENCUENTRAN EN PROCESO DE COMPU--
TARSE DEBIDO A QUE SUMAN YA MAS DE 3 000 DE ELLOS. ESTE TRABAJO TIE


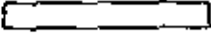


NE POR OBJETO EL EVITAR DUPLICAR LAS VISITAS AL CAMPO POR DIFERENTES TÉCNICOS DE DIVERSAS OFICINAS QUE NO TIENEN COMUNICACIÓN DIRECTA ENTRE SÍ, SIRVIENDO ADEMÁS COMO UNA GUÍA Y ARCHIVO DE ESTOS DICTÁMENES TAN VALIOSOS POR EL TIEMPO Y GASTO DEDICADO A CADA UNO DE ELLOS.

CON LA DESCRIPCIÓN DE LAS CARTAS Y DICTÁMENES GEOHIDROLÓGICOS, DAMOS POR TERMINADA ESTA PLÁTICA, ESPERANDO HAYA SIDO DE UTILIDAD EL CONOCER LOS OBJETIVOS DEL BANCO NACIONAL DE INFORMACIÓN GEOHIDROLÓGICA PARA QUE UNA VEZ TERMINADO PUEDAN SOLICITAR LOS DATOS REQUERIDOS. NO DUDANDO LES FACILITARÁ Y ORIENTARÁ GRANDEMENTE EN SUS TRABAJOS.

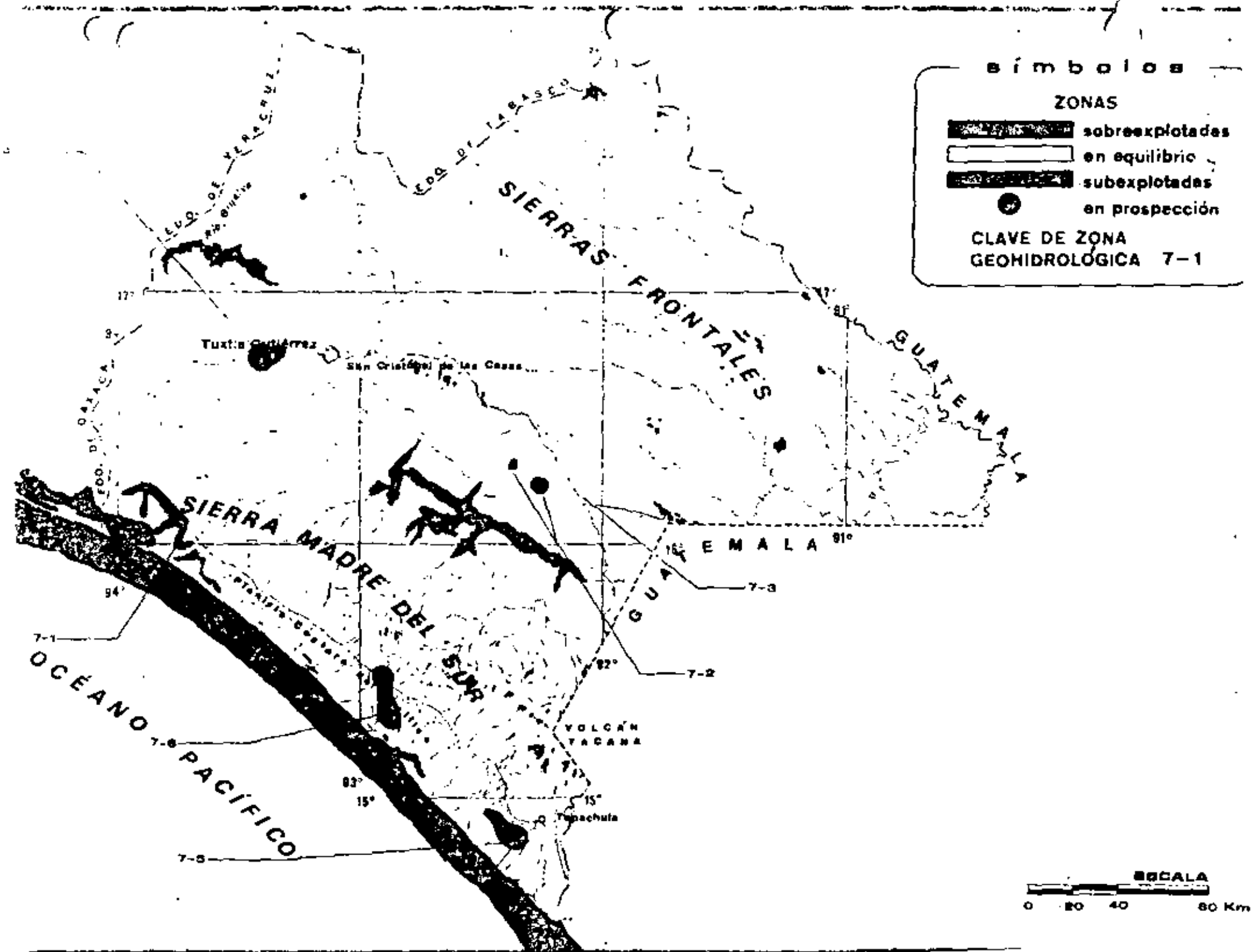
MUCHAS GRACIAS

símbolos

ZONAS

-  sobreexplotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

CLAVE DE ZONA
GEOHIDROLÓGICA 7-1



CHIQUAHUA

Exploración

GEOLOGÍA.—Fisiográficamente el Estado está constituido al oeste por la **Sierra Madre Occidental**, integrada por cordilleras de rocas volcánicas de tipo riolítico y basáltico, intercaladas con sedimentos terciarios conglomeráticos y arenosos.

Hacia el este, la Sierra va perdiendo altura y se forman grandes valles y cuencas alargadas de dirección preferente noroeste-sureste rellenos por piroclásticos, sedimentos terciarios y aluviones recientes. Algunos de estos valles son cerrados, lo que origina que los escurrimientos de los ríos y arroyos que en ellos desembocan, formen lagunas perennes o temporales, como la de **Los Mexicanos** al sur de Cuauhtémoc y la de **La Ascensión**, junto al poblado del mismo nombre.

La parte media del Estado, en una ancha franja que va desde **Ciudad Juárez** en el extremo norte, hasta **Jiménez** en el sur, está fisiográficamente formada por estructuras de las **Sierras Madre Occidental y Oriental**, pues las constituyen cordilleras alargadas que guardan un alineamiento noroeste-sureste formadas tanto por rocas volcánicas de tipo riolítico como por rocas meta-

mórficas antiguas y formaciones calcáreas jurásicas y cretácicas.

En la porción este, en los límites con Coahuila, la presencia cada vez más frecuente de pliegues alargados de rocas calizas revelan condiciones geológicas características de la **Sierra Madre Oriental**.

GEOHIDROLOGÍA.—Las posibilidades geohidrológicas en los grandes valles son importantes, pues se encuentran rellenos por grandes espesores de piroclásticos y sedimentos conglomeráticos y arenosos terciarios y recientes.



En la **Babicora**, una región recientemente explotada se están obteniendo de pozos, caudales superiores a 120 litros por segundo en acuíferos constituidos por intercalaciones de gravas, arenas, basaltos fracturados y tobas riolíticas.

En **Nombre de Dios y Ojas del Chuviscar**, cerca de la Ciudad de Chihuahua se ha perforado sobre calizas con buenos resultados y se considera que muchas de las estructuras calcáreas de la porción este y sureste podrán tener condiciones geohidrológicas favorables.

ÁREAS

-  aluviones
-  terciarios
-  calizas

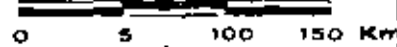
POZOS (1971 - 1977)

-  explotación
-  exploración
-  sondeos

CLAVE NACIONAL DE POZOS CHH-1



ESCALA



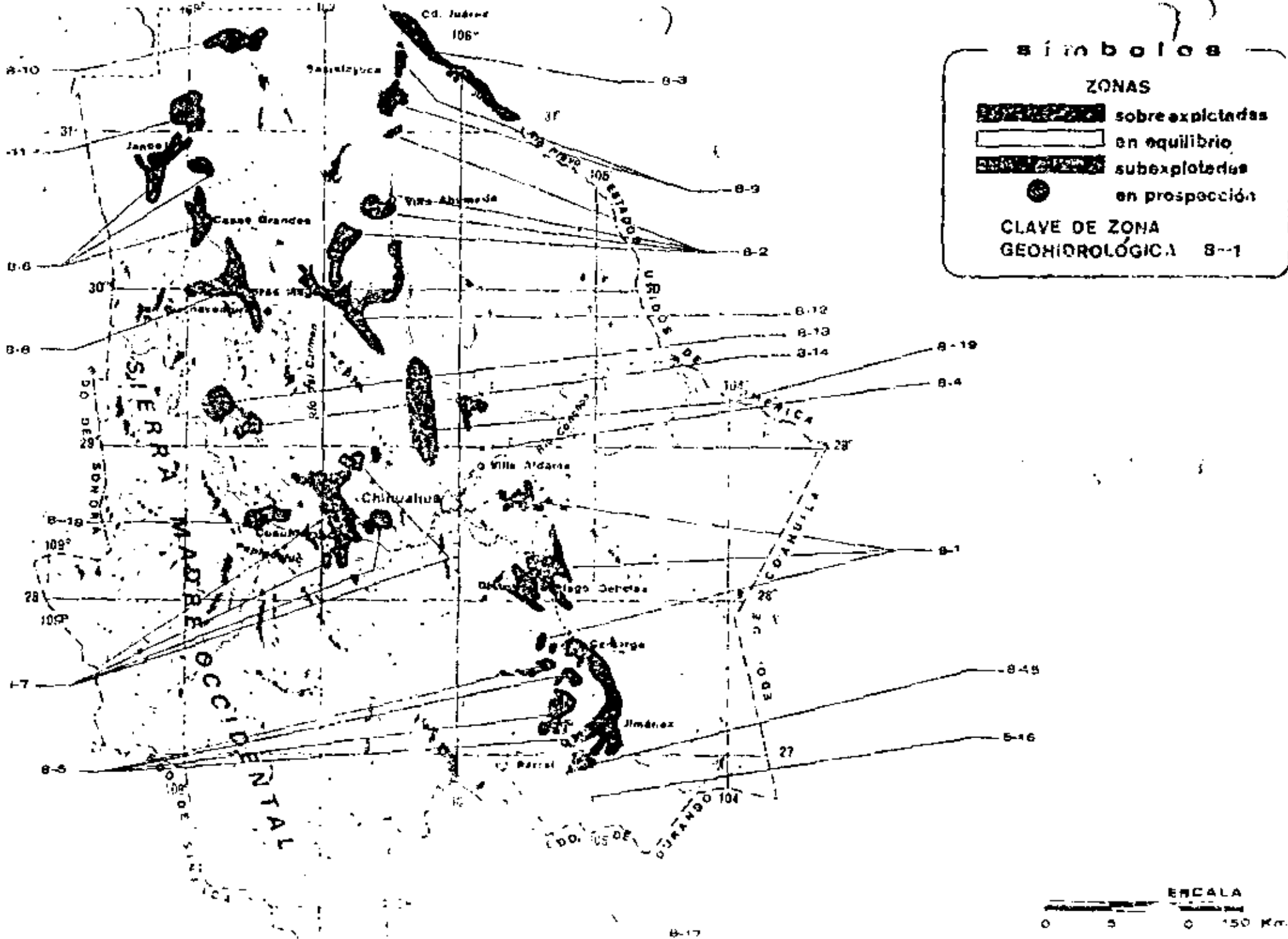
Chihuahua ocupa un lugar preponderante en el país por sus abundantes recursos naturales ya que es uno de los principales por lo que corresponde a la minería y a su productividad agrícola. Sin embargo, esta riqueza es aprovechada solo en parte, debido principalmente a la escasez de agua. Factor importante para el desarrollo del Estado es su recurso hidráulico subterráneo ya que el superficial es sumamente escaso. La potencialidad de las fuentes subterráneas es limitada, porque su renovación es lenta a causa del clima semi-desértico imperante; no obstante, en el subsuelo de extensos valles y bolsones existen reservas acuíferas almacenadas, parte de las cuales pueden aprovecharse si se les explota en forma racional.

La zona agrícola más importante es el Distrito de riego de Delicias, enclavado en la Cuenca del Río Conchos, en el cual se utilizan aguas superficiales y subterráneas en forma combinada. Estudios realizados han demostrado la posibilidad de extraer del subsuelo cantidades de agua superiores a las explotadas actualmente.

También es de gran importancia el distrito de riego del Valle de Juárez,





en el que se utilizan combinadamente, el agua del subsuelo, escurrimientos del Río Bravo y aguas negras de Ciudad Juárez. La presencia de agua salada contenida en formaciones adyacentes a los acuíferos y la intercomunicación geohidrológica de este valle con el Bolsón del Hueco, constituyen factores limitantes de la explotación del agua subterránea.

Otras zonas agrícolas, de menor importancia son las de Papigochic, Río del Carmen, Cuauhtémoc, San Buenaventura, Samalayuca y Janos, en las cuales los volúmenes extraídos del subsuelo no exceden al volumen renovable de sus acuíferos, y las de Villa Aldama, Casas Grandes y Jiménez Camargo, afectadas ya por sobreexplotación, pero todavía aprovechables por mucho tiempo si se frena el abatimiento de los niveles. Dispersas en el Estado se encuentran extensas zonas prácticamente vírgenes o con desarrollos incipientes, en muchas de las cuales el aprovechamiento del agua subterránea permitiría desarrollar la agricultura en mayor escala. Por supuesto, otros tipos de desarrollo también son viables, ya que en general, demandan menores cantidades de agua que la agricultura. De importancia, en estos casos es el conocimiento previo, aunque sea aproximado, de las características y potencialidad de las fuentes subterráneas.



símbolos

ZONAS

-  sobre explotadas
-  en equilibrio
-  subexplotadas
-  en prospección

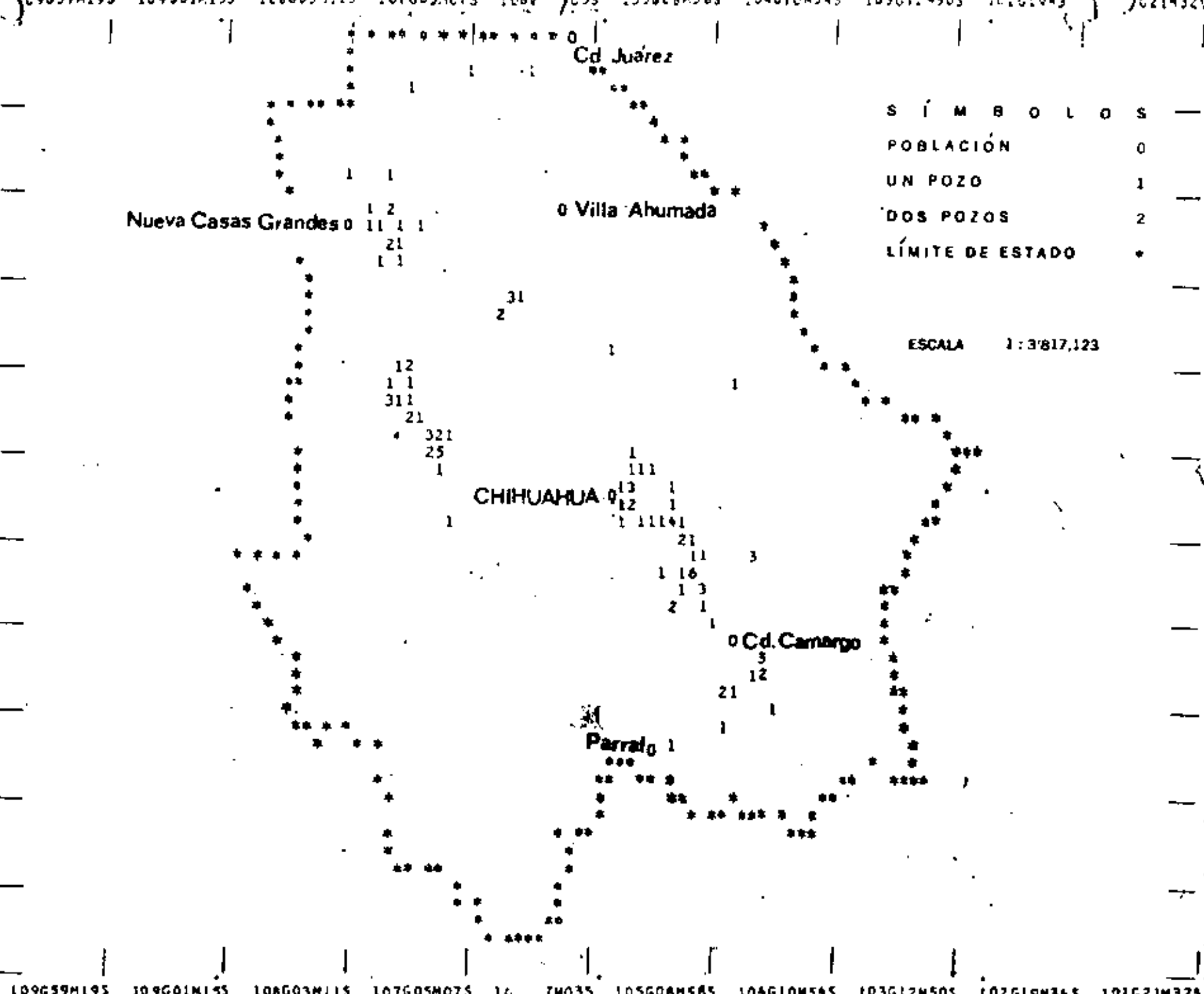
**CLAVE DE ZONA
GEOHIDROLÓGICA B-1**

ESCALA
0 5 10 150 Km.

LAVE O P C O N A L	S L O C A L	N O M B R E	PROFUNDIDAD EN METROS	N I V E L E S EN METROS		CAUDAL L.P.S.	S I T U A C I Ó N		R A F I C O
				ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACIÓN M. S. N. M.	LATITUD LONGITUD	
1-1	PCGO-1	COLONIA MADERO	389	1.0*	15.1	71.5	1489	30 18 26	101 46 17
1-2	PCGO-2	BUENA FE	401	19.9	75.0	40.0	1474	30 21 55	107 55
1-3	PCGO-3	LAGUNA DE FIERRO	389	12.3	26.9	77.0	1494	30 25 41	107 50 8
1-4	PCGO-4	EJIDO MADERO	400	64.5			1537	30 17 15	107 50 39
1-5	PCGO-5	SECCION ENRIQUEZ	401	44.5	60.0	82.0	1429*	30 29 18	107 58 15
1-6	PCGO-6	SECCION HIDALGO	105	63.2	87.0	17.0	1469*	30 31 19	107 49 49
1-7	PCGB-7	EJIDO HIDALGO	220	17.8	40.8	80.0	1415	30 35 39	107 54 1
1-8	PCGO-8	GUADALUPE VICTORIA	451	9.4	58.8	63.0	1417	30 34 26	108 1 28
1-9	PCGO-9	SAN PEDRO CORRALITOS	275	37.7	49.0	28.0	1411	30 41 0	107 53 41
1-10	PCGO-10	N.C.P. GRACIANO SANCHEZ	400	15.6	50.7	75.5	1416*	30 31 30	108 2 12
1-11	PCGO-11	EL CAPULIN "CAMPO MENDONITA	302	32.2	53.0	70.5	1442	30 52 5	107 54 24
1-12	PCGO-12	JANOS	342	11.2	39.3	76.5	1365*	30 52 52	108 10 51
1-13	PCGO-13	COLONIA DUBLAN	401	15.1	34.3	77.0	1447	30 26 29	107 54 8
1-14	PVALO-1	LA MESA	400	17.6	33.1	95.0	1327	28 46 7	105 58 39
1-15	PVALO-2	EJIDO GUADALUPE	400	39.5	72.7	6.6	1245	28 49 53	105 52 22
1-16	PVALO-3	EL BOSQUE	321	1.7	39.6	127.0	1295	28 48 36	105 55 13
1-17	PVALO-4	LA ESPERANZA	400	17.4	27.6	75.0	1205	28 59 11	105 56 28
1-18	PVALO-5	EL JERONIM	331	66.8	83.0	0.9	1223	28 53 0	105 45 48
1-19	PDO-20	CIUDAD MILITAR	151	46.1	59.9	76.0	1207	28 8 0	105 30 0
1-20	PDO-21	CHANCAPLIA	338	23.9	90.2	0.5	1400	27 50 15	105 26
1-21	PDO-22	LOS DEPOSITOS	100	SECO			1522	27 50 0	105 39 6
1-22	PCHIZA-1	TRES CASTILLOS	150	12.4	61.1	1.0	2126*	29 32 5	107 43 46
1-23	PCHIZA-2	COLONIA ALDAMA	150	63.2	71.5	2.5	2224*	29 30 46	107 47 15
1-24	PCHNA-1	ESC. TEC. AGROPECUARIA 14	62	11.6	44.3	23.3	1876	29 1 7	107 27 52
1-25	PCHNA-2	COL. OSCAR SOTO MAYNEZ	52	8.8	51.2	16.5	1869	29 0 54	107 27 32
1-26	PCHCH-1	EJIDO LA CONCORDIA 1	153	50.0	52.0	51.0	1382*	28 41 34	105 57 14
1-27	PCHCH-2	EJIDO LA CONCORDIA 2	150	58.0	77.9	23.0	1392	28 39 8	106 2 24
1-28	PCHJU-1	NUEVO JULIMES	150	16.2	56.0	50.0	1350*	28 32 30	105 40 30
1-29	PCHCA-1	LA ENRAMADA 1	151	9.0	75.2	29.0	1287*	27 29 46	104 56 24
1-30	PCHCA-2	EL MOLINO	151	31.4	60.4	40.0	1302*	27 30 32	104 56 26
1-31	PCHV1-1	ESC. TEC. AGROP. 168	152	15.4	28.5	101.0	1512*	27 2 20	105 1 47
1-32	PCHJ-30	NVD. CUAUHEMOC 1	200	30.2			1243*	31 32 18	106 43 7
1-33	PCHAS-1	TRES PAPALOTES	158	23.1	55.6	77.1	1234*	31 29 21	107 44 13
1-34	PCHAS-2	NVD. CUAUHEMOC 2	200	13.2	89.2	10.0	1234*	31 33 20	107 15 47
1-35	PCHBU-1	FLORES MAGON	243	17.4	64.3	62.0	1519*	29 56 23	106 59 4
1-36	PCHNA-3	LAGUNA PRIETA	171	27.0	46.2	47.5	1893	28 58 5	107 31 2
1-37	PCHNA-4	COL. SALVADOR GOMEZ 1	150	44.2	72.4	54.0	1911	28 56 36	107 34 32
1-38	PCHNA-5	COL. ADOLFO R. CORTINES 1	152	52.6	85.7	14.7	1907	28 54 42	107 30 0
1-39	PCHNA-6	COLONIA INDEPENDENCIA 1	150	10.6	39.9	17.4	1973	29 6 45	107 32 50
1-40	PCHNA-7	COLONIA INDEPENDENCIA 2	151	43.4	57.0	63.0	1909	29 4 51	107 30 14
1-41	PCHNA-8	COL. INDEPENDENCIA 3	74	53.5		0.0	1936	29 2 15	107 31 35
1-42	PCHNA-9	COL. SALVADOR GOMEZ 2	150	56.5	75.5	21.4	1924	28 54 49	107 34 29

C O O R D E N A D A S
G E O G R Á F I C A S

31659M595
31617M085
30641M255
30605M425
29629M595
28654M175
28618M345
27642M515
27607M085
26631M255
25653M425
25620M000



109659M195 109601M155 109603M115 107605M075 12 2M035 105600M585 104610M545 103612M505 102610M365 101621M320

LAVE ONAL	LOCAL	NOMBRE	PROFUNDIDAD EN METROS	NIVELES METROS		CAUDAL l.p.s.	SITUACIÓN			GRÁFIC
				ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACIÓN m. o. n. m.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE	
H-43	PCHNA-10	COL. ADOLFO R. CORTINES 2	200	24.7	42.7	77.0	1882	28 56 19	107 29 2	
H-44	PCHNA-11	COL. DIVISION DEL NORTE 1	220	3.8	74.8	7.0	1858	29 4 18	107 25 20	
H-45	PCHNA-12	COL. DIVISION DEL NORTE 2	223	21.0	79.7	22.0	1878	29 6 44	107 26 52	
H-46	PCHGUE-1	CONAFRUT	150	66.4	76.5	52.0	2150	28 31 36	107 26 12	
H-47	PCHCH-3	EJIDO TOMAS GARCIA	150	SECO			1600	28 28 33	105 50 52	
H-48	PCHCH-4	EJIDO AVALDS	150	92.6	87.9	34.0	1350*	28 38 40	105 58 45	
H-49	PCHCH-5	LA ESPERANZA	152	34.5	74.5	3.0	1322	29 40 0	106 6 31	
H-50	PCHCG-14	ESC. TEC. AGROPECUARIA 96	154	17.7	28.8	65.0	1442*	30 29 30	107 38 20	
H-51	PCHCH-6	EJIDO TOMAS GARCIA	74	64.0			1470*	28 26 44	105 49 12	
H-52	PCHCH-7	RANCHERIA JUAREZ	136	93.5	107.1	2.0	1498*	28 32 16	106 1 42	
H-53	PCHD-23	ESC. DE AGRONOMIA	151	4.0	27.9	73.0	1162	28 10 30	105 26 48	
H-54	PCHD-24	COL. CARMEN SERDAN	153	25.2	44.7	73.0	1190*	28 11 21	105 40 30	
H-55	PCHSA-1	EL URRUTENO	153	40.4	100.0	0.5	1368	27 43 21	105 17 4	
H-56	PCHSA-2	ESTACION CONCHOS	152	50.2	70.9	25.0	1231*	27 57 20	105 23 52	
H-57	PCHSA-2	CUL. FUIZ CORTINEZ	151	10.2	72.8	0.0	1270*	27 56 34	105 20 51	
H-58	PCHCA-3	SAN LEONARDO 1	150	17.9	81.0	14.0	1302*	27 25 53	104 55 25	
H-59	PCHCA-4	SAN LEONARDO 2	70	21.6	40.4	12.0	1307	27 26 55	104 57 13	
H-60	PCHVA-1	COL. BUFALO	150	52.1	93.9	19.2	1373*	27 17 6	105 10 52	
H-61	PCHVA-2	PLAN DE AYALA	152	59.5	90.1	17.0	1385*	27 20 7	105 11 57	
H-62	PCHVA-3	FELIFE ANGELES	200	10.6	83.6	2.0	1373*	27 15 55	105 12 45	
H-63	PCHBU-2	SAN ISIDRO	200	44.7	108.6	33.0	1380*	30 2 24	106 49 38	
H-64	PCHGOG-1	GOMEZ FARIAS	150	2.7	25.1	108.0	2170	29 20 21	107 46 22	
H-65	PCHNA-13	COL. ADOLFO R. CORTINES	202	29.7	57.5	64.0	1893	28 52 52	107 29 28	
H-66	PCHNA-14	LA TRASQUILA	152	72.0	84.0	0.5	1385	29 1 36	107 33 20	
H-67	PCHVAL-6	SECC. EJIDO LOS LEONES	150	62.0	76.4	0.5	1330	28 43 47	105 55 3	
H-68	PCHD-25	DELICIAS	265	21.7	41.6	121.0	1205*	28 11 6	105 28 38	
H-69	PCHCH-5	ESTACION DIAZ	61	12.4	14.6	5.0	1297*	27 27 11	104 56 13	
H-70	PCHCA-6	LA ENRAMADA 2	153	13.4	26.2	59.0	1287	27 30 15	104 56 24	
H-71	PCHCDY-1	RODRIGENO	150	25.1	96.0	1.5	1200*	29 26 24	105 8 2	
H-72	PCHSA-4	CAMPO MILITAR	300	108.0	119.0	70.0	1277	28 3 35	105 24 32	
H-73	PCHCH-8	EJIDO ROBINSON	201	105.7	112.8	37.0	1430*	28 36 25	105 58 27	
H-74	PCHROSA-1	BARRANCO BLANCO	400	50.9	73.5	70.4	1300*	28 27 44	105 36 35	
H-75	PCHIZA-3	TRES CASTILLOS	251	53.0			2114*	29 32 40	107 43 45	
H-77	PCHJZ-1	CIEN.	200	45.7	51.3	47.0	1363*	27 12 31	104 51 0	
H-83	PCHMA-1	COLONIA NICOLAS BRAVO 1	180	3.2	17.0	96.0	2150	29 21 10	107 55 3	
H-84	PCHMA-2	COLONIA NICOLAS BRAVO 2	110	3.2	66.2	75.0	2150	29 16 32	107 54 7	
H-85	PCHMA-3	COL. ALAMILLO	125	4.7	9.8	88.0	2152	29 24 14	107 53 30	
H-86	PCHGOF-2	PENA BLANCA	200	18.8	66.4	30.0	2166	29 17 24	107 43 17	
H-87	PCHMA-5	EJIDO LA MARINA	130	2.7	4.1	207.0	2144	29 21 10	107 55 3	
H-89	PCHMA-6	EL FORTIN DEL CAMPESINO	200	10.3	17.7	61.0	1715	29 25 3	107 45 45	
H-90	PCHMA-7	SAN JOSE DE BABICORA	173	19.1	22.7	91.0	2166*	29 15 39	107 43 13	
H-91	PCHMA-8	COLONIA LIBERTAD	200	5.7	24.7	102.0	2152	29 15 40	107 44 50	
H-92	PCHMA-9	LA PENSA	200	11.8	17.7	77.0	2177	29 14 3	107 40 49	
H-93	PCHCH-9	CABALAOYA	300	41.7	52.7	72.6	1353*	28 42 5	106 0 3	

LAVE DE P UZOS		N O M B R E	PROFUNDIDAD EN METROS	N I V E L E S EN METROS		CAUDAL L.P.S.	SITUACION GEOGRAFICA		
UNAL	LOCAL			ESTÁTICO	DINÁMICO		ELEVACION m. s. n. m.	LATITUD NORTE	LONGITUD OESTE
4-98	PCHPA-2	TECNOLOGICO DE PARRAL	250	71.5	111.4		26 55 25	105 39 11	
4-99	PCHBU-3	RICARDO FLORES MAGON	251	23.1			29 57 7	106 58 59	
4-100	PCHBU-4	SAN ISIDRO 1	135	15.0	35.5	67.0	30 3 20	106 58 12	
4-101	PCHBU-5	SAN ISIDRO 2	262	16.3			30 3 12	106 55 3	
4-102	PCHBU-6	SAN ISIDRO 3	261	15.8			30 4 6	106 53 46	
4-105	PBBDO-1	BARRANCO BLANCO	400	19.0*			28 26 15	105 36 20	
4-106	PDB-2	LA GARITA	400	12.1	29.8	105.0	28 8 10	105 34 18	
4-107	PDO-3	KILOMETRO 3	430	2.0			28 10 0	105 29 30	
4-108	PDB-4	MEQUI	381	-1.0		55.0	28 16 42	105 28 47	
4-109	PBBDO-5	BARRANCO BLANCO	425	43.2	43.2	75.6	28 26 50	105 36 21	
4-110	PDO-6	LA ESCUADRA	400	4.1			28 22 52	105 33 20	
4-111	PDO-7	NUEVO SAN LUCAS	400	3.1	7.8	12.4	28 21 25	105 34 37	
4-112	PDO-8	LAS PALMAS	282	19.6	42.9	30.6	28 30 29	105 35 20	
4-113	PDO-9	SAN DIEGO DE ALCALA	400	17.4	40.4	15.9	28 37 30	105 35 23	
4-114	PDO-10	COL. ABRAHAM GONZALEZ	400	22.6	39.8	4.8	28 13 14	105 22 34	
4-115	PDO-11	LA GALERA	400	13.0	15.0	10.0	28 42 16	105 35 25	
4-116	PDO-12	CONGREGACION ORTIZ 1	400	2.2	12.2	50.0	28 14 30	105 0 55	
4-117	PDB-12A	CONGREGACION ORTIZ 2	425	1.3	26.6	106.0	28 14 53	105 0 51	
4-118	PDB-12B	CONGREGACION ORTIZ 3	100	6.9	27.6	105.0	28 14 55	105 1 13	
4-119	PCB-13	COL. ORIBE DE ALBA 1	400	70.0*			28 6 27	105 27 45	
4-120	PDO-14	COL. GUADALUPE VICTORIA	400	6.7	23.2	23.3	28 19 26	105 27 46	
4-121	PDO-15	COL. ORIBE DE ALBA 2	400	109.3*			28 4 17	105 31 24	
4-122	PDO-16	NCP. PEDRO CONTRERAS	400	13.7	21.8	10.0	28 32 20	105 40 10	
4-123	PDO-17	COL. ORIBE DE ALBA 3	409	110.3*			28 0 35	105 25 40	
4-124	PDO-18	LAGUNA SECA	400	72.9			27 48 30	105 42 5	
4-125	PDO-19	COL. DIVISION DEL NORTE	114	26.0*	43.3	97.0	28 11 2	105 28 14	
4-269	PCHMA-10	PRESON ELC 1000	87	35.0			29 26 45	108 3 50	
		VALORES MINIMOS	61	-1.0	4.1	0.0	1139	26 55 35	104 51 0
		* * * PUZO ESPECIFICO PROMEDIO	240	31.8	55.3	47.9	1501	28 55 5	106 28 42
		VALORES MAXIMOS	454	112.3	119.0	127.0	2224	31 23 20	108 10 51
		T O T A L P U Z O S	113			4551.8 LPS	27095 METROS	PERFORADOS	

ZONAS HIDROLÓGICAS DE ZONAS ÁRIDAS										
ZONA	HIDROLÓGICA	ÁREAS DE ESTUDIO	ZONA DE EXPLOTACIÓN	DE	RECARGA ANUAL MILLONES DE m ³	EXTRACCIÓN ANUAL MILLONES DE m ³	CONDICIÓN GEOMORFOLÓGICA	POZOS	CAUDAL MEDIO POR POZO (l. p. s.)	EXPLORABLE MILLONES DE m ³ POR AÑO
CLAVE	N O M B R E	Km ²	Km ²	POZOS				NÚMERO DE POZOS		
8-1	Mecqui-Delicias	7040*	600*	242*	-	180*	Subexplotada	155*	80*	195*
8-2	Cuenca del Río del Carmen (Villa Ahumada)	2200*	600*	494*	-	180*	Subexplotada	50*	60*	45*
8-3	Valle de Juárez	500*	272*	1050*	-	200*	Subexplotada	-	-	-
8-4	Villa Aldama	6362	1590	576	45	54	En equilibrio	0	0	0
8-5	Jiménez - Camargo	4000*	1892*	1099*	-	375*	Sobreexplotada	0	0	0
8-6	Casas Grandes - Jaros	5500	2349	651	140	150	Sobreexplotada	30	40	20
8-7	Guahitán	7000	2900	1949	120	98	Subexplotada	45	30	22
8-8	San Buenaventura	2432	865	127	43	32	Subexplotada	20	30	11
8-9	Samalayuca	2128	1948	99	30	18	Subexplotada	30	25	12
8-10	Falomas	1400*	900*	104*	-	33*	Subexplotada	20*	20*	7*
8-11	Ascensión	900*	800*	236*	-	10*	Subexplotada	15*	20*	5*
8-12	Cuenca del Río del Carmen (Flores Magón)	5660*	3200*	218*	-	50*	Subexplotada	85*	30*	40*
8-13	Alta Babicora	5000*	1182*	75*	-	4*	Subexplotada	30	100*	50*
8-14	Baja Babicora	3500*	576*	216*	-	15*	Subexplotada	65*	30*	30*
8-15	Villa López	1000*	35*	180*	-	57*	Sobreexplotada	0	0	0
8-16	Villa Coronado	400*	10*	40*	-	13*	En equilibrio	0	0	0
8-17	Parral	600*	50*	12*	-	2*	En equilibrio	0	0	0
8-18	Mesa Miñaca	166*	30*	30*	-	3*	Subexplotada	6*	50*	5*
8-19	El Sauz	3150*	2000*	400*	-	75*	Subexplotada	100*	60*	25*
	T O T A L	58938	21126	7828	378	1549		651		467
	CONFIRMADO	23427	9013	3402	378	352		125		65
	ESTIMADO	35511*	12113*	4426*	-	1197*		526*		402*

(1) La disponibilidad de aguas subterráneas se aprovechará con los pozos que se construyeron en el programa de rehabilitación del distrito de riego No. 7, Valle de Juárez.

(2) Las condiciones geomorfológicas permiten recomendar la sobreexplotación del acuífero en este volumen.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

COMENTARIOS GENERALES SOBRE LAS PARTES
CONSTITUTIVAS DEL SISTEMA ELECTRICA PA
RA EQUIPO DE BOMBEO DE POZO PROFUNDO

ING. JUAN SILVA ZAMUDIO

OCTUBRE, 1980

C O N T E N I D O

1.- DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO PARA UN DISTRITO DE BOMBEO DE POZO PROFUNDO.

2.- TRANSFORMADOR.

- a) PRINCIPIO DE OPERACION.
- b) SECUENCIA DE OPERACION.
- c) ANALISIS DE LA OPERACION DE UN TRANSFORMADOR QUE ALIMENTA A UNA CARGA.
- d) RELACION DE VOLTAJES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAS DE LOS DEVANADOS PRIMARIO Y SECUNDARIO.
- e) CLASIFICACION DE LOS TRANSFORMADORES SEGUN LA CONSTRUCCION DEL NUCLEO.
- f) TEMPERATURA DE OPERACION.
- g) BUSHING Y TERMINALES.
- h) CAMBIADOR DE DERIVACIONES.
- i) REGULACION.

3.- MOTOR DE INDUCCION.

- a) PARTES CONSTITUTIVAS.
- b) CORRIENTES DEL MOTOR.
- c) VELOCIDAD Y PAR.
- d) ELEVACION DE TEMPERATURA Y CICLO DE TRABAJO.
- e) FACTOR DE SERVICIO.
- f) PROTECCION ELECTRICA DEL MOTOR.
- g) ESPECIFICACIONES PARA SELECCION DE MOTORES.

4.- ARRANCADORES ASINCRONICOS A VOLTAJES REDUCIDO.

- a) CARACTERISTICAS Y OPERACION.
- b) DIAGRAMA ESQUEMATICO.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

- a) CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO Y SUS EFECTOS.
- b) CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO PARA UN EQUIPO DE COM BEO DE POZO PROFUNDO.

5.- FUSIBLES.

- a) DEFINICION.
- b) NORMATAS OFICIALES.
- c) CLASES DE FUSIBLES.
- d) CALCULO DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PARA LA SELECCION DE FUSIBLES.

6.- APARTARRAYOS TIPO AUTOVALVULAS.

- a) GENERALIDADES.
- b) DESCRIPCION.
- c) ESTRUCTURA.
- d) FUNCIONAMIENTO.

7.- DISPOSICION Y REALIZACION DE ELECTRODOS DE LAS TOMAS DE TIERRA.

1.- DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA ELECTRICO PARA UN EQUIPO DE BOMBEO
DE POZO PROFUNDO.

SUBESTACION TIPO RURAL

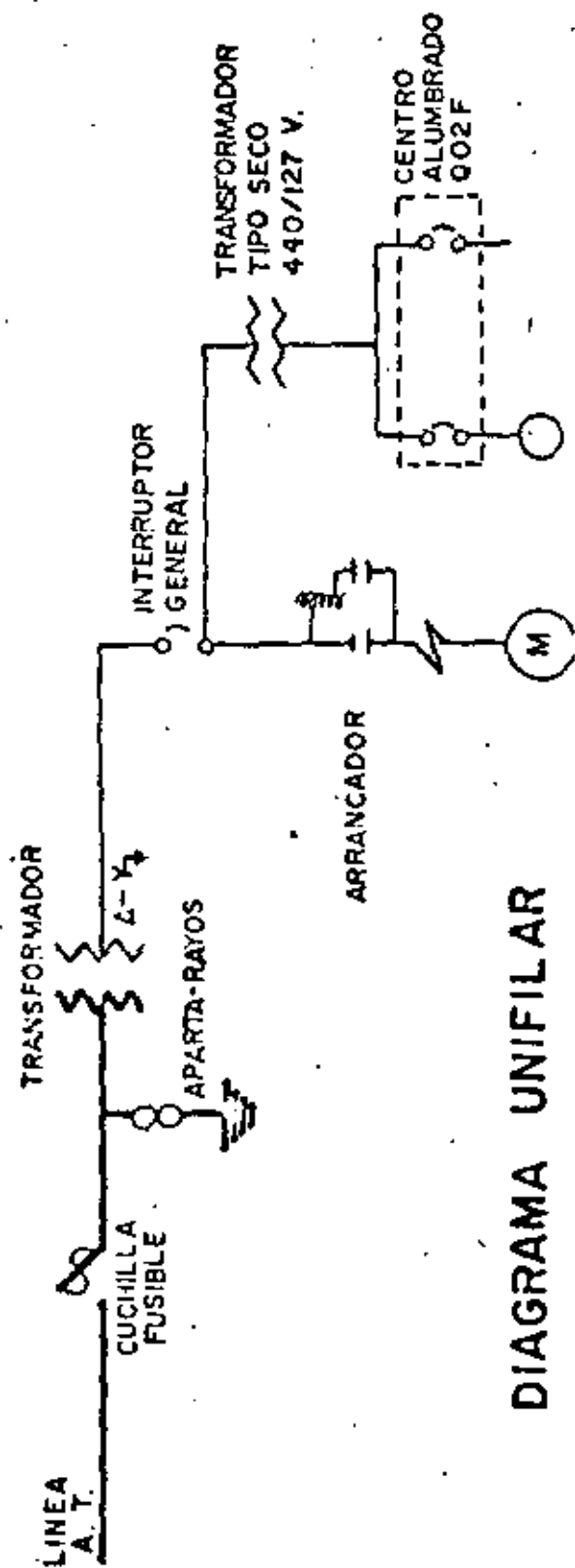
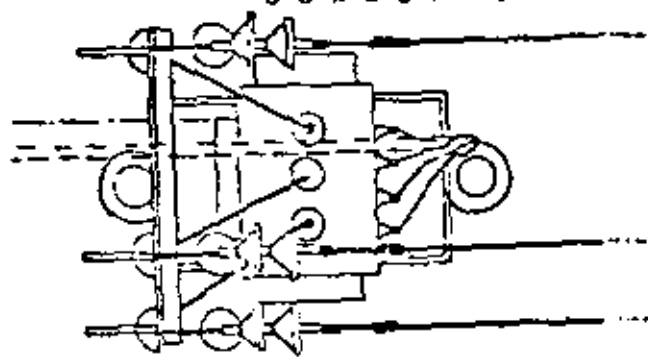
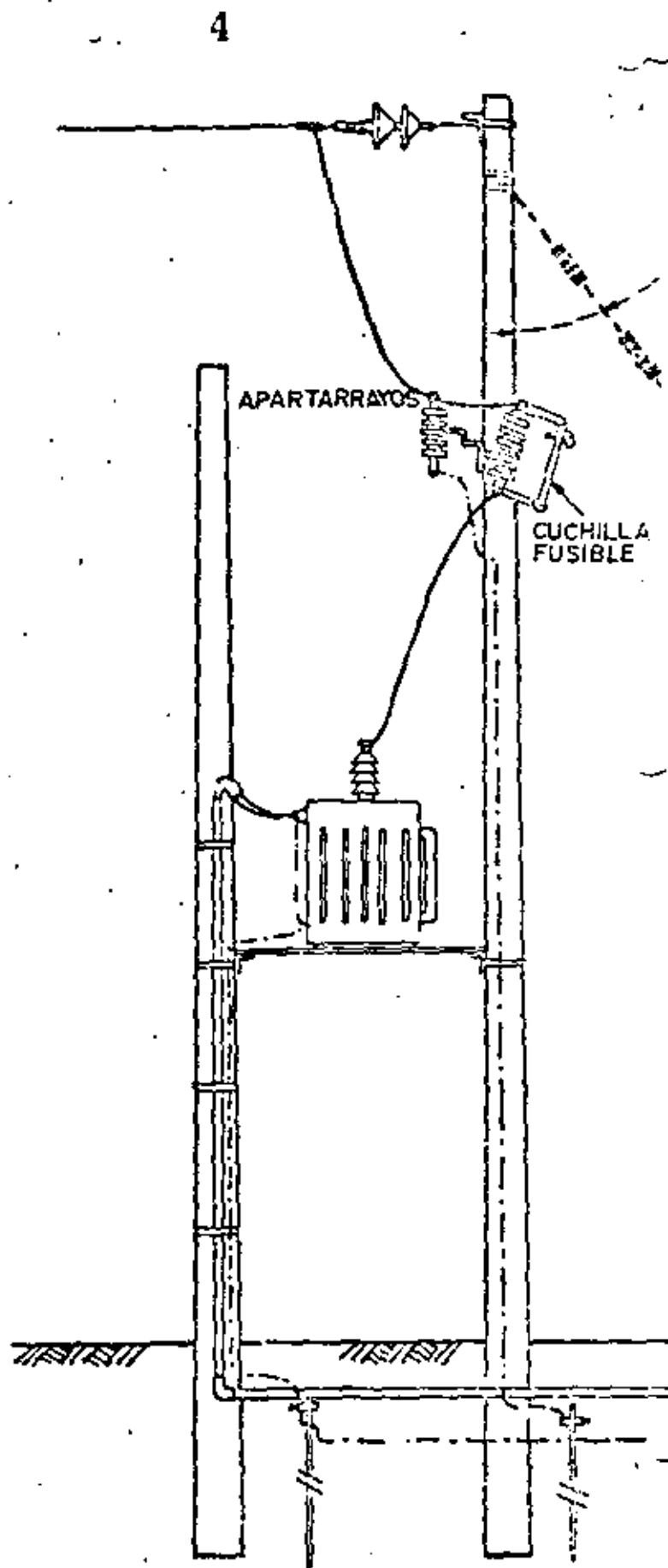


DIAGRAMA UNIFILAR



4

2.- TRANSFORMADOR.

TRANSFORMADOR

Es un aparato eléctrico estático, empleado para transferir energía eléctrica de un circuito de corriente alterna a otro, sin cambiar de frecuencia. Esta transferencia generalmente va acompañada por un cambio de voltaje.

PRINCIPIO DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES.

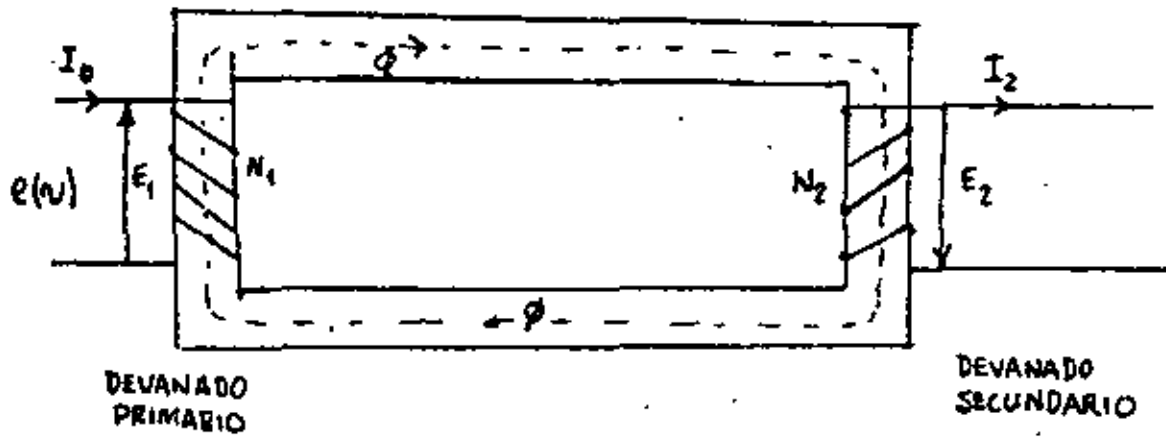
La parte esencial de un transformador, sin duda es el circuito electromagnético, el cual está formado por un núcleo cerrado de láminas de hierro y dos bobinas o grupos de bobinas, como se muestra en la figura 1.

Las bobinas o grupos de bobinas se clasifican en 2 grupos, que son:

- a) Bobinas del devanado primario.
- b) Bobinas del devanado secundario.

Las cuales pueden estar en piernas diferentes como se observa en la figura 1.

NOTA.- Se da el nombre de bobinas o devanado primario, al lado donde se alimenta el transformador, y de secundario donde está conectada la carga. Si el transformador recibe energía a un voltaje y la libera a otro mayor, se le llama transformador de subida, si la libera a otra menor se llama transformador de bajada; en caso de que el transformador reciba y libere energía a un mismo voltaje, se dice que se trata de un transformador de relación 1 a 1; este tipo de transformadores se emplea para aislar circuitos.



CIRCUITO ELECTROMAGNETICO DE UN TRANSFORMADOR FIG. 1.

$e(\sim)$	Voltaje alterno aplicado en las terminales del devanado - primario.
I_0	Corriente de magnetización
ϕ	Campo magnético.
E_1	Voltaje alterno inducido en el devanado primario (volts.)
N_1	Número de vueltas del devanado primario.
E_2	Voltaje alterno inducido entre las terminales del devanado secundario (volts.)
N_2	Número de vueltas del devanado secundario.

SECUENCIA DE OPERACION.

Al aplicarse un voltaje ($e(\sim)$), entre las terminales 1- y 1' del devanado primario, empieza a circular por las vueltas de la bobina una corriente I_0 , ocasionando con ello la aparición de una f.m.m. - (fuerza magneto motriz = NI amperes-vuelta), que provoca una circulación de flujo magnético (ϕ), a través del núcleo de hierro; este flujo es - - abrazado por las bobinas primarias y secundaria. Por las características de la corriente alterna de alimentación, el flujo varía de (0), a máximo (\pm) a (0), al pasar el tiempo, induciendo con ello una f.e.m. en los devanados. Confirmándose la ecuación de campos de Maxwell, que dice:

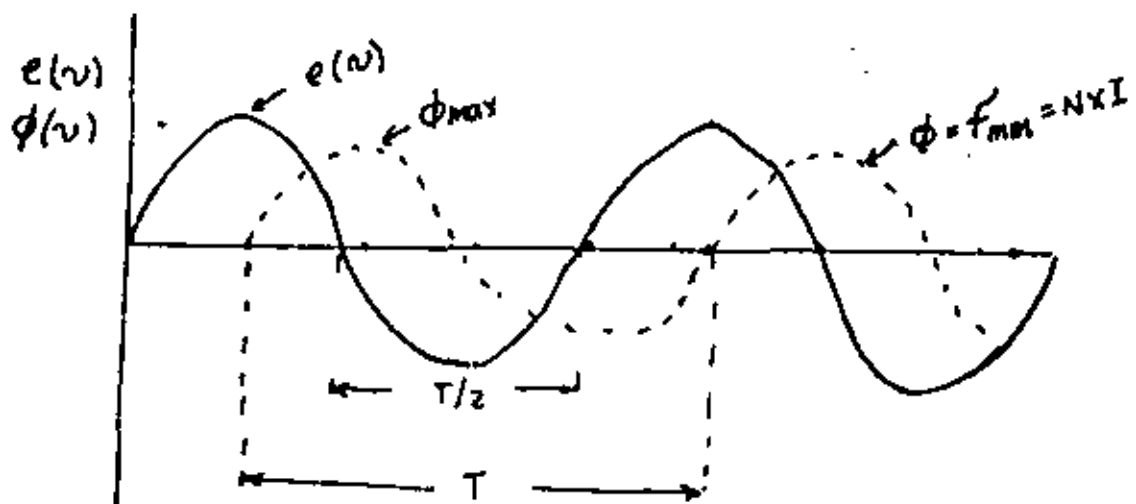
Un campo eléctrico, es inducido cuando en su vecindad un campo magnético está variando en el tiempo, Esta acución tiene como antecedentes las leyes de Faraday y Lenz que a continuación se describen.

Ley de Faraday.- Establece que una f.e.m., es inducida en un circuito eléctrico, cuando el eslabonamiento de flujo magnético del circuito está variando con respecto al tiempo.

Ley de Lenz.- Establece que la dirección de la f.e.m. es tal que tiende a inducir una corriente que prevenga el cambio de la forma del fojo que la produce. Esta significa que la f.e.m. inducida, tiene un sentido inverso a la corriente que la produjo.

La magnitud de la f.e.m. inducida en c/u. de los devanados, puede deducirse de la forma siguiente:

Si analizamos en el devanado primario la relación entre la f.e.m. aplicada ($e(\nu)$) y el flujo magnético resultante $\phi \approx f_{mm} = I \times N$, tendremos gráficamente.



Relacionando las leyes Faraday - Lenz a esto, se tiene que la f.e.m. inducida en una espira de cualquiera de los devanados

$$e_{le} = - \frac{d \phi}{dt} \quad (1)$$

Por otro lado si analizamos los términos de la ecuación, - se observa que ϕ varía de (0, + ϕ máx, 0) y vemos que ϕ es máxima en los puntos 1 y 2 de la gráfica, asimismo, que estos (2) máximos se alcanzan - en un semi-ciclo ($1/2$ periodo = $T/2 = 1/2f$), sustituyendo estos valores en (1) se tiene:

$$e_{le} = - \frac{d \phi}{dt} = - \frac{2 \phi_{\max}}{(T/2 = 1/2f)} = - 4f \phi_{\max} \quad (2)$$

Considerando que $e(\sim)$ de alimentación es senoidal y por tanto la F_{mm} y/o ϕ resultante también lo será, podemos afectar a la ecuación (2) del factor de forma: para este tipo de onda (factor forma onda - senoidal = 1.11). por tener cualesquiera de los devanados un número (N) - de espiras se determina que la f.e.m. inducida, tendrá un valor de:

$$e = (e_{le} = 4 f \phi_{\max}) \times 1.11 \times N \\ = - 4.44 N f \phi_{\max} = - 4.44 N f A B_{\max} \quad (\text{volts.}) \quad (3)$$

considerando estas ecuaciones en el sistema MKS

f Frecuencia de la fuente de alimentación (H_z)

ϕ_{\max} No. máximo de líneas de flujo magnético (webbers)

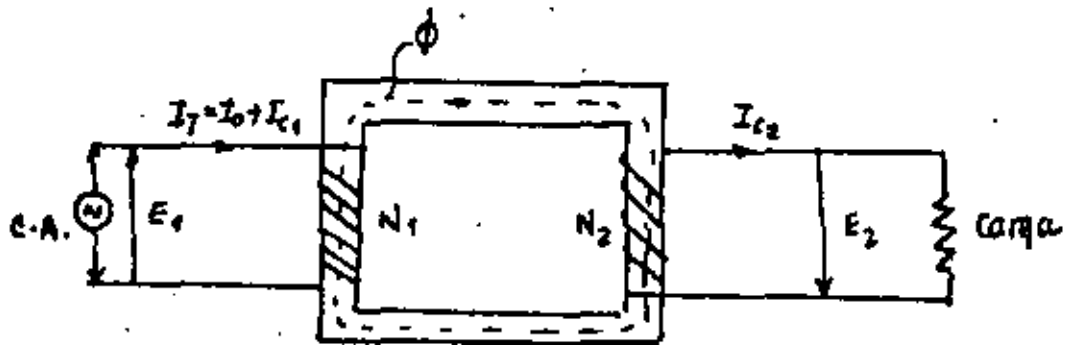
A Sección transversal del núcleo (m^2)

B_{\max} Densidad de flujo magnético (webber/ m^2)

NOTA.- Como se observa el valor del voltaje inducido, depende directamente del número de vueltas de la bobina (a mayor número de vueltas - - corresponderá mayor voltaje inducido), de la frecuencia de la - - fuente de alimentación y de la densidad de flujo del núcleo magnético.

ANÁLISIS DE LA OPERACION DE UN TRANSFORMADOR QUE ALIMENTA A UNA CARGA.

Si las terminales del primario de un transformador se conectan a una fuente de voltaje, y las terminales del secundario se conectan a una carga, tal como se muestra en la figura 2.



"Devanado primario alimentado por una fuente y devanado secundario alimentando una carga"

En estas condiciones una corriente (I_{c2}), empieza a circular del devanado secundario a la carga, a la vez el devanado primario, demanda más corriente de la fuente (I_{c1}). En este momento la corriente que circula por el devanado primario tiene un valor de ($I_1 = I_0 + I_{c1}$), asimismo, los voltajes en el primario y secundario mantienen su valor muy aproximadamente igual al que tienen cuando el transformador está sin carga.

NOTA.- El valor de I_0 , es aproximadamente igual al 1% de la corriente nominal del transformador.

A continuación se dan las relaciones de las características entre el primario y secundario del transformador.

RELACION DE VOLTAJES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAS DE LOS DEVANADOS-PRIMARIO Y SECUNDARIO.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4)$$

Voltaje primario en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje secundario, será igual a:

$$E_1 = \frac{N_1 \times E_2}{N_2} \quad \text{Volts.} \quad (5)$$

Voltaje secundario (inducido), en función del número de vueltas de los devanados y del voltaje primario, será igual a:

$$E_2 = \frac{N_2 \times E_1}{N_1} \quad \text{Volts.} \quad (6)$$

RELACION DE CORRIENTES CON RESPECTO AL NUMERO DE VUELTAS DE LOS DEVANADOS PRIMARIOS Y SECUNDARIOS.

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (7)$$

Corriente que circula en el devanado primario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado secundario.

$$I_1 = \frac{N_2 \times I_2}{N_1} \quad \text{Ampers} \quad (8)$$

Corriente que circula en el devanado secundario en función del número de vueltas de los devanados y de la corriente circulante en el devanado primario.

CLASIFICACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES.

Los transformadores se clasifican en tipo Acorazado y tipo Núcleo:

TRANSFORMADOR TIPO ACORAZADO.

Estos transformadores están contruidos en forma compacta, de tal modo, que los embobinados estan envueltos por la laminación; las bobinas son en forma de paquetes planos con el fin de reducir tanto dimensiones como peso. El tanque es ajustado a la estructura soporte de laminación y devanados para lograr que estos transformadores puedan sopor tar los esfuerzos mecánicos ocasionados por corto circuitos externos.

TRANSFORMADORES TIPO NÚCLEO.

Estos transformadores están constituidos por bobinas - dispuestas concentricamente, alojadas en las piernas del núcleo, es decir, las bobinas envuelven al núcleo, siendo el caso contrario al tipo acorazado; asimismo, los transformadores de este tipo son generalmente más voluminosos.

NUCLEO DE TRANSFORMADOR.

En la construcción de núcleos, se emplea en su mayoría láminas de acero con 4% de silicio, este tipo de láminas se emplea por las ventajas que presenta en lo referente a costo, facilidad de manipulación, pérdidas pequeñas por histéresis y por corrientes circulantes y gran permeabilidad a inducciones magnéticas relativamente altas.

Generalmente los transformadores en alta tensión y para potencias, son de tipo Núcleo. En éstos, la sección recta del núcleo suele ser cuadrada o rectangular en los transformadores pequeños, pero en los grandes se aprovecha más eficazmente la abertura circular de las bobinas - agrupando las Láminas en capas de anchura variable, formando así un núcleo circular escalonado.

TEMPERATURA DE OPERACION DE LOS TRANSFORMADORES.

La buena operación y vida activa (disponibilidad) de cualquier equipo eléctrico, está en función de la relación que existe entre la temperatura de diseño del equipo y la temperatura a la cual operará normalmente; siendo esta última resultante de la temperatura del medio ambiente más la que se genera en el interior del transformador durante su funcionamiento.

Para seleccionar adecuadamente la temperatura y operación (incremento nominal de temperatura permisible), debe conocerse y considerarse lo siguiente:

a) INCREMENTO DE TEMPERATURA PERMISIBLE (TEMPERATURE RISE).

Es la temperatura máxima de operación normal permisible por el tipo de aislamiento y está dada por la temperatura generada en el interior del transformador y que por lo tanto excede a la del medio ambiente. Este incremento permisible va de 55° a 150°c. sobre la temperatura ambiente dependiendo de la clase de aislamiento y la altura de operación del equipo.

El medio ambiente y la sobrecarga de los transformadores provoca un aumento de temperatura: esto provoca sobrecalentamiento -- que ocasiona un envejecimiento prematuro y acentuado del aislamiento que puede repercutir en una falla completa de los devanados del transformador.

b) CLASE DE AISLAMIENTO.

Es el término usado en las normas NEMA y ASA para especificar la temperatura de operación de los tipos de aislamiento. Estos -- están designados por letras y así tenemos:

Clase A incremento de temperatura 55°c sobre el ambiente, B - 80°c, F - - 115°c y H - 150°c. Los aislamientos modernos pueden operarse con seguridad con un incremento hasta en 20°c sobre los valores mencionados.

c) CORRECCION DE INCREMENTO DE TEMPERATURA PERMISIBLE AL VARIAR LA ALTURA DE OPERACION.

- a) Cuando se hace una prueba a una elevación sobre el nivel del mar — que no excede de 1,000 metros (3,300 pies), no debe hacerse ninguna corrección a la temperatura por la variación de altitud.
- b) Para aparatos standard enfriados por aire, probados a alturas sobre el nivel del mar mayores de 1,000 metros, deben hacerse las siguientes correcciones por cada 100 metros (330 pies) arriba de los 1,000:

Transformadores autoenfriados en aceite.....	0.4%
Transformadores tipo seco	0.5%
Transformadores en aceite, ventilación forzada.....	0.6%
Transformadores con ventiladores	1.0%

BUSHING Y TERMINALES.

Las terminales de conexión de los transformadores son generalmente de los tipos:

Zapatas terminales con conector.

Boquillas terminales con conector.

Las zapatas terminales, con del tipo de plaza y se emplean como terminales de conexión para Baja tensión menor a 600 volts.

De las conexiones de las bobinas, esta terminal remata en una zapata, la que se une al conector que va en la parte superior de la boquilla.

En las boquillas de A.T., el hueco contiene además de la terminal de conexiones, una máquina muy fina enrollada en torno a la — terminal, con ésto se tiene un condensador, lo que da lugar a un campo — magnético uniforme dentro de la boquilla. Reduciendo con ello los esfuerzos por el mismo concepto.

Existen también boquillas que en su interior llevan al macenado un transformador de corriente de diseño especial que se utiliza para la protección.

CAMBIADOR DE DERIVACIONES (TAPS.)

El cambiador de derivaciones se emplea para suprimir o aumentar el número de vueltas o de bobinas de un devanado, con lo que se obtiene un nivel más o menos estable de la tensión requerida.

Los derivadores son generalmente colocados en el devanado de alta tensión, por ser este el devanado exterior y consecuentemente la conexión de derivadores puede hacerse fácilmente y sin dificultad por cuanto al aislamiento. Del mismo modo, como el devanado de alto voltaje tiene un gran número de vueltas el derivador puede ajustar estas para tener una mejor regulación en el voltaje.

Los derivadores en el lado de baja tensión no se recomienda, pues los conductores de los devanados son de mayor sección, llevando por ello una corriente considerable, que podría ocasionar arcos durante el cambio.

La posición física de los derivadores en el devanado de alta tensión, está determinada por consideración de voltaje, ampere-vuelta, balanceo en cada posición del derivador y variación de la impedancia sobre el rango del cambiador.

Previendo lo anterior se acostumbra conectar los contactos de los derivadores en el centro de devanados divididos.

LOS CAMBIADORES DE DERIVACIONES SE CLASIFICAN EN 2 GRUPOS QUE SON:

Cambiador de derivaciones sin carga.

Cambiador de derivaciones con carga.

Los cambiadores de derivaciones sin carga.

Son aquellos diseñados para ajustar la relación del transformador, en forma poco frecuente, cuando el transformador puede desconectarse de la línea. Este ajuste generalmente es manual y se hace para adaptar el transformador al voltaje promedio existente en la localidad del transformador.

CAMBIADOR DE DERIVADORES CON CARGA.

Estos cambiadores se diseñan para trabajar bajo carga; puesto que debe alimentar continuamente la carga aún en el período cuando el derivador está cambiando. Por este hecho cada dos derivadores deben estar puenteadas en el mismo camino durante el cambio del derivador. Para prevenir el excesivo flujo de corriente entre derivadores.

REGULACION.

La regulación de un transformador de tensión constante es la variación de la tensión en el secundario, expresada en tanto por ciento de la tensión nominal del mismo, que se produce cuando con determinado factor de potencia se anula la potencia útil en Kva, manteniéndose constante la tensión aplicada al primario.

Así, si la tensión en vacío en los terminales del secundario es V'_2 voltios, la regulación es:

$$\frac{V'_2 - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

Si la relación de transformación es la unidad, la regulación es, con mucha aproximación.

$$\frac{V_1 - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

Conociendo la resistencia y la reactancia equivalentes del transformador es posible determinar la regulación. La tensión del secundario en vacío es $V_1 (N_2; N_1)$, ya que la caída por impedancia en vacío es despreciable. Luego, con corriente en retraso de fase:

$$V_2 (N_2; N_1) = \sqrt{V_2 \cos \theta_2 + I_2 R_{02}}^2 + (V_2 \sin \theta_2 + I_2 X_{02})^2$$

y la regulación es:

$$\frac{V_1 (N_2; N_1) - V_2}{V_2} 100, \text{ por ciento}$$

3.- MOTOR DE INDUCCION.

EL MOTOR DE INDUCCION

El motor de inducción recibe este nombre debido a que igual que el transformador opera bajo el principio de inducción electromagnética.

Debido a que este tipo de motores no llega a trabajar nunca a su velocidad síncrona, también se conocen como **MOTORES ASINCRONOS**.

Elementos que constituyen un motor de inducción.

Un motor de inducción está constituido fundamentalmente por los siguientes elementos:

- 1.- Estator.
- 2.- Rotor.
- 3.- Carcaza.
- 4.- Auxiliares: tapas anterior y posterior, chumaceras de sujeción, caja de conexiones, base o soporte.

1.- ESTATOR.

El estator de los motores de inducción está formado por paquetes de láminas de acero al silicio troquelados.

El estator representa una de las partes del circuito magnético del motor. El contenido de silicio, que al igual que en los núcleos de transformadores depende de las densidades de flujo usuales, está constituido por paquetes de lámina troquelada en forma de ranuras con objeto de que el bobinado del estator pueda alojarse en dichas ranuras. Desde luego la forma de las ranuras varía de acuerdo con el tamaño o tipo del motor.

En las ranuras del estator se alojan las bobinas del estator, que puede considerarse en forma análoga al transformador como el circuito primario.

2.- ROTOR.

Recibe este nombre debido a que precisamente tiene la forma de una jaula de ardilla. Aquí el bobinado está constituido por barras que se vacían sobre el rotor destinado para este fin; las barras, por lo general, son de aluminio y al fundirse en el rotor debido a la forma que se les da, quedan unidas entre sí en corto circuito en la forma de una jaula de ardilla.

3.- CARCAZA O SOPORTE.

La carcaza recibe también el nombre de soporte por ser el elemento que contiene el estator y los elementos auxiliares del motor.

4.- AUXILIARES.

Al aplicar una tensión en las terminales del estator se produce una fuerza magnetomotriz uniforme y giratoria. Si suponemos, por ejemplo, que el rotor es del tipo jaula de ardilla, en cada barra se induce una fuerza magnetomotriz de sentido opuesto; ésta hace circular una corriente y se produce un par que hace girar el rotor.

Si se estudia el motor de inducción en forma semejante al transformador, se puede considerar el devanado del estator como el circuito primario y el del rotor como el secundario.

CONTROLADOR PARA MOTORES .

Un controlador cubrirá algunas o todas de las siguientes funciones: arranque, paro, protección de sobrecarga, protección de sobrecorriente, movimientos reversibles, cambios de velocidad, pulsiones, inversión rápida, control de secuencia, indicador de lámpara piloto. El controlador puede también servir de control para un equipo auxiliar, como por ejemplo; frenos, embragues, solenoides, calentadores y señales. Un controlador puede ser usado para control de un motor o grupo de motores.

ARRANCADOR .

Los términos de "arrancador" y "controlador" significan prácticamente la misma cosa. Estrictamente hablando, un arrancador es la forma más simple de un controlador y es capaz de arrancar y parar el motor y darle protección de sobrecarga.

MOTOR JAULA DE ARDILLA DE C.A.

El "caballo de carga" de la industria en general, es el motor jaula-de ardilla de C. A. De los miles de motores usados hoy en aplicaciones generales, la mayoría son del tipo jaula de ardilla. Estos motores son simples en su construcción y operación únicamente se conectan tres líneas de fuerza al motor y este operará.

El motor jaula de ardilla lleva este nombre debido a su construcción del rotor, que hace recordar una jaula de ardilla, sin tener devanado de alambre.

CORRIENTE DE CARGA PLENA (CCP)

Es la corriente requerida para producir un par de carga plena a una velocidad nominal.

CORRIENTE DE ROTOR BLOQUEADO.

Se denomina así a la corriente que demanda el motor de la línea de alimentación, cuando su rotor es frenado hasta llevarlo al punto de reposo.

De acuerdo a los estandar de NEMA, los motores de C. A. deberán llevar anotado en su placa de datos una letra de código como clave para mostrar los Kilovolt-amperes por HP. que demanda el motor cuando el rotor está bloqueado.

Es con frecuencia necesario determinar el valor de la corriente de -- Rotor Bloqueado de un motor. Con bastante aproximación, esta corriente puede ser determinada sobre la base de un valor promedio de KVA's por HP. dentro del rango correspondiente a la letra de código anotada en los datos de placa del motor. Así, para un motor trifásico, la -- corriente de rotor bloqueado será igual al valor promedio de KVA's -- multiplicado por los HP. del motor y por 1000; y este producto dividido entre el resultado de multiplicar 1.732 por el voltaje entre fases, dará el valor de corriente en amperes de rotor bloqueado.

VELOCIDAD DEL MOTOR .

La velocidad del motor jaula de ardilla depende del número de polos - del devanado del motor. En 60 ciclos, un motor de 2 polos opera aproximadamente a 3450 RPM, uno de 4 polos a 1725 RPM, a 6 polos a 1150 RPM. Las placas del motor, son generalmente marcadas con velocidades a carga plena, pero frecuentemente los motores son referidos por sus "velocidades sincrónicas" 3600, 1800 y 1200 RPM, respectivamente.

PAR .

Par es la fuerza "giratoria" o de "contorsión" del motor usualmente - medida en lbs-pie. Excepto cuando el motor es acelerado a alcanzar su velocidad, el par es relacionado a la potencia del motor, por la fórmula siguiente:

$$\text{PAR } \text{LBS-PIE} = \frac{\text{HP} \times 5252}{\text{RPM}}$$

El par de un motor de 25 HP a 1725 RPM sería calculado como sigue:

$$\text{Par} = \frac{25 \times 5252}{1725} = 76 \text{ Lbs-Pie aprox.}$$

Si se requirieran 90 lbs-pie para mover una carga en particular, el motor arriba mencionado sufriría una sobrecarga y demandaría mayor corriente que la corriente de carga plena.

TEMPERATURA AMBIENTE .

La temperatura del aire donde se encuentra una pieza del equipo se llama temperatura ambiente. La mayoría de los controladores son del tipo-encerrado y la temperatura corresponde a la del aire exterior y no al del interior del equipo encerrado. Esto es, si se dice que un motor -- debe estar a una temperatura ambiental de 30°C (86°F), ésta corresponde al aire de afuera del motor, no al de adentro. Según los estándares de NEMA, tanto los controladores como los motores, están sujetos a un límite de temperatura ambiente de 40°C (104°F).

ELEVACION DE TEMPERATURA .

La corriente que pasa por el devanado de un motor, resulta en un incremento de la temperatura del motor. A la diferencia entre la temperatura del devanado del motor en operación y a la temperatura ambiente , se le llama elevación de temperatura.

La elevación de temperatura producida a plena carga no resulta perjudicial al motor, siempre y cuando la temperatura ambiental no exceda de los 40°C (104°F).

Una temperatura más alta, motivada por incrementos de corriente o temperatura ambiental mayor, pueden producir efecto de deterioro en los materiales aislantes y en la lubricación del motor. Una vieja "regla del pulgar" dice que por cada incremento de 10° en la temperatura nominal, la vida del motor se acorta a la mitad.

CICLO DE TRABAJO .

La mayoría de los motores tienen un rango de trabajo continuo que permite una operación indefinida con cargas nominales.

Los rangos de trabajo intermitente se basan en un tiempo de operación fijo (5, 15, 30, 60 minutos), después del cual debe permitirse que el motor se enfríe.

FACTOR DE SERVICIO DEL MOTOR .

Si el fabricante ha dado al motor un factor de servicio, quiere decir que se le puede permitir desarrollar más de los HP, de placa, sin causar un deterioro indebido al material aislante. El factor de servicio es un margen de seguridad. Si, por ejemplo, un motor de 10 HP. tiene un factor de servicio de 1.15 se le puede permitir al motor desarrollar 11.5 HP. El factor de servicio depende del diseño del motor.

PULSION (JOGGING)

Esta acción describe arranque y paro repetidos de un motor, a intervalos frecuentes por períodos de tiempos cortos. Un motor podría ser sometido a estas condiciones de trabajo cuando una pieza de carga -- movida debe ser colocada en una posición adecuada de acercamiento; -- por ejemplo, cuando se pone en posición la mesa o banco de una cilíndreadora o rectificadora horizontal durante su colocación. Si este movimiento debe ocurrir más de 5 veces por minuto, los estándares NEMA -- requieren que el arrancador sea reclasificado, disminuyendo los valores de sus características eléctricas nominales.

Un arrancador tamaño NEMA1 tiene un rango normal de trabajo de $7\frac{1}{2}$ - HP. a 220 V, polifásico. En aplicaciones de movimiento pulsatorio, -- este mismo arrancador tiene una capacidad máxima de 3 HP.

PARO DEL MOTOR POR INVERSION DEL PAR ELECTRICO (PLUGGING)

Cuando un motor está operando en una dirección y momentáneamente se -- reconecta para invertir la dirección de rotación, el motor rápidamente cesa su marcha. Si un motor se opera si más de 5 veces por minuto,

será necesario reclasificar el controlador, debido al calentamiento de los contactos.

El cambio de par puede hacerse si la máquina movida y su carga no se vieran dañadas por la inversión del par del motor.

PROTECCION DEL MOTOR .

Los motores pueden ser dañados o reducida su vida efectiva, cuando se encuentran sometidos a una corriente constante, ligeramente más alta que su corriente de carga plena o su factor de servicio.

N O T A : Los motores están diseñados para soportar corrientes transitorias de arranque o de rotor bloqueado sin -- elevación excesiva de temperatura, tomando en cuenta que el tiempo de aceleración no sea demasiado largo ni el ciclo de trabajo demasiado frecuente.

Daño al material aislante y devanado del motor, pueden también ocurrir con corrientes extremadamente elevadas pero de corta duración, como se encuentran en "tierra" y en "cortos circuitos".

Toda corriente en exceso de la Corriente de carga plena, puede ser -- clasificada como sobrecorriente. Sin embargo, en general, debe hacerse una distinción basada en la magnitud de la sobrecorriente y en el equi po que va a protegerse.

Una sobrecorriente no mayor que la corriente de Rotor Bloqueado, generalmente es el resultado de una sobrecarga mecánica en el motor. La -- protección contra este tipo de sobrecorriente queda cubierta en el -- Art. 430 (parte C) de la Codificación Eléctrica, titulado "PROTECCION AL MOTOR POR SOBRECORRIENTE (SOBRECARGA) DURANTE LA MARCHA ".

En este manual, esta designación será acortada a decir "PROTECCION DE SOBRECARGA" y será definida la protección contra sobrecorriente que no exceda la corriente de Rotor bloqueado.

La sobrecorriente originada por corto circuito o tierra, es mucho más elevada que las corrientes de rotor bloqueado. En el equipo utilizado para proteger contra cualquier daño debido a este tipo de sobrecorriente, debe de protegerse no sólo el motor, sino también los conductores del circuito y el controlador del motor. Las estipulaciones para el equipo de protección se encuentran especificadas en el Art. 430 en la parte D titulada "PROTECCION AL MOTOR POR CORTO CIRCUITO Y FALLAS POR TIERRA". En este manual este título lo designamos simplemente como "PROTECCION POR SOBRECORRIENTE", cubriendo la protección contra altas sobrecorrientes, tales como las de corto circuito o tierra.

La protección del motor por sobrecarga difiere de la protección por sobrecorriente y cada una de estas protecciones serán cubiertas en forma separada en los párrafos subsiguientes.

PROTECCION POR SOBRECORRIENTE

La función del dispositivo protector de la sobrecorriente, es la de proteger a los conductores y circuitos derivados del motor, los aparatos de control y al motor mismo, de los cortos circuitos y tierras. Los dispositivos protectores comunmente usados para sensar y librar las sobrecorrientes, son los interruptores termomagnéticos y los fusibles. El dispositivo para protección de corto circuito podrá llevar la corriente inicial del motor, pero este dispositivo no llevará calibración que exceda del 250% de la corriente a plena carga cuando no haya una letra o clave de rotor bloqueado del motor, ó de 150 a 250% de la corriente a plena carga, dependiendo de la letra clave que lleve el motor. Cuando no tenga capacidad suficiente para llevar la corriente de arranque del motor, puede aumentarse su calibración, pero en ningún caso se excederá del 400% de la corriente de carga plena del motor.

La reglamentación eléctrica requiere (con pocas excepciones) un medio para desconectar el motor y el controlador de la línea, en adición de un dispositivo protector de la sobrecorriente. El interruptor termomagnético ilustrado puede desconectar con una sola unidad. Cuando la sobrecorriente tiene como protección los fusibles, se requiere un desconectador,

éste y los fusibles se combinan generalmente.

SOBRECARGAS .

Un motor como máquina siempre llevará cualquier carga, aún si ésta es excesiva. Excluyendo la corriente de arranque o la de rotor bloqueado, un motor demanda una corriente cuando está en operación y que es proporcional a la carga, la cual va desde la corriente sin carga, hasta la corriente a plena carga cuyo valor se encuentra estampado en la placa del motor. Cuando la carga excede el par normal del motor, - - este demandada una corriente más elevada que la corriente a plena carga y esta condición se considera como una sobrecarga. La sobrecarga máxima existe bajo las condiciones del Rotor bloqueado, en las cuales la carga es tan excesiva que el motor se para o no se puede arrancar y como consecuencia, demanda la corriente de rotor bloqueado.

La sobrecarga pueden ser eléctricas o mecánicas en su origen. Trabajar un motor polifásico con una fase o línea con bajo voltaje, puede ser ejemplo de sobrecargas eléctricas.

PROTECCION DE SOBRECARGAS .

El efecto de una sobrecarga es una elevación de temperatura en el devanado del motor. Mientras mayor sea la sobrecarga, más rápidamente se incrementará la temperatura a un punto tal que daña los aislantes y la lubricación del motor. Una relación inversa, por lo tanto, existe entre corriente y tiempo. Mientras mayor sea la corriente, más - - corto será el tiempo en el que el motor se dañe, o queme.

Todas las sobrecargas acortan la vida del motor por deterioro del material aislante. Relativamente, las pequeñas sobrecargas de corta duración causan daño en pequeño grado, pero si se sostienen, harían tanto daño como las sobrecargas de magnitud más grandes.

PROTECCION DE SOBRECARGA - FUSIBLES .

Los fusibles no están diseñados para proporcionar protección de sobrecargas. Su función básica es proteger contra los cortos circuitos - - (sobrecorrientes). Los motores demandan una corriente alta de arranque (generalmente 6 veces la corriente de carga plena) al arrancar.

Así, un fusible seleccionado sobre la base de motor con corriente de carga plena, se fundiría cada vez que el motor se pusiera en marcha.

Por otra parte, si un fusible fuese escogido lo suficientemente grande para poder conducir la corriente de arranque, no protegería al motor contra las pequeñas sobrecargas perjudiciales que podrían ocurrir posteriormente.

Los fusibles de doble elemento o retardadores de tiempo, pueden dar una protección de motor por sobrecarga, pero tienen la desventaja de que al fundirse, es necesario reemplazarlos.

PROTECCION DE SOBRECARGA RELEVADORES DE SOBRECARGA .-

El relevador de sobrecarga es el corazón de la protección del motor. Como el fusible de doble elemento, un relevador de sobrecarga tiene características de tiempo inverso en el disparo o apertura, permitiendo mantener la conducción durante el período de aceleración (cuando se demanda la corriente de arranque), pero dando protección en las pequeñas sobrecargas de la CCP cuando el motor está operando. Contrariamente al fusible, el relevador de sobrecarga no provee protección de corto circuito. Esta es una función de un equipo protector de sobrecorrientes, como son los fusibles e interruptores termomagnéticos.

El Relevador de Sobrecarga.

Consiste en una unidad sensible a la corriente, conectada en la línea del motor, más un mecanismo que actúa por medio de la unidad, que sirve para directa o indirectamente interrumpir el circuito. En un arrancador manual una sobrecarga dispara a una especie de aldaba mecánica que causa que el arrancador abra sus contactos y desconecte el motor de la línea. En los arrancadores magnéticos una sobrecarga abra un juego de contactos que se encuentran en el mismo relevador de sobrecarga. Estos contactos son alambrados en serie con la bobina del arrancador en el circuito de control del arrancador magnético. Al abrirse el circuito de la bobina hace que los contactos del arrancador se abran desconectando así el motor de la línea.

Los Relevadores de Sobrecarga .

Pueden ser clasificados en térmicos y magnéticos, los relevadores de sobrecarga magnéticos reaccionan únicamente a los excesos de corriente y

no son afectados por la temperatura. Como su nombre lo indica, en los relevadores de sobrecarga térmicos la operación depende de la elevación de temperatura causada por la corriente de sobrecarga, la cual hace operar el mecanismo de disparo. Los relevadores térmicos de sobrecarga - - pueden ser subdivididos en los tipos de aleación fusible y bimetálicos.

4.- ARRANCADORES AUTOMATICOS A VOLTAJE REDUCIDO.

ARRANCADORES AUTOMÁTICOS A VOLTAJE REDUCIDO

Los arrancadores automáticos a voltaje reducido tipo auto transformador se utilizan para el arranque de motores con rotor de jaula de ardilla, para potencias de hasta 150 HP a 220 V, y 300 -- HP a 440V, 50 ó 60 Hz. Arrancadores de mayor potencia se fabrican solamente por pedidos especiales.

Estos arrancadores limitan la corriente en la etapa de -- arranque, impidiendo alcanzar corrientes que pueden causar fluctuaciones perjudiciales en la línea de alimentación.

Al arrancar con un arrancador de voltaje reducido tipo -- autotransformador, se reduce la tensión en bornes del motor, según la relación de transformación del autotransformador. Por lo general, se utilizan autotransformadores con tomas de 50, 65 y 80 % -- de la tensión nominal.

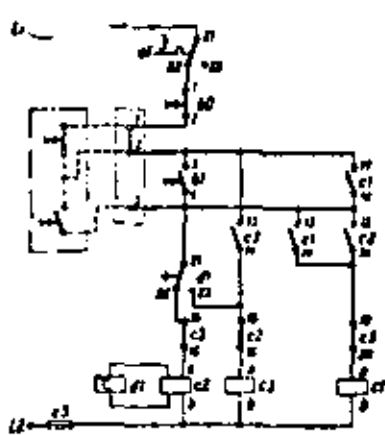
La intensidad de corriente consumida por el motor en la etapa de arranque disminuye en la misma proporción que la tensión en bornes del motor, es decir, según la relación de transformación del autotransformador.

El par de arranque del motor que puede cederse es proporcional a la potencia consumida por el motor, o sea, el par de -- arranque se reduce cuadráticamente con la relación de transformación del autotransformador.

La capacidad del secundario del autotransformador se puede -- al no tomar en cuenta la corriente de excitación y las pérdidas de tensión en el autotransformador -- igualar nuevamente su capacidad primaria sacada de la red.

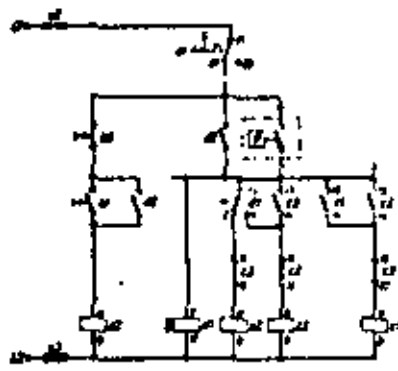
De lo anterior resulta:

Al reducir la tensión en bornes del motor por medio de -- un autotransformador, baja la corriente tomada de la red cuadráticamente con la disminución de la tensión, es decir, en la misma -- proporción que el momento de rotación del motor.

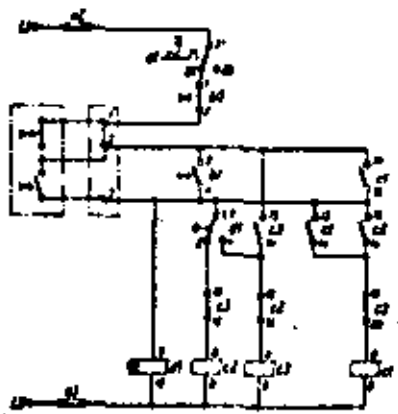


Con accionamiento por pulsadores
(Contacto de corta duración) para
arrancadores hasta 45 A

Los arrancadores pueden controlarse en combinación
con interruptores de presión, modificando el alambrado
de la siguiente forma:

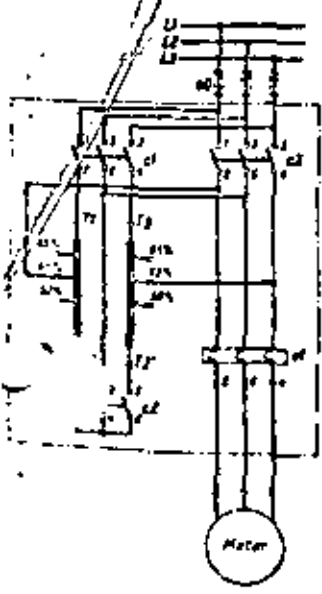


Con accionamiento por interruptor no incorporado
(Contacto permanente)



Con accionamiento por pulsadores
(Contacto de corta duración) para
arrancadores desde 45 A hasta 400 A

Circuito principal



Para operación a control remoto, conectar la estación de
botones como se indica con líneas punteada, suprimiendo
el puente para los circuitos 1 y 2

- C1 Contactor a voltaje reducido
- C1 Contactor punto estrella
- C2 Contactor a plena voltaje
- b Interruptor (contacto permanente)
- b1 Pulsador -arrancar-
- b0 Pulsador -parar-
- d1 Relé de tiempo (electromecánico)
- e1 Relé de sobrecarga
- e2 Protección contra cortocircuitos fusibles o subfusibles
- e2/e3 Automáticos de protección para el circuito de control

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

La determinación de las corrientes de corto circuito en sistemas de potencia industrial es una de las más importantes consideraciones en el diseño de los mismos. Solamente después de conocer las corrientes máximas de corto circuito es posible seleccionar todos los dispositivos de protección de dichos sistemas.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO Y SUS EFECTOS.

En ocasiones solamente la corriente de carga se considera cuando se selecciona un circuito interruptivo ó fusible. Esto se hace debido a que los circuitos interruptivos ó fusibles puedan seleccionarse con su adecuada I.C. (capacidad interruptiva). Esta I.C. cortará la máxima corriente de corto circuito, la cual puede causar el sistema de potencia al fluir a través del circuito interruptor ó fusible si ocurre una falla en el elemento que protege.

La magnitud de la corriente de carga se determina por la cantidad de trabajo que se realiza y lleva una relación pequeña de acuerdo al tamaño del sistema de suministro.

Así la magnitud de la corriente de corto circuito está relacionada directamente con la capacidad de la fuente de potencia; mientras más grandes sean los aparatos con los cuales se suministra la potencia eléctrica al sistema, más grande será la corriente de corto circuito.

Consecuentemente, es necesario considerar el tamaño del sistema de suministro tanto como la corriente de carga, para asegurar que los interruptores ó fusibles seleccionados tengan la suficiente capacidad interruptiva para detener el flujo de la corriente de corto circuito.

FUENTES DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

Cuando se determinan las corrientes de corto circuito, es en extremo importante que todas las fuentes de corto circuito se consideren y que las reactancias características de esas fuentes sean conocidas. Las fuentes básicas de corrientes de corto circuito son: los generadores, motores y condensadores sincrónicos, motores de inducción. Todos pueden alimentar a la corriente de corto circuito en una falla.

CORRIENTES ASIMÉTRICAS DE CORTO CIRCUITO.

La mayoría de las corrientes de corto circuito son asimétricas. Estas corrientes se presentan si el corto circuito ocurre cuando el voltaje no es máximo. La determinación exacta de tales corrientes de corto circuito es muy complicada; se asume, por simplicidad, que consiste de dos componentes:

- a.- La componente simétrica de corriente alterna.
- b.- La componente de corriente directa.

La componente simétrica de la corriente de corto circuito, es aquella la cual se presente cuando al ocurrir el corto circuito el voltaje es máximo; se determina dividiendo el voltaje de línea a neutro entre la reactancia propia. La componente de corriente directa se determina usando un factor de multiplicación.

A manera de ejemplo se calcularán las corrientes de corto-circuito para un sistema de potencia normalmente empleado para el suministro de energía eléctrica a un equipo de Bombeo para pozo profundo.

CALCULO DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

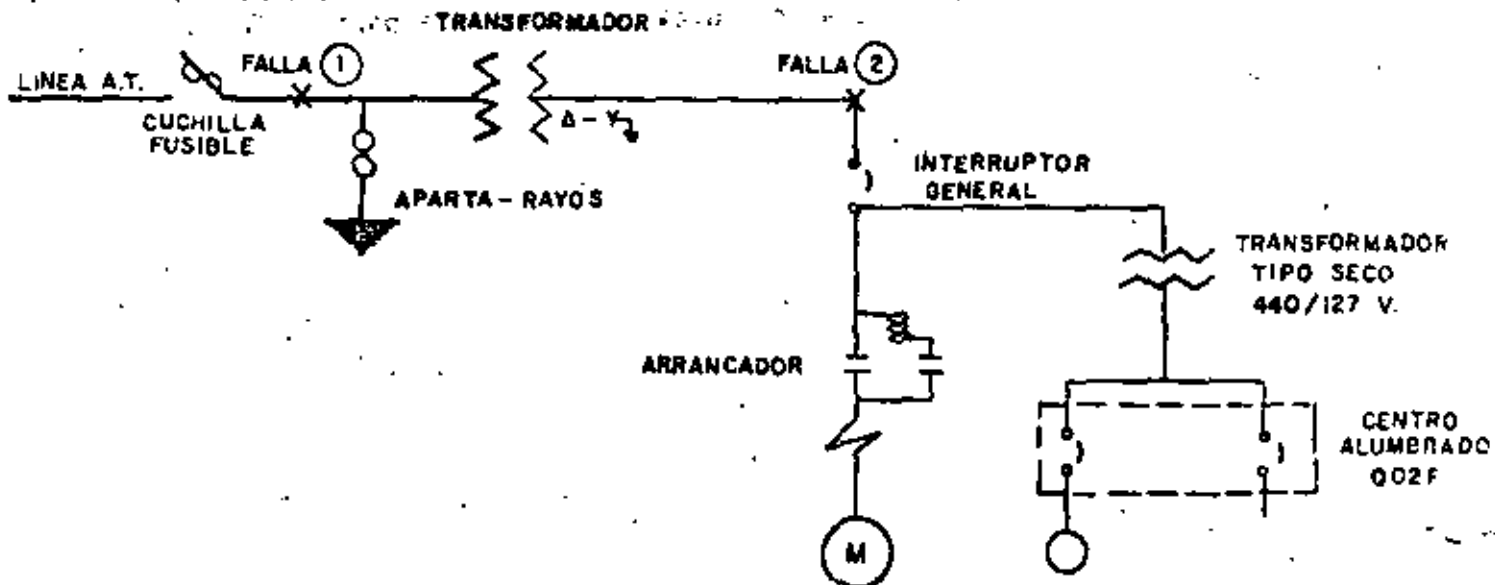


DIAGRAMA UNIFILAR

CONSIDERANDO LOS SIGUIENTES DATOS:

LINEA DE ALTA TENSION:

Longitud = 1.5 KM. 13.2 KV.

Tipo de conductor = ACSR 1/0

TRANSFORMADOR

112.5 KVA, $\%Z=3$

13.200/440/220

Para la selección de la cuchilla tipo fusible es necesario considerar la impedancia de la línea de alta tensión.

Considerando las características de los cables de aluminio

reforzado en acero (ACSR 1/0) son los siguientes:

AREA NOMINAL DEL ALUMINIO = 53.54 mm^2

NUMERO Y DIAMETRO DE ALAMBRES (mm):

ALUMINIO - 6 X 3.37

ACERO - 1 X 3.37

DIAMETRO TOTAL APROXIMADO: 10.11 mm.

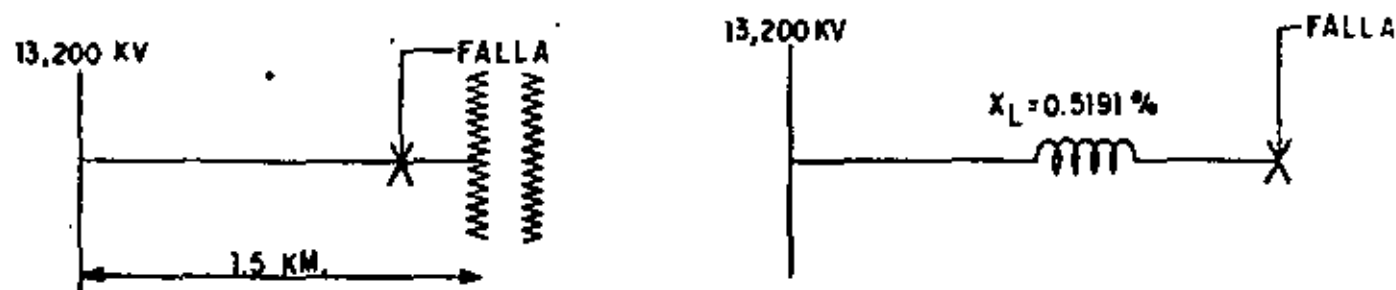
RESISTENCIA CC 20 °C NOMINAL: 0.536 OHM/KM.

PESO NOMINAL 214.89 KG/KM.

FALLA EN EL PUNTO 1

CONSIDERANDO KVA = 112.5 = P BASE

CONSIDERANDO KVA BASE = 112.5 = PBASE



CALCULO DE LA REACTANCIA DEL RAMAL.

Para calcular la reactancia del ramal en %, se emplea la siguiente fórmula:

$$X_1 = \frac{100 \times P_{\text{BASE}} \times Z}{V^2}$$

V es la tensión de la línea en KV

X_1 es la reactancia total

sustituyendo.

$$X_1 = \frac{100 \times 1.5 \times 0.536 \times 112.5}{(13.2)^2} = \frac{9045}{174.24} = 51.91\% = 0.5191\%$$

la corriente de base en el ramal de 13.2 KV será:

$$I = \frac{112.5}{13.2 \sqrt{3}} = 4.92 \text{ amperes.}$$

$$I_{\text{BASE}} = I_{\text{NOMINAL}}$$

la corriente subtransitoria para un tiempo de duración de 0.1 seg.

$$I''_{d.} = \text{Fact. de multi.} \times \frac{I_{\text{base en KA}}}{\frac{X_1\%}{100}}$$

El factor de multiplicación por lo general es 1.1. Se considera así porque al ocurrir la falla el voltaje usualmente es 10% mayor que el nominal.

$$I''_{do} = 1.1 \times \frac{100 \times 0.00492}{51.91} = \frac{(1.1)0.492}{51.91} = 0.01042.$$

$$= 0.010425 \text{ KA} = 10.425 \text{ amperes.}$$

la potencia de corto circuito subtransitoria

$$P_{do}^{n} = \text{fact.de mult.} \times \frac{P_{base}}{\%} \text{ (KVA)} = 1,1 \times \frac{112,5 \times 100}{51,91} = \frac{11250 \times 1,1}{51,91}$$

$$P_{do}^{n} = 238,39 \text{ KVA} \quad P_{BASE} = P_{NOMINAL.}$$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

De la gráfica I, constante de la I_{cc} simétrica.....2.00

De la gráfica II, constante de I_{cc} asimétrica.....2.10

De la gráfica III, constante de I_{cc} dinámica (curva A)5.50

De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes térmicas:

a 1 Seg. 1.80

a 5 Seg. 1.40

De donde se obtienen los siguientes valores

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SIMETRICA = $2 \times 4.92 = 9.84$ Amperes

POTENCIA DE C.C. SIMETRICA = $V \times I \times 13.2 \times 9.84 = 224.70$ KVA

CORRIENTE DE C.C. ASIMETRICA = $2.10 \times 4.92 = 10.33$ amperes.

CORRIENTE DE C.C. DINAMICA = $5.50 \times 4.92 = 27$ amperes (máximos)

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO TÈRMICAS:

a 1 seg = $1.80 \times 4.92 = 8.856$ amperes.

a 5 seg = $1.40 \times 4.92 = 6.888$ amperes.

De lo anterior el Interruptor tendrá las siguientes caract

$P_{do} = 238.39 \text{ KVA}$

$P_{BASE} = P_{NOMINAL}$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

De la gráfica I, constante de I_{cc} simétrica	2.00
De la gráfica II, constante de I_{cc} asimétrica	2.10
De la gráfica III, contante de I_{cc} dinámica (curva A)	5.50
De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes térmicas:	
a 1 Seg.	1.80
a 5 Seg.	1.40

De donde se obtienen los siguientes valores

CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO SIMETRICA = $2 \times 4.92 = 9.84$ Amperes

POTENCIA DE C.C. SIMETRICA = $\sqrt{3} \times 13.2 \times 9.84 = 224.70$ KVA

CORRIENTE DE C.C. ASIMETRICA = $2.10 \times 4.92 = 10.33$ amperes

CORRIENTE DE C.C. DINAMICA = $5.50 \times 4.92 = 27$ amperes (máximos)

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO TERMICAS:

 a 1 seg. = $1.80 \times 4.92 = 8.856$ amperes

 a 5 seg. = $1.40 \times 4.92 = 6.888$ amperes

De lo anterior el interruptor seleccionado tendrá las siguientes características:

POTENCIA 200 KVA

CORRIENTE DINAMICA 30 AMPERES

CORRIENTE TERMICA A 1 SEG. 20 AMPERES

CORRIENTE TERMICA A 5 SEG. 15 AMPERES

terísticas:

Potencia 200 KVA

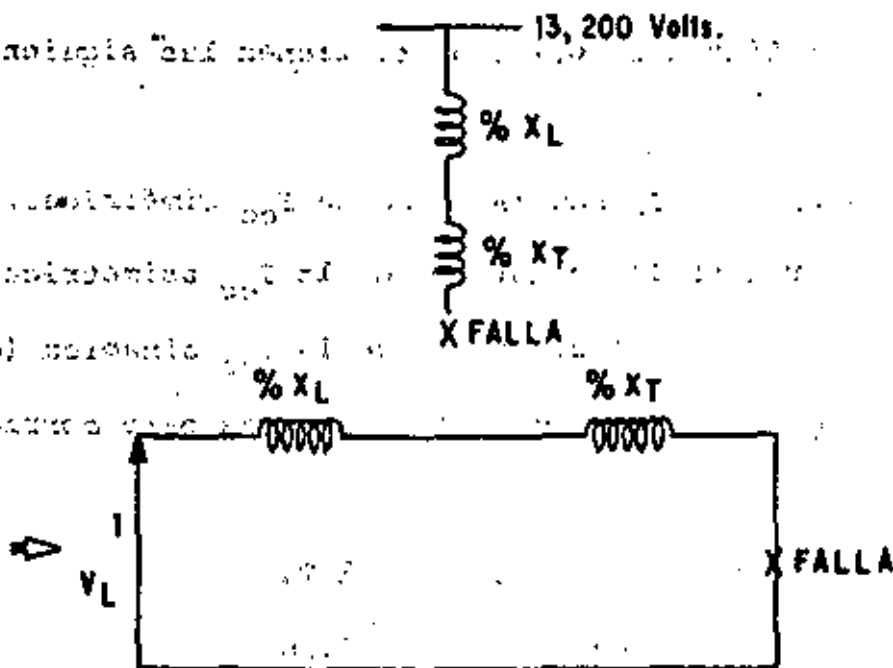
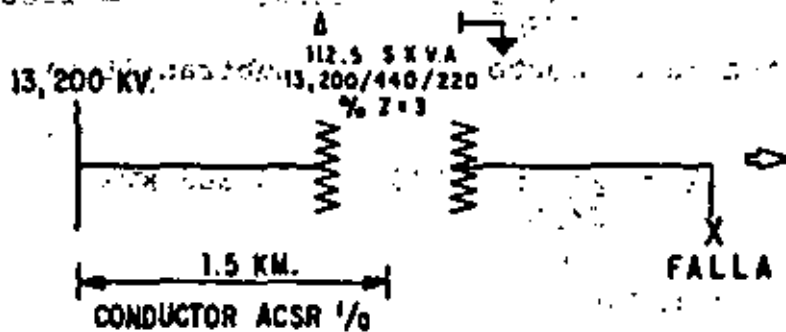
Corriente Dinámica 30 amperes

Corriente Térmica a 1 seg. 20 amperes

Corriente Térmica a 5 seg. 15 amperes.

Si se usa el interruptor tipo cuchillas fusibles deberán

tener una capacidad de 10 amperes



$$X_L = 0.5191 \%$$

$$X_T = 0.03 \%$$

$$X = X_L + X_T = 54.91\% = 0.5491\%$$

$$I = \frac{112.5}{0.440 \sqrt{3}} = 147.79 \text{ amp.}$$

$$I_{\text{BASE}} = I_{\text{nominal}}$$

la corriente subtransitoria para un tiempo de duración de 0.1 seg.

$$I''_{d0} = 1.1 \times \frac{0.14779}{54.91} = \frac{1.1 \times 0.14779 \times 100}{54.91} = 2.96 \text{ Kamperes} = 2960 \text{ amperes}$$

la potencia de corto circuito subtransitoria

$$P''_{d0} = 1.1 \times \frac{112.5}{54.91} \times 100 = 225.368 \text{ KVA}$$

$$P_{\text{BASE}} = P_{\text{NOMINAL}}$$

Para un tiempo de 0.1 seg. se tienen las siguientes constantes:

- De la gráfica I, constante de la I_{cc} simétrica.....1.9
- De la gráfica II, constante de la I_{cc} asimétrica.....1.95
- De la gráfica III, constante de la I_{cc} dinámica (curva A) 5.25
- De la gráfica III, curvas B, factores para corrientes térmicas:

$$a \text{ 1 seg.} \dots \dots 1.71$$

$$a \text{ 5 seg.} \dots \dots 1.38$$

$$\text{Corriente de corto circuito simétrica} = 1.9 \times 2960 = 5624 \text{ amp.}$$

Potencia de c.c. simétrica = $\sqrt{3} \times 0.440 \times 5624 = 4280 \text{ KVA.}$

corriente de c.c. asimétrica = $1.95 \times 5624 = 10,966.80 \text{ amperes}$

corriente de c.c. dinámica = $5.25 \times 5624 = 29,256.00 \text{ amperes}$

Corriente de corto circuito térmicas:

a 1 seg. = $1.71 \times 2960 = 5061.60 \text{ amperes.}$

a 5 seg. = $1.38 \times 2960 = 4,084.80 \text{ amperes.}$

Considerando los resultados anteriormente obtenidos el interruptor termo magnético seleccionado tendrá las siguientes características:

Interruptor tipo: F.A.

Voltaje máximo en corriente alterna: 600 Volts.

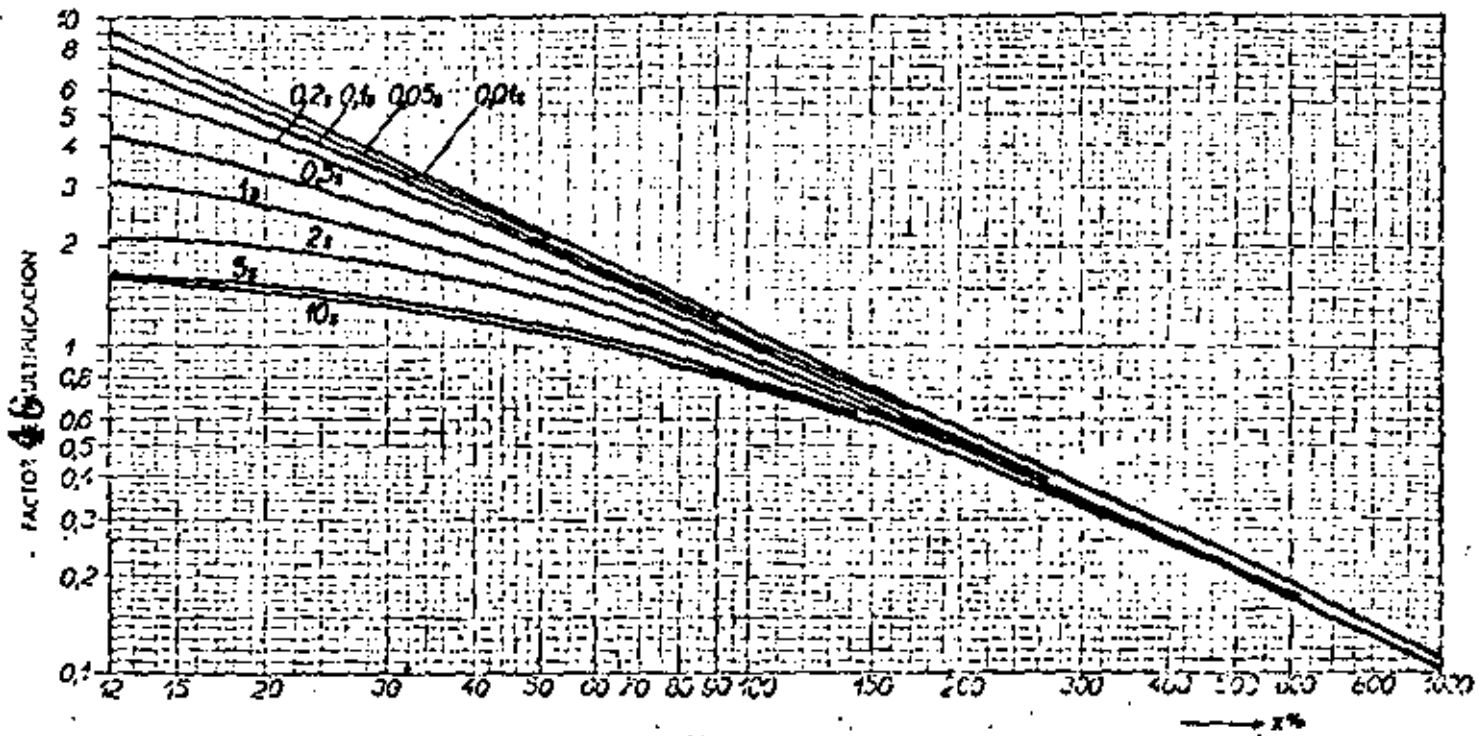
No. de polos: 3

Rango en amperes: de 15 a 100

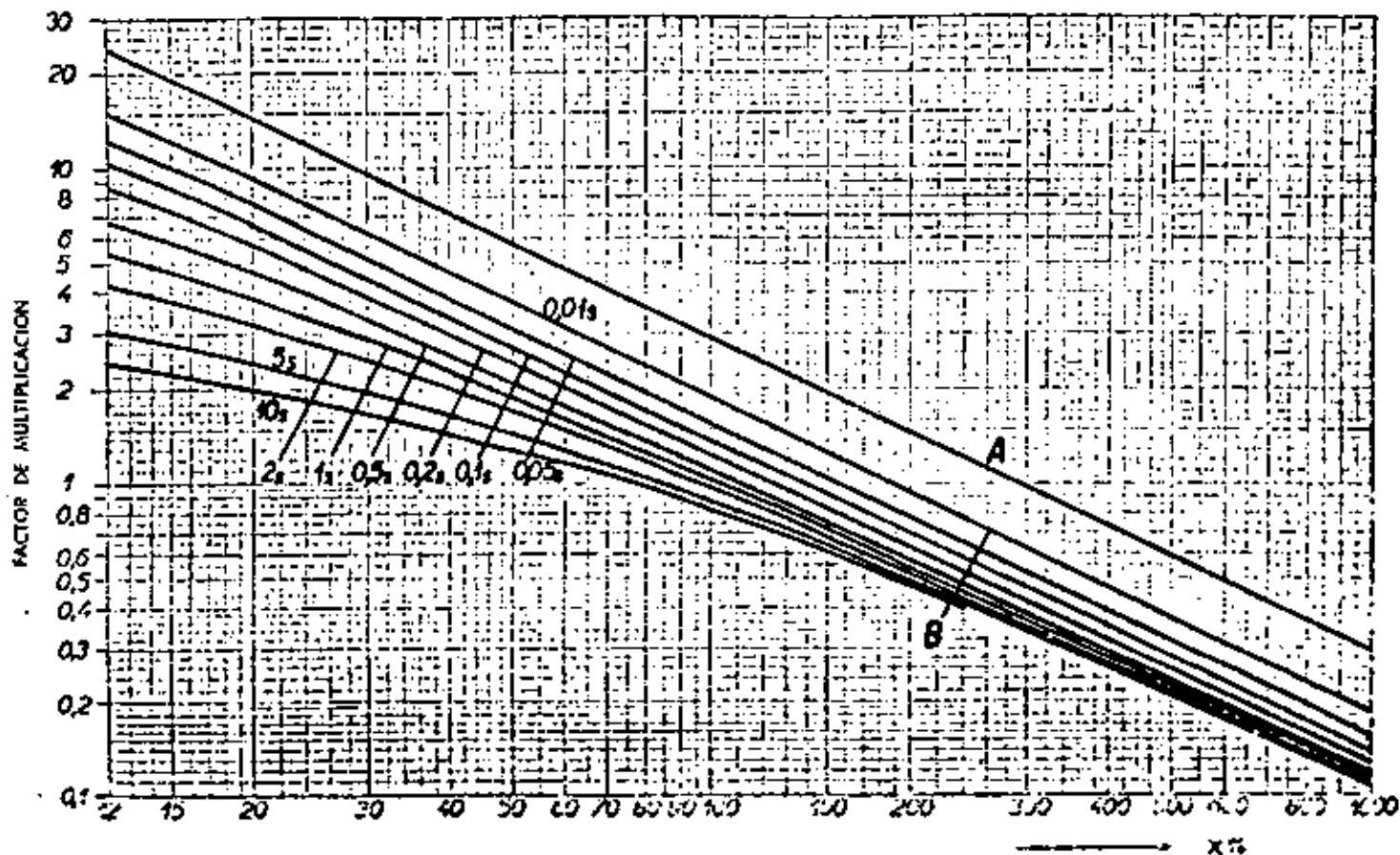
Corriente simétrica total de corto circuito: 5100 amp.

Corriente máxima secundaria: 136 amperes

El interruptor se selecciono en base al catálogo de Square-"D" de México, S.A.



GRÁFICA 1. Factores de multiplicación para obtener la corriente de corto circuito eléctrica.



GRÁFICA 3. Factores de multiplicación, para obtener las corrientes de corto circuito dinámico (curvas A) y de efecto térmico (curvas B).

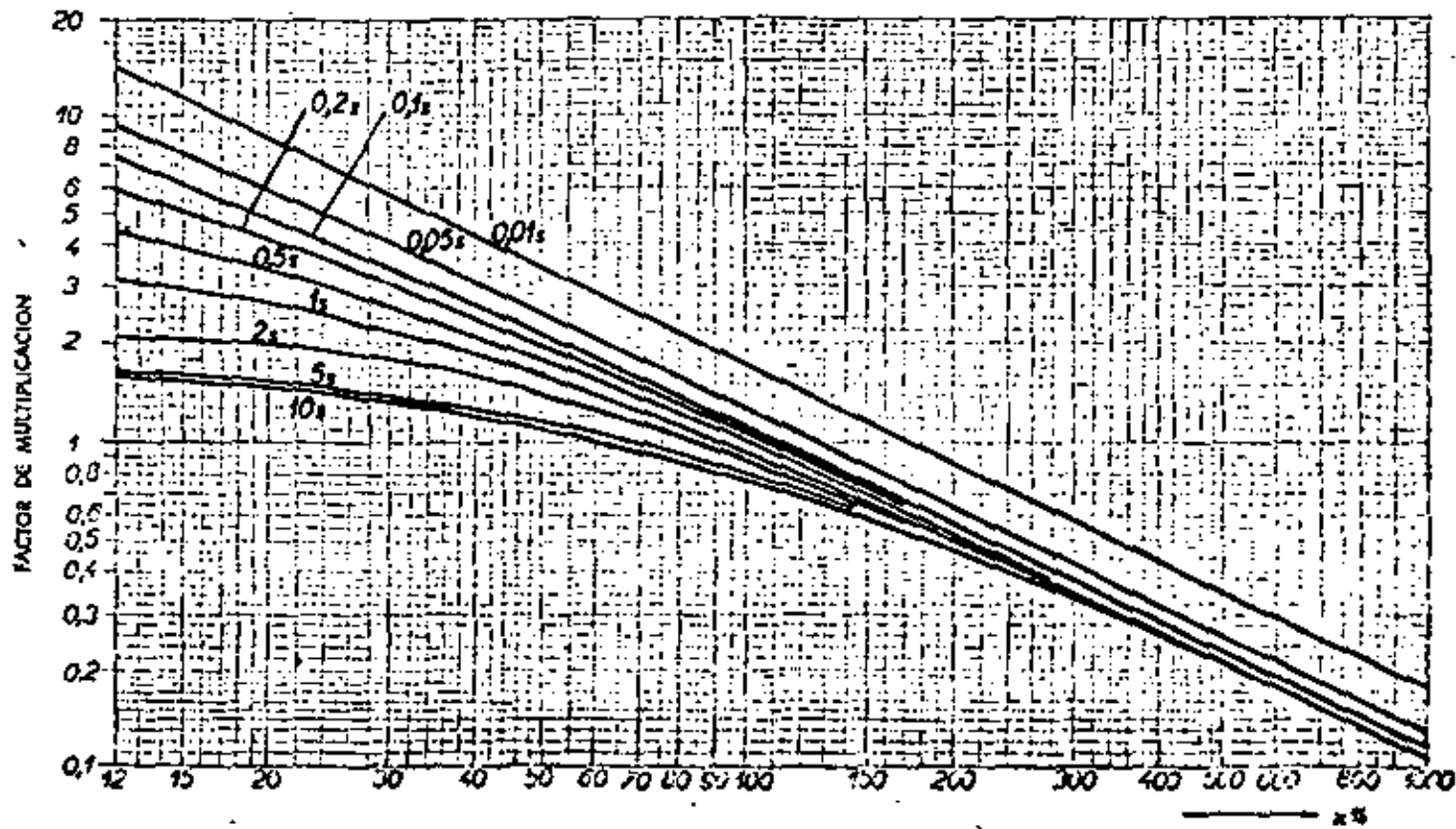


GRÁFICO 2. Factores de multiplicación para obtener la corriente de corto circuito asimétrica.

5.- F U S I B L E S

FUSIBLES

Definición.- Es una válvula de seguridad de funcionamiento térmico que se diseña para interrumpir un circuito eléctrico cuando por él circula sobrecorriente que pueda dañar a los conductores, equipos y/o aparatos conectados a él.

Alambres de Cobre.- A fines del siglo XIX se soldaba e intercalaba a dos terminales a un circuito determinado; con sección transversal menor que la del conductor en donde se le intercalaba. Dado que la fusión del alambre de cobre es a una temperatura de 1080°C , se dañaba el aislamiento de los conductores y los equipos vecinos antes de lograr la fusión.

ALEACIONES DE PLOMO Y ESTAÑO.- No se genera calor excesivo durante las sobrecargas. Se les encerró en tubos de vidrio, cerámica ó fibra vulcanizada.

Sin embargo, debido al bajo punto de fusión de aquéllas aleaciones (temperatura máxima de fusión a los 326°C) se tenían que utilizar alambres cuya transversal era bastante mayor que la de los correspondientes, hecho con alambre de cobre, y por tanto, durante su operación por fallas de corto circuito, se provocaban violentas explosiones.

Se buscó posteriormente un metal intermedio en lo que a punto de fusión se refiere, del cobre y el plomo. El metal seleccionado fué el Zinc cuyo punto de fusión se alcanza a los 420°C . Con el uso de éste metal se encontró además que no favorece el arqueo. Se encerraban (Como mejora técnica) los elementos sensibles a la corriente (eslabones fusibles) en tubos de cerámica ó fibra vulcanizada con un material inerte cuya misión principal es la de ahogar el arco y así reducir la magnitud de la explosión provocada en fallas de corto circuito.

Fusibles de Cartucho.- En la primera década del siglo XX, se adoptaron en E.U.A. la forma y dimensiones de éstos fusibles que hasta la fecha se fabrican

NORMAS OFICIALES (Dimensión, material y funcionamiento)

E.U.A. - UL-198-1972

MEXICO. -DGN-J-9-1970

Fabricados para ser utilizados en tensiones de $\left\{ \begin{array}{l} 250 \text{ V C.A.} \\ 600 \text{ Amperes nominales} \end{array} \right.$

En ésta norma también se incluyen los fusibles de tapón los cuales se pueden utilizar con tensiones hasta de 127 Volts. C.A. de fase a tierra.

FUSIBLES MODERNOS.-

Necesidad.- Se requería contar con un fusible que fuera renovable y que cumpliera con las normas en mención.

Eslabón fusible.- Proporciona protección eficaz contra fallas del corto circuito, pero no contra sobrecargas. Se desarrolló un eslabón fusible-capaz de proteger contra sobrecargas y contra corto circuito.



Eslabón fusible diseño antiguo.



Eslabón fusible diseño moderno.

Aumento de demanda de Energía \rightarrow magnitud de las corrientes de falla por corto circuito \rightarrow fusibles con capacidad interruptiva superior a 10,000 amperes r.m.c. simétricos. Se fabrican de acuerdo a las normas : Oficiales de E.U.A.

UL- 198 - 3 (Revisión de Octubre de 1976)	} fusibles clases: G, J, L, & UL
UL- 198 - 4 (misma fecha de revisión)	} fusibles clase R

No existen a la fecha, normas mexicanas que cubran a éste tipo de fusibles. Todos los fusibles anteriores son no renovables.

FUSIBLES CLASE K (De doble elemento)

Subclases K-1, K-5, K-9 tendrán cualidades particulares con respecto a la magnitud de las corrientes de c.c. que puedan limitar.

Capacidad interruptiva.- 50,000-200,000 amperes simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE G.- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente. Se utilizan para circuitos con tensiones hasta de 330 volts. a tierra y corriente de hasta 60 amperes nominales

Capacidad interruptiva . - 100,000 amperes simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE J.- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente. Se utilizan para circuitos con tensiones hasta de 600 volts. y corrientes hasta de 600 amperes nominales.

Capacidad interruptiva.- 200,000 amp. simétricos rmc.

FUSIBLES CLASE L- Alta capacidad interruptiva y limitadores de corriente tensiones hasta 600 volts. corrientes nominales desde 600 hasta 6000 amperes capacidad interruptiva 200,000 amp. simétricos rmc.

FUSIBLES	{	No renovables .- De eslabón fusible, también llamados "one time"
		renovables

PROTECCION DE MOTORES.-

Los fusibles se utilizan frecuentemente para proteger circuitos derivados para motores contra sobrecorrientes de corto circuito y fallas a tierra siendo por tanto necesario saber seleccionar correctamente su capacidad nominal cuando se utilicen con ese propósito.

MOTORES DE INDUCCION DE JAULA DE ÁRDILLA.-

El motor más ampliamente utilizado en las instalaciones eléctricas industriales y comerciales es el motor de jaula de ardilla. Desde el punto de vista de la protección contra sobrecorrientes sus características más importantes son:

- a) El periodo de arranque ó aceleración
- b) La corriente de rotor bloqueado
- c) La capacidad para tolerar sobrecargas
- a) Periodo de arranque ó aceleración :

Una vez que se ha aplicado tensión a un motor se necesita que transcurra cierto tiempo para que alcance su velocidad normal. La magnitud y duración de la corriente durante ese periodo, dependen de la inercia y las características de la carga que se le acopla, de su diseño y del método de arranque .

b) Corriente de Rotor Bloqueado:

Es aquella que demanda el motor cuando su rotor que frenado por tener acoplada una carga excesiva, por estar trabados su baleros ó por haber baja tensión en sus terminales. Su magnitud es aproximadamente igual a 6 veces la corriente de plena carga del motor.

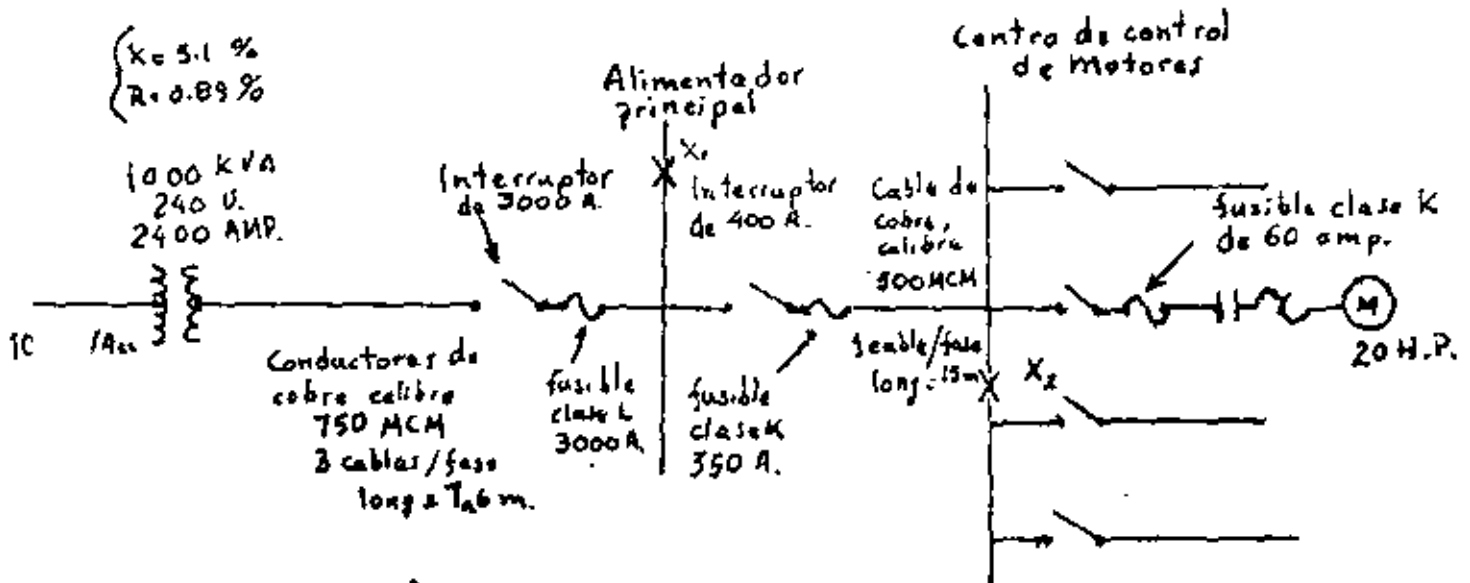
c) Capacidad para soportar sobrecargas:

Las sobrecorrientes cuya magnitud sea hasta de 6 veces el valor de la corriente nominal del motor, se consideran debidas a sobrecargas y las mayores se consideran de corto circuito.

Para prevenir el calentamiento excesivo de los devanados del motor y evitar la inutilización del aislamiento, se deben utilizar relevadores de sobrecarga, los cuales son dispositivos de protección que permiten al motor llevar sobrecargas que no lo dañan pero que lo desconectan si la sobrecarga persiste ó es de mayor magnitud.

CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO

- a) Corriente simétrica eficaz (r.m.c.) en amperes
- b) Corriente máxima r.m.c. de una fase, en amperes
- c) Corriente trifásica



$$\% \text{ reactancia} = \frac{I_n \times \text{reactancia en ohms}}{V_n} \times 100$$

I_n y V_n son la corriente y tensión nominales

$$\% \text{ resistencia} = \frac{I_n \times \text{resistencia en ohms}}{V_n} \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = \frac{I_n \times \text{impedancia en ohms}}{V_n} \times 100$$

Contribución asimétrica del motor:

$$I \text{ rotor bloqueado} = \frac{\text{KVA/HP} \times \text{HP} \times 1000}{K \times V_L}$$

$K = 1$ para motores monofásicos

$K = 2$ para motores bifásicos

$K = \sqrt{3}$ para motores trifásicos

contribución asimétrica = 5 x corriente a plena carga del motor (aprox.)

contribución simétrica = 4 x corriente a plena carga del motor (aprox.)

Reactancias y resistencias referidas a una base en KVA

$$X_2 = \frac{\text{KVA base}}{\text{KVA}_1} \times X_1$$

$$R_2 = \frac{\text{KV base}}{\text{KVA}_1} \times \frac{K}{12} \times R_1$$

X_2 & R_2 en % referidas a la nueva base

X_1 & R_1 en % original

KVA base es la nueva base

KVA_1 son los KVA nominales

% Impedancia (resistencia ó reactancia)

dadas en ohms ó por unidad

$$\% \text{ Impedancia} = \frac{\text{impedancia en ohms} \times \text{KVA base}}{\text{KV}^2 \times 10}$$

% impedancia = 100 x impedancia en P.U.

Cuando se tiene como dato (la compañía suministradora)

a).- la capacidad de corto circuito en KVA ó MVA en la acometida--
de la instalación

b).- corriente de corto circuito

c).- capacidad interruptiva del interruptor de la línea de llegada

Se deben convertir a impedancias (reactancias y resistencias) en--
por ciento se utilizan respectivamente las siguientes formulas

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / \text{KVA de corto circuito del sistema}) \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / 3 \times I_{cc} \times \text{KV nominales}) \times 100$$

$$\% \text{ impedancia} = (\text{KVA base} / \text{capacidad interruptiva del interruptor en KVA}) \times 100$$

impedancia total:

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X^2}$$

corriente de corto circuito simétrica r.m.c. en el punto de falla

$$I_{cc} = \frac{\text{KVA base} \times 100}{\sqrt{3} \% Z_T \times \text{KV}} \quad \text{amperes r.m.c.}$$

Relación X/R del sistema, hasta el punto de falla

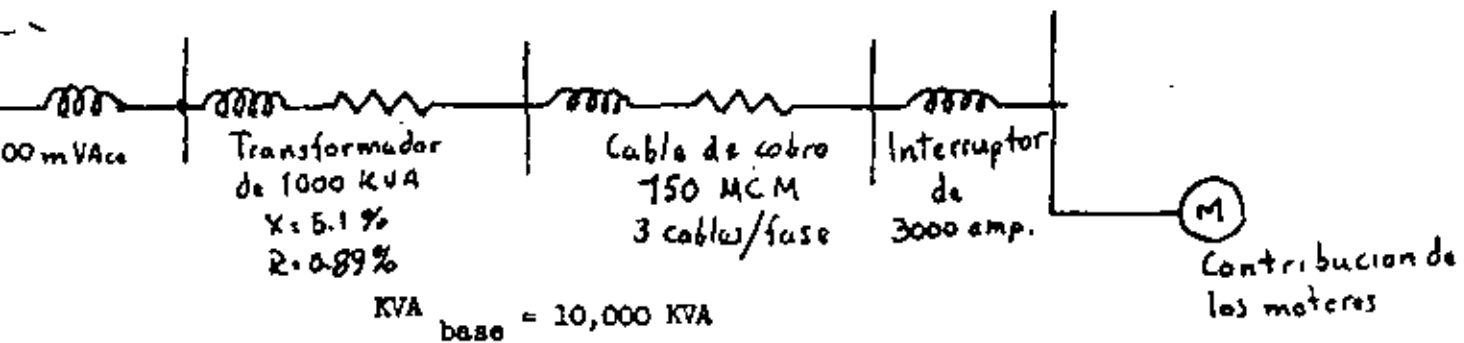
$$\frac{X}{R} = \frac{X \text{ TOTAL} (\%)}{R \text{ TOTAL} (\%)}$$

Corriente asimétrica = corriente simétrica x factor de
r.m.c. de corto circuito r.m.c. de corto circuito asimetría

Contribución de los motores:

corriente simétrica = corriente simétrica de corto circuito + contribución asimétrica de motores

CALCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO X₁ :



Reactancia de la compañía suministradora de energía:

$$X = \frac{10,000}{100,000} \times 100 = 10 \%$$

Impedancia del transformador:

$$X = \frac{10,000}{1000} \times 5.1 = 51 \%$$

$$R = \frac{10,000}{1000} \times 0.89 = 8.9 \%$$

Impedancia de los cables de cobre, calibre 750 MCM (Tabla No. 6)

Longitud/cable = 7.6 metros, No. de cables / fase = 3

$$X = \frac{7.6}{1000} \frac{0.1170}{3} = 2.963 \times 10^{-4}$$

$$X = \frac{2.963 \times 10^{-4} \times 10,000}{0.24^2 \times 10} = 5.145 \%$$

$$R = \frac{7.6}{1000} \frac{0.0640}{3} = 0.0001621$$

$$R = \frac{1.621 \times 10^{-4} \times 10,000}{0.24^2 \times 10} = 2.8142 \%$$

Reactancia del interruptor de 3000 amperes (tabla No. 8)

$x = 0.000040$ ohms.

$$x = \frac{4 \times 10^{-5} \times 10^4}{0.24^2 \times 10} = 0.6944 \%$$

$$X_T = 10 + 51 + 5.144 + 0.6944 = 66.838 \%$$

$$R_T = 8.9 + 2.81142 = 11.7142$$

$$Z_T = \sqrt{(66.838)^2 + (11.7142)^2} = 67.856 \%$$

Corriente simétrica de falla

$$I_{cc} = \frac{10,000 \times 100}{1.732 \times 67.856 \times 0.24} = 35,452.969 \text{ amperes R.M.C.}$$

Relación X/R del sistema

$$\frac{X}{R} = \frac{66.838}{11.7142} = 5.705$$

Usando tabla No. 2

Factor de asimetría = 1.287

Corriente asimétrica de c.c.

$$I = 1.287 \times 35,453 = 45,628.01 \text{ amperes r.m.c.}$$

Contribución de los motores (al 100 %)

corriente simétrica = $4 \times 2,400 = 9,600$ amperes r.m.c.

corriente asimétrica = $5 \times 2,400 = 12,000$ amperes r.m.c.

corriente total del corto circuito (I_T)

a) corriente simétrica = $35,453 + 9,600 = 45,053$ amperes r.m.c.

b) corriente asimétrica = $45,628.01 + 12,000 = 57,628.01$ amperes r.m.c.

Tabla No. 2

Factor de potencia, de todo circuito en %	relación X/R de corto circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, $\frac{1}{3}$ ciclo después el comienzo de la falla.		
		corriente máxima instantánea de pico, en amperes. M_p	corriente máxima r.m.c. en una fase. M_m	corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. H_a
0		2.828	1.732	1.394
1	100.00	2.785	1.696	1.374
2	49.993	2.743	1.665	1.355
3	33.322	2.702	1.630	1.336
4	24.979	2.663	1.598	1.318
5	19.974	2.625	1.568	1.301
6	16.623	2.589	1.540	1.285
7	14.251	2.554	1.511	1.270
8	13.460	2.520	1.485	1.256
9	11.066	2.487	1.460	1.241
10	9.9301	2.455	1.436	1.220
11	9.0354	2.424	1.413	1.216
12	8.2733	2.394	1.391	1.204
13	7.6271	2.364	1.372	1.193
14	7.0721	2.336	1.350	1.182
15	6.5912	2.309	1.330	1.171
16	6.1695	2.282	1.312	1.161
17	5.7947	2.256	1.294	1.152
18	5.4649	2.231	1.277	1.143
19	5.1672	2.207	1.262	1.135
20	4.8990	2.183	1.247	1.127
21	4.6557	2.160	1.232	1.119
22	4.4341	2.138	1.218	1.112
23	4.2313	2.110	1.205	1.105
24	4.0450	2.095	1.192	1.099
25	3.8730	2.074	1.181	1.093
26	3.7138	2.054	1.170	1.087
27	3.5661	2.034	1.159	1.081
28	3.4286	2.015	1.149	1.075
29	3.3001	1.996	1.136	1.070
30	3.1798	1.979	1.130	1.066
31	3.0669	1.960	1.121	1.063
32	2.9608	1.943	1.113	1.057
33	2.8606	1.926	1.105	1.053
34	2.7660	1.910	1.098	1.049

(continua)

Tabla No. 2 (continua)

factor de potencia, de corto circuito en %	relación X/R de corto circuito	Factores a utilizar para obtener las corrientes indicadas, $\frac{1}{2}$ ciclo después del comienzo de la falla.		
		corriente máxima instantánea de pico, en amperes. M_p	corriente máxima r.m.c. en una fase M_m	corriente trifásica promedio en amperes r.m.c. M_a
35	2.6764	1.849	1.091	1.046
36	2.5916	1.878	1.084	1.043
37	2.5109	1.863	1.078	1.039
38	2.4341	1.848	1.073	1.036
39	2.3611	1.833	1.068	1.033
40	2.2913	1.819	1.062	1.031
41	2.2246	1.805	1.057	1.028
42	2.1608	1.791	1.053	1.026
43	2.0996	1.778	1.049	1.024
44	2.0409	1.765	1.045	1.022
45	1.9845	1.753	1.041	1.020
46	1.9303	1.740	1.038	1.019
47	1.8780	1.728	1.034	1.017
48	1.8277	1.716	1.031	1.016
49	1.7791	1.705	1.029	1.014
50	1.7321	1.694	1.026	1.013
55	1.5185	1.641	1.015	1.008
60	1.3333	1.594	1.009	1.004
65	1.1691	1.553	1.004	1.002
70	1.0202	1.517	1.001	1.001
75	0.8819	1.486	1.0008	1.0004
80	0.7500	1.460	1.0002	1.00005
85	0.6190	1.439	1.00004	1.00002
100	0.0000	1.414	1.00000	1.00000

Datos publicados por la National Electrical Manufacturers Association en su publicación No. 1, 1964, parte 3, páginas 4 y 5.

Tabla No. 7.- Resistencia y reactancia de conductores cableados de aluminio en ohms/kilómetro (3 conductores por ducto)

Calibre AWG o MCM	En ducto magnético				En ducto no-magnético			
	De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje		De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje	
	X	R	X	R	X	R	X	R
6	0.1738	2.7780	-	-	0.1380	2.7780	-	-
4	0.1640	1.7450	0.2230	1.7450	0.1312	1.7450	0.1770	1.74500
2	0.1509	1.0990	0.2070	1.0990	0.1214	1.0990	0.1640	1.0990
1	0.1574	0.8690	0.1935	0.8690	0.1148	0.8690	0.1542	0.8690
1/0	0.1410	0.6890	0.1837	0.6890	0.1115	0.6890	0.1476	0.6890
2/0	0.1345	0.5478	0.1804	0.5478	0.1082	0.5478	0.1443	0.5478
3/0	0.1312	0.4363	0.1738	0.4330	0.1214	0.4363	0.1378	0.4330
4/0	0.1280	0.3480	0.1673	0.3440	0.1017	0.3440	0.1345	0.3440
250	0.1260	0.2939	0.1624	0.2926	0.1007	0.2932	0.1299	0.2922
300	0.1230	0.2460	0.1571	0.2447	0.0984	0.2447	0.1256	0.2440
350	0.1210	0.2112	0.1535	0.2099	0.0804	0.2099	0.1227	0.2093
400	0.1194	0.1863	0.1506	0.1847	0.0955	0.1847	0.1204	0.1837
500	0.1164	0.1506	0.1456	0.1486	0.0932	0.1486	0.1164	0.1476
600	0.1177	0.1273	0.14114	0.1250	0.0941	0.1250	0.1132	0.1237
700	0.1148	0.1109	0.1387	0.1089	0.0918	0.1082	0.1109	0.1070
750	0.1118	0.1043	0.1374	0.1017	0.0895	0.1014	0.1099	0.0997
1000	0.1118	0.0827	0.1360	0.0797	0.0895	0.0784	0.1086	0.0767

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hertz y a 90 °C de temperatura del conductor.

No. 9.- Reactancia por polo, de interruptores desconectadores para baja tensión (600 volts o menos)

Capacidad del interruptor en amperes	Reactancia (X) en Ohms
200	0.0001
400	0.00008
600	0.00008
800	0.00007
1200	0.00007
1600	0.00005
2000	0.00005
3000	0.00004
4000	0.00004

Nota.- Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hz.

6.- APARTARRAYOS TIPO AUTOVALVULAS

APARTARRAYOS TIPO AUTOVALVULAS.GENERALIDADES.-

La seguridad de servicio en las instalaciones eléctricas de abastecimiento de energía se ve amenazada frecuentemente por la aparición de sobretensiones. Con objeto de limitarlas, se tienen que prevenir los correspondientes dispositivos de protección. Estos tienen como misión preservar el aislamiento de la instalación a proteger, de operaciones eléctricas inadmisibles, debidas a sobretensiones.

Se entiende por sobretensiones todas aquellas que exceden del valor de la tensión de servicio máxima permanentemente admisible, de las que los aparatos de protección contra sobretensiones derivan sólo on das de choque.

Se subdividen en:

- 1.- Sobretensiones atmosféricas (exteriores), las cuales se originan en campos eléctricos o debido a la influencia de tormentas.
- 2.- Sobretensiones resultantes de la influencia de otras redes.
- 3.- Sobretensiones interiores que tienen su origen en procesos de maniobra voluntarios o involuntarios, tales como al conectar baterías de condensadores, desconectar líneas de servicio en vacío, reducir cargas, establecer contactos a tierra o al producirse cortocircuitos.

Para el caso de que las sobretensiones superen un valor que resultase perjudicial para los aparatos conectados, deberán limitarse -- por medio de aparatos de protección. En este caso, es de decisiva importancia, no solamente la magnitud de las sobretensiones, sino también su transcurso cronológico.

DESCARGADORES DE VALVULAS.-

Durante los últimos años, los descargadores de válvulas se han acreditado y actualmente se emplean de manera preferente, lo que hay que atribuir a sus ventajas técnicas respecto a otras posibilidades de protección, así como a su reducido precio.

Las ventajas técnicas del descargador de válvula son las bajas tensiones de reacción y residual, así como un servicio constante durante un largo periodo de tiempo.

DESCRIPCION.-

Los apartarrayos son de resistencia variable, que protegen contra sobretensiones exteriores e interiores el aislamiento de los medios de servicio en redes eléctricas. En calidad de apartarrayo tipo -- autoválvula limita el valor de las sobretensiones, por el hecho de que establece una unión entre el conductor y tierra a través de resistencias dependientes de la tensión. La intensidad posterior originada por la -- tensión con la frecuencia de servicio se limita por medio de la resistencia dependiente de la tensión hasta el punto, que puede ser interrumpida con seguridad por el explosor de extensión.

ESTRUCTURA

Los apartarrayos son de una sola pieza.

Todas las partes activas del descargador están montadas en un tubo aislante robusto y alojadas en la envolvente de porcelana. La envolvente de porcelana va provista en ambos extremos de -- cubiertas. Con objeto de evitar fenómenos de corrosión en el interior del descargador, se ha cerrado herméticamente al aire y relleno de nitrógeno.

FUNCIONAMIENTO

Si la sobretensión que se presenta en el descargador -- sobrepasa los valores de reacción válidos para el mismo, reacciona -- éste, es decir, los explosores de extinción son cortocircuitados -- en el lugar de reacción por arcos voltaicos.

Debido a la reacción de todos los explosores de extinción del descargador, se establece la unión entre el conductor y -- tierra a través de los discos de resistencia. Las resistencias son dependientes de la tensión, a fin de mantener reducida la caída de tensión en el descargador (tensión residual), incluso cuando las -- intensidades de descarga son máximas. La resistencia es relativamente alta a la tensión de servicio, y al aumentar la sobretensión desciende con mucha rapidez a valores reducidos. Al disminuir la sobretensión, aumenta rápidamente la resistencia, la cual limita la intensidad posterior, por el hecho de que los explosores de extinción montados en serie pueden interrumpirla en el próximo paso por cero de la corriente. Los electrodos de ranura doble de los explosores de -- extinción son del tipo de tobera y tienen una gran capacidad de -- extinción. La tensión de reacción permanece casi invariable debido al efecto de desplazamiento del arco.

En caso de que el descargador, a pesar de su gran capacidad de absorción de energía, se sobrecargue, es decir, en el supuesto de que los explosores no estén en condiciones de extinguir la intensidad posterior, debido al arco, se produce en el descargador un aumento inadmisibles de la presión, la cual hace que actúe el fusible de sobrecarga antes de que pueda deteriorarse la envolvente de porcelana. Por la forma del platillo inversor, los chorros calientes de gas que salen del interior bajo presión a alta velocidad son -- desviados hacia arriba. El arco de cortocircuito salta entonces de nuevo entre el platillo inversor y la cubierta superior, en la atmósfera caliente muy ionizada, y arde a una distancia prudencial de la envolvente de porcelana, de modo que se evita también una destrucción térmica secundaria de esta última.

Los transformadores utilizados en sistemas de potencia o en aplicaciones industriales, precisan ser instalados de modo que se hallen protegidos contra tensiones excesivamente elevadas y contra sobrecargas peligrosas; deben disponerse de modo que sea fácil su mantenimiento y no constituya un serio peligro de incendio o accidente. Existen 2 causas que pueden producir tensiones excesivas entre las terminales. La primera, el rayo, produce ondas progresivas de frente de onda muy pronunciado que se propagan en ambos sentidos desde el punto de incidencia en las líneas de hilos y se refleja en los extremos y en los empalmes, originando una serie de picos de tensión agudos. Cuando alcanza las terminales de un transformador una de estas de alta tensión, puede atravesar el aislante.

Aislante entre espiras, o entre espiras y tanque. La forma inmediata de reducir al mínimo el efecto de estas ondas, es conectar un dispositivo entre la línea de potencia y tensión, el cual proporciona un camino para las corrientes intensa alrededor del transformador y así disipa la energía de la onda sin efectos nocivos. Los dispositivos empleados para este fin reciben el nombre de pararrayos.

Construcción y Funcionamiento.

El pararrayo básicamente es una envolvente de porcelana herméticamente cerrada, se encuentran montadas las partes activas del descargador, entre las que figuran la resistencia que trabaja en función de la tensión y el explosor de extinción compuesto de electrodos tipo tobera. El descargador está lleno de nitrógeno, evitándose así fenómenos de corrosión y de envejecimiento.

La resistencia dependiente de la tensión tiene la propiedad de que, al pasar por ella intensidades de cualquier magnitud, varía automáticamente su resistencia, de tal modo que la caída de tensión (es decir, la tensión residual de la onda ambulante que sigue circulando), tenga valores admisibles determinados .

Como su valor de resistencia es relativamente elevado en el campo de la tensión de servicio, la intensidad de corriente porterior se limitando tanto que es interrumpida con toda seguridad por el explosor de extinción. La segunda causa de tensión peligrosamente alta, es una descarga que se produzca a causa de un fallo en el sistema de potencia o de un error en la conmutación. La solución en este caso también es el empleo de pararrayos.

7.- DISPOSICION Y REALIZACION DE ELECTRODOS DE LAS
TOMAS DE TIERRA.

DISPOSICION Y REALIZACION DE ELECTRODOS DE LAS TOMAS DE TIERRA

En la elección de los electrodos para toma de tierra y en su ulterior organización se han de tener en cuenta los factores locales, la naturaleza del suelo y la resistencia de difusión de la toma de tierra, dependiente de esos factores y de la naturaleza.

Muchas veces ofrece dificultades el alcanzar una baja resistencia de puesta a tierra, que depende de la que llamaremos resistencia de difusión de la toma de tierra y de la resistencia de los conductores a tierra. Aquélla depende de la resistencia específica del suelo y en alto grado de las dimensiones geométricas del electrodo de toma de tierra.

Para obtener la resistencia de puesta a tierra, se tiene que medir, por consiguiente, la corriente y su caída de tensión. Para ello basta medir la tensión entre la toma y un antielectrodo dispuesto con una separación de unos 20 m. tal que se pueda contar con que en él exista un potencial nulo. En la inmediata vecindad de la toma, existe una mayor caída de tensión, la cual, con grandes corrientes como las que circunstancialmente pueden ocasionarse en las instalaciones de alta tensión, puede ser peligrosa. Si un hombre pasa por este lugar existirá entre sus dos pies una diferencia de tensión (tensión de paso) en virtud de la cual circulará una corriente a través de su cuerpo. Ciertamente se presenta aquí la circunstancia favorable de que la parte de esa corriente que atraviesa el corazón es relativamente pequeña. Más desfavorable es el caso de ciertos animales; por ejemplo, las vacas, las cuales, a causa de su corpulencia y de la consiguiente mayor separación de sus extremidades, sirven de puente para mayores tensiones, y por añadidura su corazón se encuentra en la trayectoria de la corriente. Para prevenir tales peligros hay que proteger los alrededores de la toma.

Decisiva sobre la resistencia de difusión de la puesta a tierra es, ante todo, la resistencia específica del suelo. Esta vale para:

	<u>Ω-m</u>
Suelo Pantanoso.....	30
Tierra de labor y tierra de arcillosa .	100
Tierra arenosa.	200
Suelo de guijarros húmedo.	500
Suelo de guijarros o arenoso seco . .	1000
Suelo rocoso.	3000

Los electrodos de toma de tierra pueden ser de profundidad o superficiales. Los primeros son tubos de gran longitud introducidos en el suelo. Los superficiales son, por ejemplo, los cables o bandas de hierro que se entierran a una profundidad de unos 0.5 m, dándoles, por lo común, una disposición radial.

La fórmula para el cálculo de la resistencia a tierra empleando una varilla circular es la siguiente:

$$R = \frac{\rho}{2 \pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$$

Donde:

- R = Resistencia eléctrica de la conexión a tierra - mínima en ohms.
- ρ = Resistencia eléctrica específica del terreno -- en ohms por cm³.
- a = Radio de la varilla en centímetros.
- L = Longitud de la varilla en centímetros.

⊙ Conexión y Resistencia a Tierra

Valores aceptables recomendados.

El más eficiente sistema de tierras que sea diseñado, puede ser inadecuado, a menos que la conexión del sistema a tierra sea adecuada y tenga una resistencia baja. Por consiguiente la conexión a tierra es una de las partes más importantes de todo sistema de tierras. Esto es también la parte más difícil de diseñar y obtener.

La perfecta conexión a tierra deberá tener una resistencia con valor cero, pero esto es imposible de obtener.

Para subestaciones grandes y estaciones de generación, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de un ohm.

Para subestaciones pequeñas y plantas industriales, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de 5 ohms. El NEC (National Electrical Code 1971) recomienda que la resistencia máxima no deberá exceder de 25 ohms.

La Resistividad de Diferentes Terrenos

Terreno	Resistencia (ohms) varillas de 5/8 Fuigt. x 5 pies			Resistividad (ohms por cm ³)		
	Promedio	Mín.	Máx.	Promedio	Mín.	Máx.
Yesos, escorias, salmuera, desechos	14	3.5	41	2,370	590	7,000
Arcilla, arcilla pegajosa, suelo arcilloso, tierra negra	24	2	98	4,000	340	10,000
Igual, con variaciones en las proporciones de arena y grava	93	6	800	15,000	1,020	100,000
Grava, arena, piedras, con arcilla pequeña o barro	554	35	2,700	9,400	50,000	400,000

El Efecto del Contenido de Agua o Humedad en la Resistividad del Terreno

Contenido de agua ó humedad (% del peso)	Resistividad (ohms/cm ³)	
	Terreno superior	Barra arenosa
0	>1000 x 10 ⁶	>1000 x 10 ⁶
2.5	250 000	150 000
5	165 000	43 000
10	53 000	18 500
15	19 000	10 500
20	12 000	6 300
30	6 400	4 200

El Efecto de la Temperatura en la Resistencia del Terreno (Barro arenoso con 15.2% de humedad)

Temperatura		Resistividad (ohms por cm ³)
°C	°F	
20	68	7 200
10	50	9 800
0 (agua)	32	13 000
0 (hielo)	32	30 000
-5	23	79 000
-15	14	330 000

Cálculo de la resistencia a tierra.— la resistencia a tierra puede ser calculada y / o medida.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

COMENTARIOS GENERALES SOBRE EQUIPOS DE
BOMBEO, ASI COMO APLICACIONES, DISEÑO,
SELECCION Y COSTO DE OPERACION DE BOM-
BAS TURBINAS Y VERTICAL

OCTUBRE, 1980

P O N E N C I A

" COMENTARIOS GENERALES SOBRE EQUIPOS DE BOMBEO,
ASI COMO APLICACIONES, DISEÑO, SELECCION Y --
COSTO DE OPERACION DE BOMBAS TURBINA VERTICAL"

ING. FERNANDO LOPEZ OCHOA.

Junio 1979

C O N T E N I D O

1. DEFINICION DE EQUIPO DE BOMBEO.
2. CLASIFICACION DE TIPOS DE BOMBAS
3. BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO
 - a) Rotatorias
 - b) Recíprocantes
4. BOMBAS DINAMICAS.

Clasificación de las bombas por el tipo de Succión.
Clasificación de las bombas por su dirección de flujo.
Carcasa
Impulsores.
5. BOMBAS TURBINA VERTICAL.

Generalidades.
Conjunto o Juego de tazones.
Conjunto de la columna
Conjunto de cabezal de descarga.
Diagrama de partes.
6. DEFINICIONES DE BOMBEO.
7. CALCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO (Bomba tipo turbina vertical).
8. ESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE BOMBEO CON MOTOR ELECTRICO.
9. ESTUDIO DE COSTOS DE OPERACION.
10. BIBLIOGRAFIA.

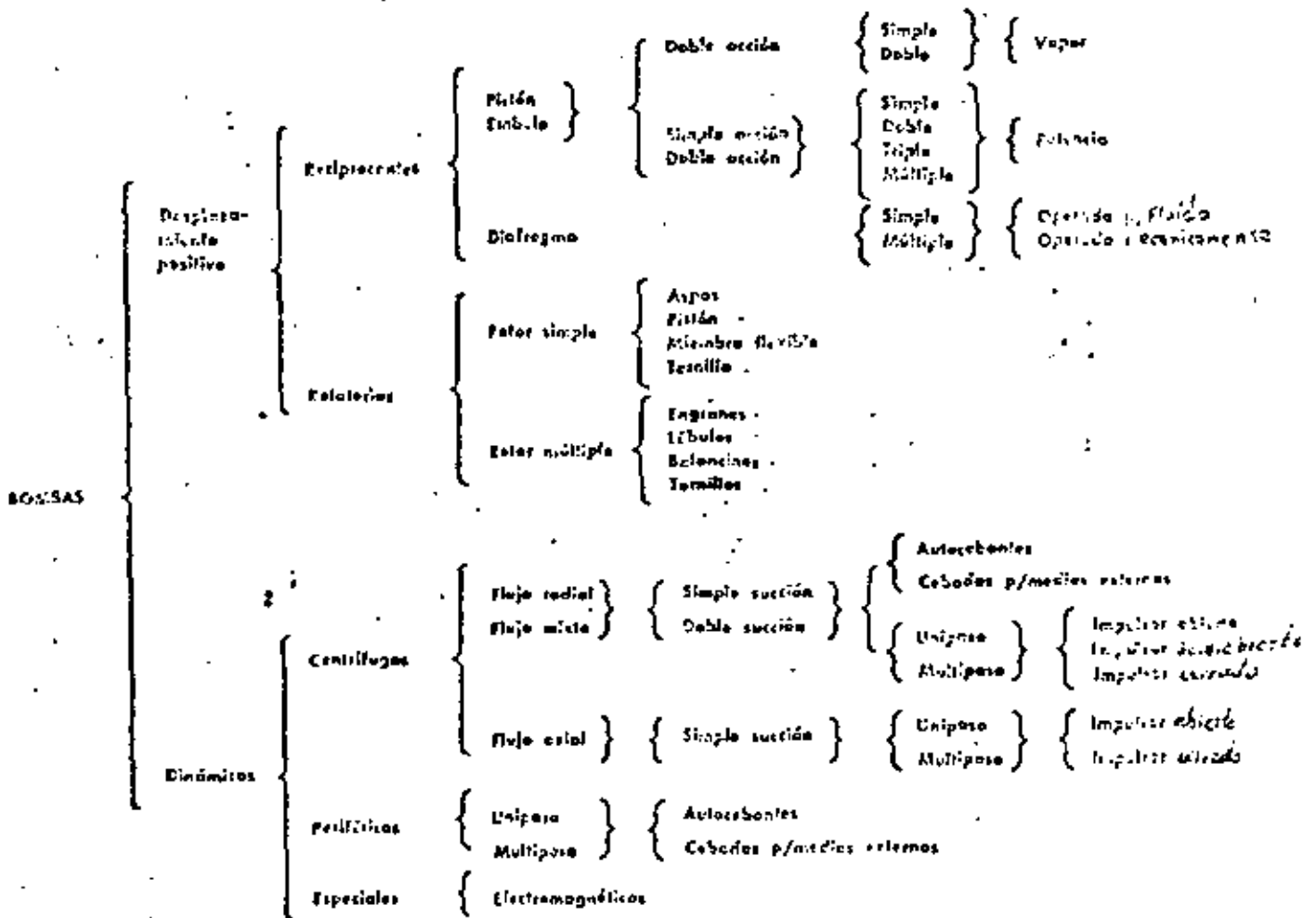
T A B L A S Y C U R V A S

- a. *Tabla de pérdidas por fricción en columnas de turbina.*
- b. *Tabla de selección de flechas.*
- c. *Tabla de fricción mecánica en las flechas de las bombas turbinas*
- d. *Curva característica del impulsor empleado en el diseño del Equipo.*
- e. *Tabla de consumo eléctrico para diferentes gastos y niveles de bombeo.*

CLASIFICACION

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa y que se usará, es la del "HYDRAULIC INSTITUTE". El mencionado Instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero y se ha preocupado por mantener al día los llamados "standards". A continuación se muestra esa clasificación.

CLASIFICACION DE BOMBAS



DEFINICION DE EQUIPO DE BOMBEO

Un equipo de bombeo es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Así tendremos bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozos profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión sería una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tuviesen en la conducción.

Existen bombas trabajando con presiones y alturas iguales que únicamente adicionan energía de velocidad. Sin embargo, a este respecto, hay muchas confusiones en los términos presión y velocidad, por la acepción que llevan implícita de las expresiones fuerza tiempo. En la mayoría de las aplicaciones de energía conferida por una bomba es una mezcla de las tres, las cuales se comportan de acuerdo con las ecuaciones fundamentales de la Mecánica de Fluidos.

Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes componentes citados, en energía mecánica.

Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Normalmente un generador hidrúlico (bomba) es accionado por un motor eléctrico, térmico, etc., mientras que un motor - hidrúlico (turbina) acciona un generador eléctrico.

BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO

Este tipo de bombas se emplea en algunos casos en que se requieren muy altas cargas.

En estas bombas, el fluido que se desplaza siempre está contenido entre el elemento impulsor que puede ser émbolo, un diente de engrane, un aspa, etc., y la carcasa o el cilindro. En el caso de las centrífugas el fluido es impulsado y no guiado a lo largo de toda su trayectoria entre el elemento impulsor y la carcasa.

Las bombas de desplazamiento positivo se dividen en dos grupos principales: el de las bombas reciprocantes para manejo de líquidos y gases, operadas por vapor y mecánicamente; y el de las bombas rotatorias (engranes, aspas, levas, tornillos, etc.), que constituye un grupo cada vez más numeroso y variado, ya que no hay industria que no tenga algún tipo de ellas. Además cabe mencionar las transmisiones y controles hidráulicos y neumáticos, así como muchos de los mecanismos de control automático.

En el área de las transmisiones y controles, las máquinas de desplazamiento positivo tienen un dominio casi exclusivo, mientras que las turbomáquinas han invadido, y seguirán invadiendo cada vez más, el área de bombeo de líquidos y gases que, en otro tiempo fue el dominio exclusivo de las máquinas de émbolo. Uno y otro hecho se fundan en distinto principio de funcionamiento de estas bombas.

Entre las bombas de desplazamiento positivo rotatorias más comunes, se encuentran las de engrane, de pistón y aspas, llevando todas ellas en un montaje rotatorio el fluido y la admisión de la bomba a la salida, diferenciándose por el tipo de elemento que transporta el fluido.

En el caso de la bomba de alabes se encuentra formada de alabes radiales tallados sobre la periferia de un disco metálico o impulsor, con caras planas, bien paralelas. Cada dos alabes consecutivos forman una celdilla; el conjunto de éstas se van llenando y descargando en su rotación, por las lumbreras de aspiración y de descarga respectivamente, situadas radialmente en la carcasa. Las celdillas suelen ser un número suficientemente grande para dar una continuidad a la velocidad de descarga. Después de la descarga y antes de producirse la aspiración, hay un espacio muerto que suele ser de un octavo de la media circunferencial del impulsor. El gasto de estas bombas es, en general, pequeño comparado con la carga que, en general, es muy alta, la que obliga a una construcción robusta y al empleo de sellos mecánicos muy eficaces de neopreno y cerámicas con resortes de presión de acero especial inoxidable. En las superficies sometidas a fricción producida por el giro del rotor sobre el estator, se emplean anillos de un plástico especial que resiste el efecto abrasivo, los cuales pueden ser cambiados fácilmente en caso de deterioro.

El gasto se calcula como sigue: Sea v el volumen de una celdilla de un lado del impulsor; en los dos lados habrá $2n$. Si la máquina gira a N rpm y η es el rendimiento volumétrico, el gasto volumétrico por segundo será

$$Q = \frac{7}{8} (2nv) \frac{N}{60}$$

ya que sólo se cargan $7/8$ de celdillas por vuelta, supuesto un espacio muerto de $1/8$. El rendimiento volumétrico en estas bombas es del orden del 80%. La velocidad de rotación puede ser alta, pues no se presentan problemas de cavitación, ya que no hay zonas de bajas presiones; N es del orden de 4,000 rpm.

La carga efectiva se compone, como en otras bombas, de la carga piezométrica h , de la carga de velocidad $V^2/2g$ y de las pérdidas en la tubería de descarga.

La carga piezométrica, como se sabe, es el resultado de la carga de presión p más la carga de posición z . Estas bombas se aplican, en general, para lograr unas determinadas condiciones de presión en ciertos recipientes contenidos líquidos, siendo de poca importancia la carga de posición e importando fundamentalmente la carga de presión. Trabajan con frecuencia con la descarga cerrada a un valor de presión fijado, alcanzando valores del orden de 20 kg/cm².

El rendimiento hidráulico se aproxima al 60% y podría mejorarse si se da menos rotación al fluido, acortando la descarga respecto a la aspiración, esto es, multiplicando las lumbreras de aspiración y de descarga, pues se reducirían las pérdidas por recirculación y turbulencias; pero bajaría el caudal al disminuir el acarreo de agua por vuelta, ya que será menor el número de celdillas periféricas en transporte útil debido a los espacios muertos necesarios.

La potencia del motor se calcula, como en cualquier otra bomba, por la expresión.

$$P_m = \frac{\dots}{\dots}$$

en la que N_m representa el rendimiento mecánico, N_v el rendimiento volumétrico, N_h el rendimiento hidráulico y N_g el rendimiento global.

Estas bombas rotativas positivas tienen aplicación en la alimentación de calderas, sistemas de refrigeración y torres de enfriamiento; así como en lecherías, cervecerías, lavanderías, destilerías, hoteles, etc.

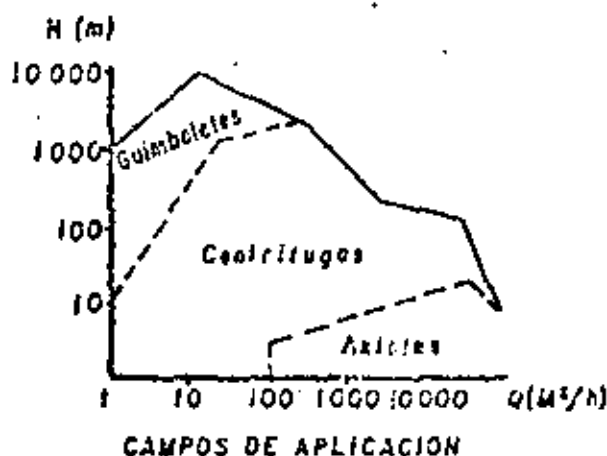
Otra bomba de desplazamiento positivo, de alta presión, que se emplea en pozos profundos de hasta mil pies con caudales pequeños de 5 a 55 gpm, es la "hi-lift". El elemento impulsor consiste en un rotor metálico de gran resistencia mecánica y a la oxidación generalmente de acero al cromo, que presenta un contorno helicoidal-redondeado, el cual gira dentro de un estator de contornos semejantes, pero construido de un hule especial resistente a la abrasión,

protegido por una caja de bronce. El agua atrapada entre ambos va siendo empujada hacia arriba por la tubería de descarga. Como el rotor tiene un movimiento excéntrico, el acoplamiento a la flecha del motor no es rígido sino flexible, estando constituido por un cable recubierto de hule -- que amortigua los efectos vibratorios del rotor y de la flecha. La velocidad de giro es del orden de 1,760 rpm.

El motor que acciona la flecha puede estar a nivel del terreno o sumergido en el pozo, golpeado debajo del impulsor. Es de fácil operación y puede trabajar por largo tiempo sin revisión.

Entre las bombas de desplazamiento positivo recíprocante -- se puede enumerar a los molinos de viento y gimbaletes con aplicaciones agropecuarias debido a su importancia nos referiremos detalladamente a continuación.

Es importante saber las características de cada uno de los diferentes tipos de bombas que existen en el mercado, ya que cada tipo de bomba, sólo es eficiente para determinados rangos de presión y gasto.

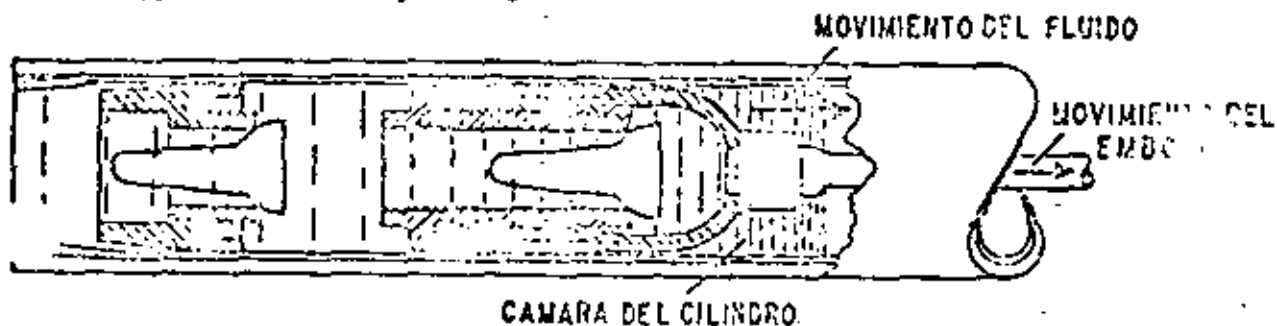


El Guimbalete es el tipo de bomba ideal para pozo profundo (hasta 500 Mts.) y de poco gasto (Hasta 3 Lts. por segundo). En ésta área es más económico, tanto en inversión inicial como en costo de consumo de energía y mantenimiento. En otras palabras, el cliente obtendrá más beneficios por cada peso que invierta en bombeo.

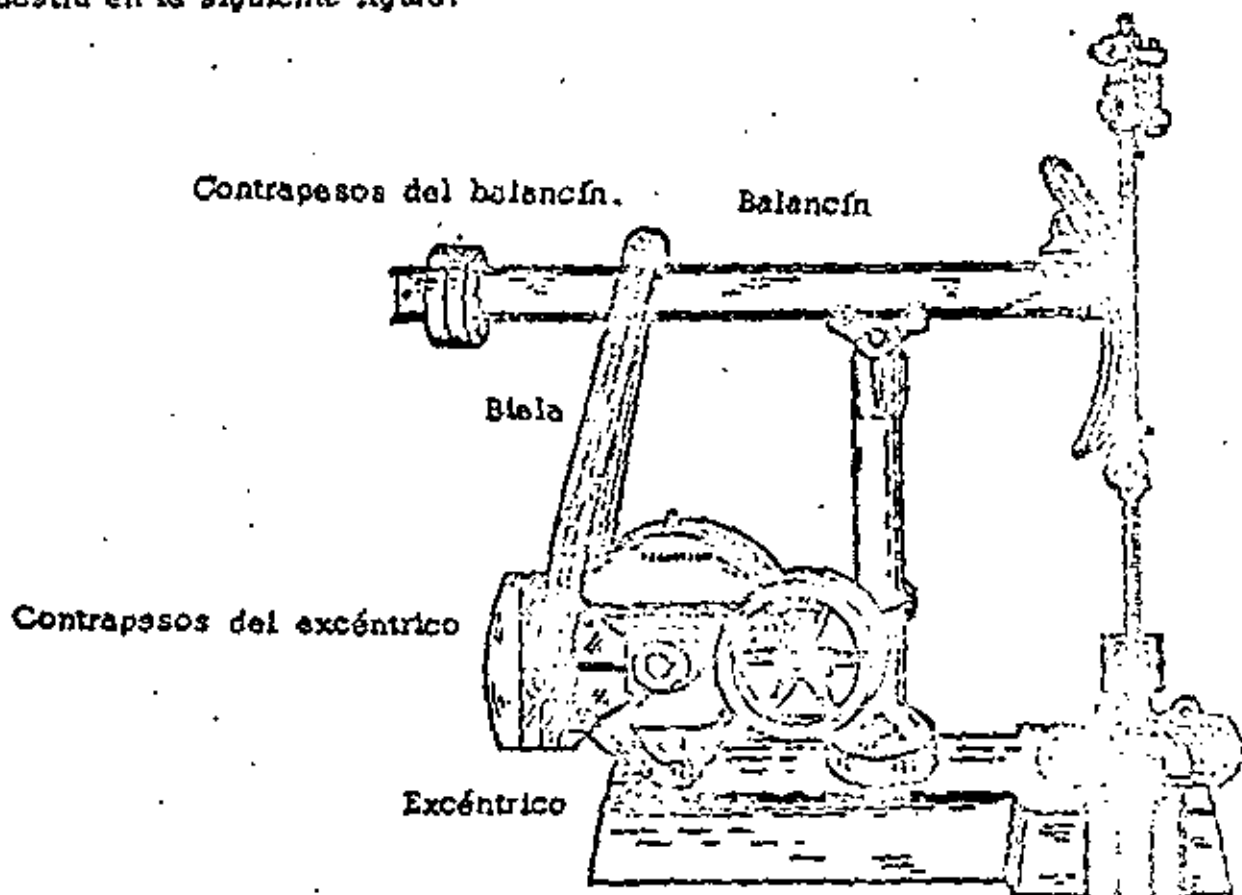
Los Guimbaletes están diseñados bajo un estudio profundo en Ingeniería y la experiencia de más de 30 años de estar fabricando. En esta forma, ofrecen en el mercado bombas de émbolo (Guimbalete) que darán servicio por muchos años, tanto en la Industria, agricultura, ganadería, etc.

PRINCIPIO TECNICO DEL GUIMBALETE.

Su funcionamiento está basado en el principio del desplazamiento positivo, que consiste en un movimiento de un fluido (agua), causado por una disminución del volumen de un cilindro tal como se muestra en la figura siguiente:



El movimiento del embolo es proporcionado por el balancín, el cual a su vez, es movido por un excéntrico a través de las bielas, como se muestra en la siguiente figura:



Una de las partes más importantes del quimbalote son los contrapesos, tanto en el excéntrico como en el balancín, cuya función es balancear el peso de la varilla y un medio del peso de la columna de agua respectivamente y del balanceamiento de éstos pesos depende la eficiencia de la bomba.

Esto se debe a que el agua solo es elevada en la carrera hacia arriba del embolo de tal forma que si no tuviera contrapesos el quimbalote, el motor tendría que elevar un peso excesivo en medio ciclo y en el otro medio ciclo (o carrera del embolo hacia abajo) trabajar en vacío.

Entonces la función de los contrapesos del excéntrico, es producir en la carrera hacia arriba una fuerza que ayude a levantar la mitad del peso del agua para que el motor solo levante la mitad y en la carrera hacia abajo del embolo, como no se eleva el agua, el motor se encargará de volver a levantar los contrapesos para que lo ayuden cuando se tenga que volver a levantar el agua.

Los contrapesos del balancín, sirven únicamente para balancear el peso de la varilla.

REQUISITOS DE AGUA.

Los siguientes requisitos, son aproximaciones solamente, puesto que el consumo de los individuos y de los animales variará con las condiciones climatológicas y las estaciones del año.

Es aconsejable, que al escoger un guimbaleta, esto exceda en -- cierto grado al máximo de los requisitos con el fin de tener una reserva -- tomando en cuenta futuras compras de animales, o terrenos de riego.

Datos de consumo de agua (litros) diarios por persona para fines domésticos:

Bebida, cocina, limpieza, etc.....	20 a 30
Lavado de ropa.....	10 a 15
Un baño de pila.....	350
Un baño de asiento.....	40
Una ducha.....	40 a 80
Riego de patios, jardines y aceras por metro cuadrado.....	105
Limpieza de coche o automóvil.....	200 a 300
Limpieza de un carro de 4 ruedas.....	80

Consumo en litros de algunos edificios y servicios públicos:

Escuelas, un alumno por día.....	2
Fuentes públicas con grifito, por día.....	3,000
Hoteles.....	3.02 L.P.M.
Edificios de apartamentos.....	1.13 L.P.M.
Hospitales.....	1.51 L.P.M.
Edificios de oficinas.....	2.67 L.P.M.
Mercantiles.....	2.26 L.P.M.

NOTA: A la salida de las válvulas se requiere una presión por lo menos de 1 Kg./Cm²

Consumo en litros de agua diarios de algunos animales:

Vacas (en bebederos).....	56
Ovejas.....	113
Puercos.....	19
Pollos (100).....	19

Datos sobre el agua necesaria en 21 horas para algunos cultivos:

Cultivo	Galones por Min. en 100 Hectáreas.	Lts. por Seg. en 1 Hectárea.
Acelga	920	0.50
Aguacate	363	0.23
Ajo	620-920	0.39 a 0.77
Alnjobol	920	0.58
Alfalfa	932-1110	0.62 a 0.70
Algodón	730-920	0.46 a 0.58
Algodón húmedo	982	0.62
Algodón seco	790	0.50
Alpiste	720-910	0.46 a 0.58
Avena	730	0.46
Arroz	2440-3640	1.54 a 2.3
Arvejon	730	0.46
Betabel	1840	1.16
Cacahuate	920	0.58
Café	920	0.58
Calabaza	730-920	0.46 a 0.58
Camote	730-920	0.46 a 0.58
Caña de azúcar	1110-1220	0.70 a 0.77
Cebada	730	0.46
Cebolla	620-730	0.39 a 0.46
Coco de aceite	1220	0.77
Coco de agua	1220	0.77
Col	1220-1640	0.77 a 1.16
Comino	491	0.31
Chicharo	620-730	0.39 a 0.46
Chile	730-110	0.46 a 0.70
Chipotle	620	0.39
Ejote	620	0.39
Ferrijes	730-920	0.46 a 0.58
Fresa	855-920	0.54 a 0.58
Frijol	491-620	0.31 a 0.39
Frutales	920	0.58
Garbanzo	730-982	0.46 a 0.62
Girasol	620-920	0.39 a 0.58
Haba	620-730	0.39 a 0.46
Higuertilla	730-920	0.46 a 0.58
Hortalizas	982-1220	0.62 a 0.77
Jícama	730	0.46
Jitomate	730	0.46
Lenteja	620-730	0.39 a 0.46
Linaza	620-730	0.39 a 0.46
Lino	491-920	0.31 a 0.58
Limonero	920-1540	0.58 a 0.97
Lechuga	1220	0.77

Cultivo	SALIDA en 100 Hectáreas.	Lts. por Seg. en 1 Hectárea.
Mafz.....	730-920	0.46 a 0.58
Mafz humedo.....	855	0.54
Mafz seco.....	730	0.46
Mafz tardío.....	730-1 220	0.46 a 0.77
Mafz temprano.....	730-1 220	0.46 a 0.77

TRANSMISION DE MOVIMIENTO.

La transmisión de movimiento se lleva a cabo en dos partes principales:

- a).- Un reductor de velocidad que está formado por 2 engranes helicoidales y 2 poleas de bandas en 'V' (Figura 1).
- b).- Convertidor de movimiento circular en movimiento lineal de -- valvon. Es una forma especial del mecanismo biela manibola, formado por los siguientes eslabones o elementos: (Figura 2)
 - 2 Exéntricos
 - 1 Biela
 - 1 Balancín (con nariz)
 - Flecha de columna .

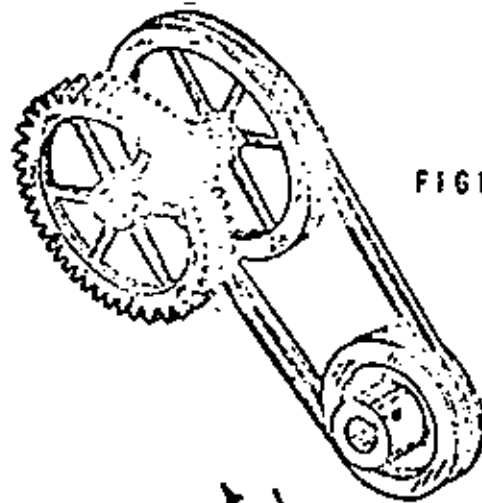


FIGURA No. 1

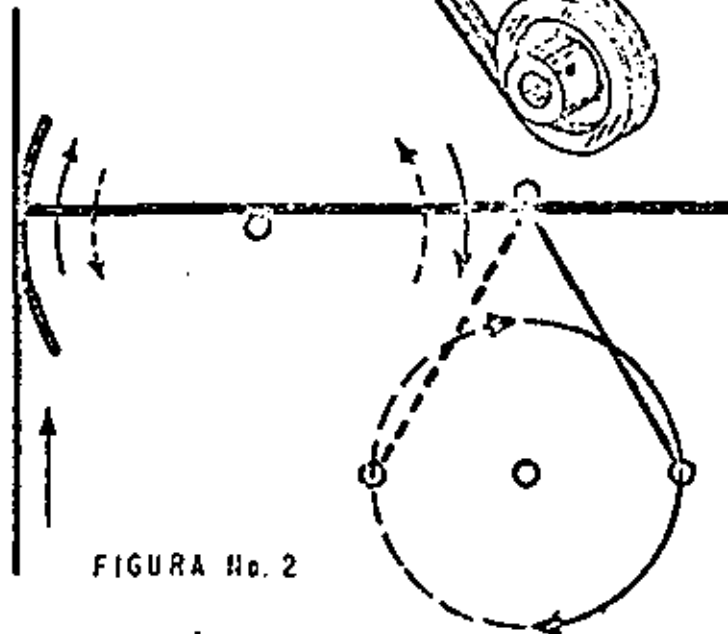


FIGURA No. 2

ADITAMENTOS ESPECIALES

CONTRAPISTON.

Es un pistón que se coloca en el cabezal de descarga, con la característica de que impulsará el agua en la carrera hacia abajo, contrario al pistón principal (que va colocado al final de la tubería de columna) -- que impulsa el agua en la carrera hacia arriba .

Ventajas que se obtienen con el uso del Contrapistón:

- a).- Se tendrá un gasto más uniforme a la salida del agua en la --
descarga .
- b).- Se evitarán fugas en el cabezal de descarga, una forma más --
efectiva que cuando se usan estoperos .
- c).- Se usará menos contrapeso en el exéntrico para el balanceo de
la columna de agua y de ésta forma se podrá aumentar los golpes por minuto en caso de que se quiera aumentar el gasto .

Se recomienda el uso de Contrapistón cuando existe una considerable longitud en tubería de descarga .

COMPENSADOR NEUMATICO.

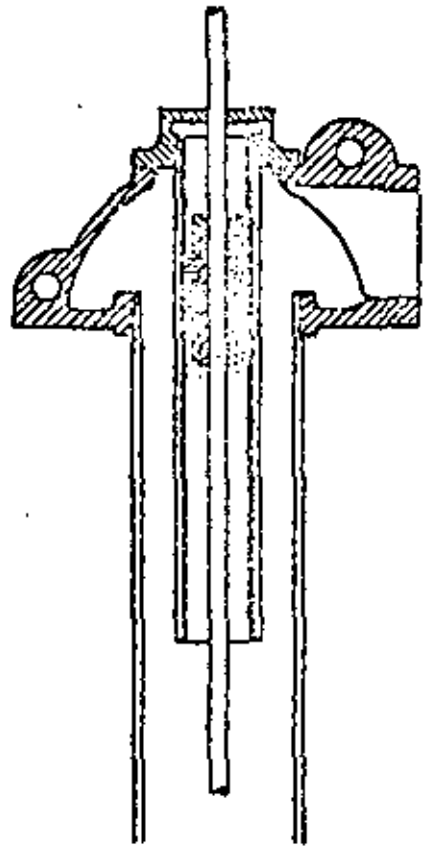
Es un recipiente de aire que se coloca en el cabezal de descarga .- Su función es formar un colchón de aire que amortigua las aceleraciones -- del agua .:

Ventajas en la tubería de descarga:

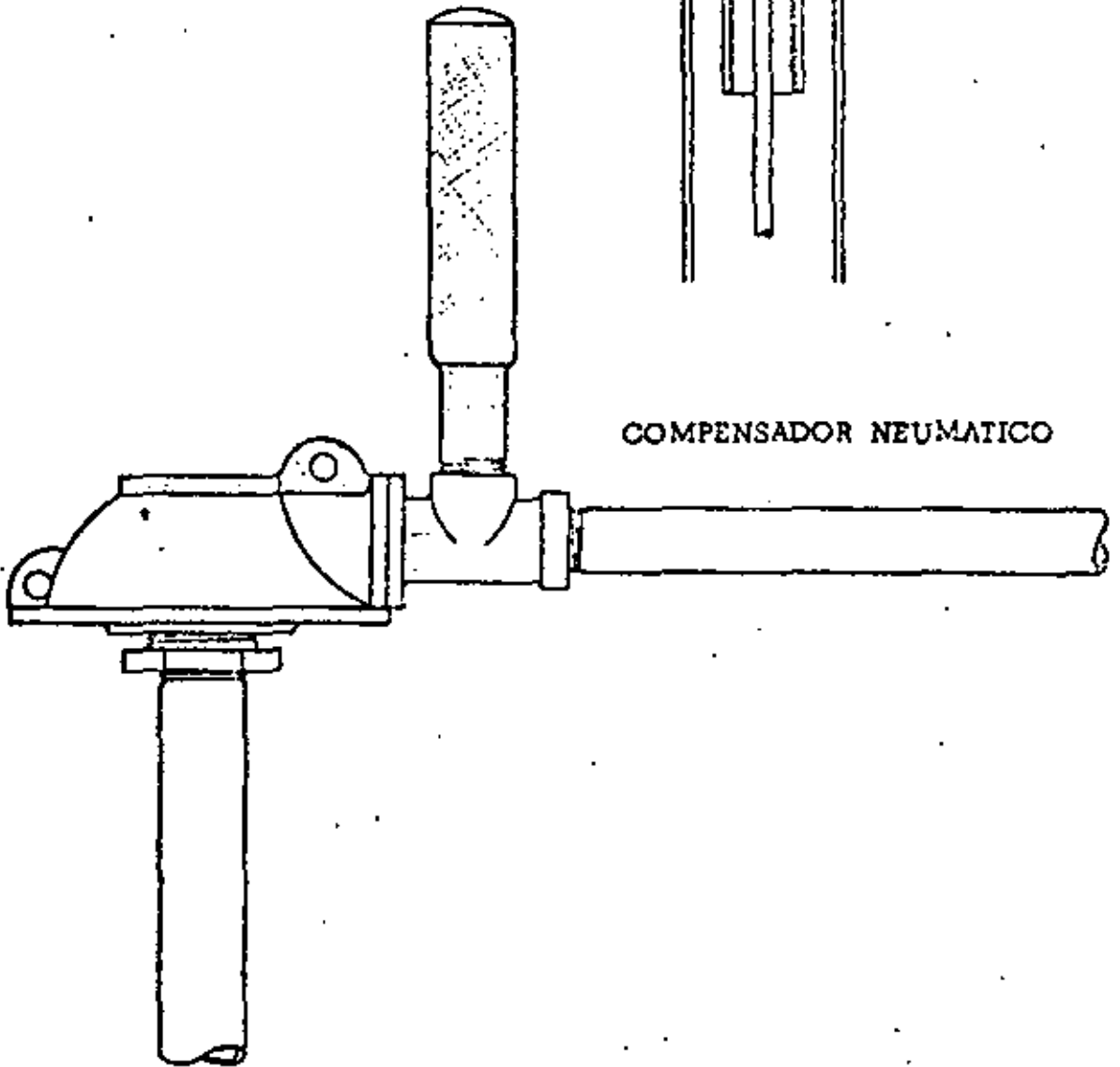
- 1).- Se tiene un gasto más uniforme .
- 2).- Se evita el golpe de ariete .
- 3).- Se reduce la carga por fricción hidráulica al no tener velocidades del agua , elevadas en determinadas posiciones del exéntrico del quimbaleta .

Se recomienda su uso cuando la tubería de descarga tiene una considerable longitud .

CONTRAPISTON



COMPENSADOR NEUMATICO



INSTRUCTIVO

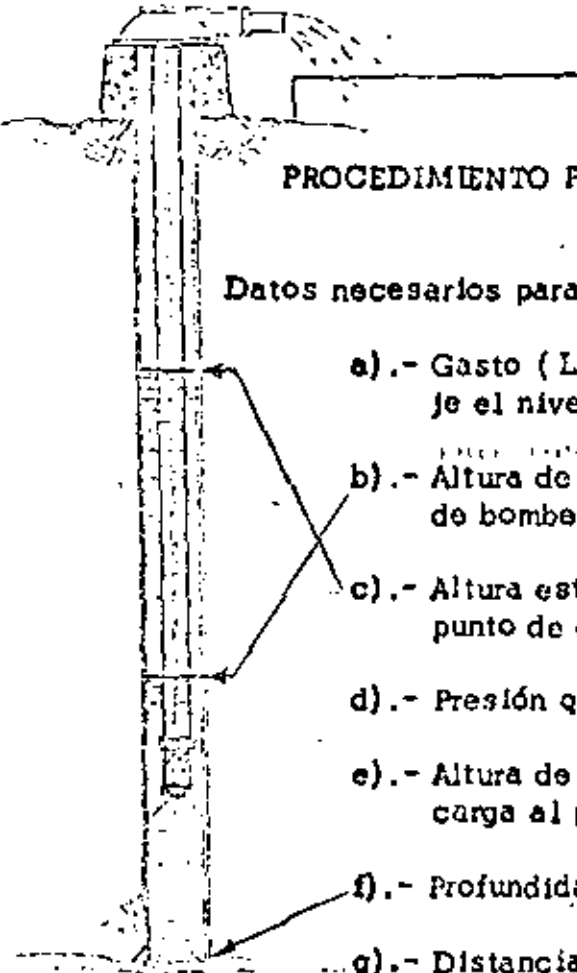
PARA CALCULO

DE UN

GUIMBALETE.

PROCEDIMIENTO PARA CALCULAR UN GUIMBALETE.

Datos necesarios para el cálculo:

- 
- a).- Gasto (L.P.S. que se pueden extraer del pozo sin que baje el nivel de bombeo).
 - b).- Altura de bombeo (distancia vertical del nivel del agua o de bombeo al punto de descarga cuando está bombeando).
 - c).- Altura estática (distancia vertical del nivel del agua al punto de descarga cuando no se está bombeando).
 - d).- Presión que se desea a la salida del agua .
 - e).- Altura de descarga (distancia vertical del cabezal de descarga al punto de salida del agua).
 - f).- Profundidad total del pozo .
 - g).- Distancia del nivel del agua al suelo (lugar de colocación del cabezal de descarga).

En base a estos datos, se calcula lo siguiente:

- a).- Modelo apropiado (B-64, B-101, B-151, B-201, B-251).
- b).- El cilindro (diámetro de 47.25 mm., 60.325 mm., 69.55 mm. ó 95.25 mm.).
- c).- Golpes por minuto (revoluciones a que debe girar el excéntrico para proporcionar el gasto deseado).
- d).- Altura manométrica total .
- e).- Potencia al freno necesaria (que deberá aportar el motor).
- f).- Polea del motor (diámetro).
- g).- Longitud de la columna .
- h).- Los contrapesos que deberá llevar el guimbaleta en el excéntrico y en el balancín .

Procedimiento:

a).- Modelo apropiado:

$$\frac{\text{Nivel de bombeo} \times \text{Gasto}}{41.8} = \text{Igual o menor que.}$$

- 1/2 Se usará el B-64 con varilla de 13 mm.
 1-1/2 Se usará el B-101 con varilla de 16 mm.
 3 Se usará el B-151 con varilla de 16 mm.
 7-1/2 Se usará el B-201 con varilla de 19 mm.
 10 Se usará el B-251 con varilla de 19 mm.

El nivel de bombeo se especifica en metros.
 El gasto se especifica en litros por segundo.

b).- Diámetro del cilindro y los golpes por minuto se
 la Gráfica I en la cual se encuentra el cilindro
 y los golpes por minuto necesarios para obtener
 el gasto deseado. (Litros por Segundo).

Se recomienda usar el cilindro mayor con el número--
 de G.P.M.

c).- Altura manométrica total es igual a la suma.

- 1.- Altura de bombeo (que proporciona el cliente).
- 2.- Fricciones hidráulicas.

Se calculan de la siguiente forma:

$$\text{Velocidad del agua} = \text{GPM} \times \text{Ct} \times \text{Ca}$$

- GPM Golpes por minuto
 Ct Constante que encontramos en la Tabla I
 Ca Constante que encontramos en la Tabla II

TABLA I CONSTANTE "I"

MODELO	Ct.
B-640151
B-1010213
B-1510284
B-2010372
B-2510372

TABLA II CONSTANTE "Ca"

TUBO Diam. Nominal	CILINDRO Diámetro interior en mm.	DIAM. DE LA VARILLA		
		13 mm.	16 mm.	19 mm.
4"	95.25	.8653	.8642	.863
3"	69.85	.7977	.7946	.79
2-1/2"	60.32	.9218	.92	.92
2"	47.25	.8109	.804	.795

Encontrando la velocidad del agua, se consulta la Gráfica II y -- de acuerdo con el diámetro del tubo (Tabla II), encontramos las pérdidas por fricción por cada metro de tubería.

Pérdidas por fricción
totales en la tubería
de columna y descarga

Dato encontrado en
la Gráfica II \times $\frac{\text{Longitud de tubería}}{100}$

Longitud de Tubería = $\frac{\text{Longitud de Tubería de Columna} + \text{Longitud de Tubería de Descarga.}}{100}$

3.- La presión a la salida del agua la proporciona el cliente. Por lo general se expresa en Kilogramos por centímetro -- Cuad. o en Libras por pulgada Cuad. y deberá convertirse a metros con la siguiente fórmula:

$\text{Kg. por Cm. Cuad.} \times 10 = \text{Metros}$

$\frac{\text{Libras por Pulgada Cuad.}}{1.422} = \text{Metros}$

Altura manométrica total.

Altura Man. Total = $\frac{\text{Altura de bombeo} + \text{Pérdidas por fricción} + \text{Presión a la salida}}$

Tabla III

La altura manométrica máxima (Mts.) permitida deberá ser---
igual o menor a la máxima permitida por el modelo que se escogió
y la cual se especifica en la Tabla III.

Modelo	† Diámetro inferior del cilindro (mm.)			
	47.62	60.325	69.85	95.25
B-64	88	59	43	22
B-101	162	130	101	60
B-151	292	235	201	107
B-201	377	318	262	130
B-251	510	373	262	130

Si la altura manométrica que tendrá que vencer el gulmbaleta es
mayor que la permitida por el modelo que se escogió, se deberá---
volver a efectuar todo el cálculo, pero con el modelo inmediato ma
yor.

d).- Potencia al freno. Se calcula utilizando la
Gráfica III.

La altura manométrica deberá expresarse en metros.

El gasto deberá expresarse en litros por segundo.

e).- Diámetro de la polea del motor.

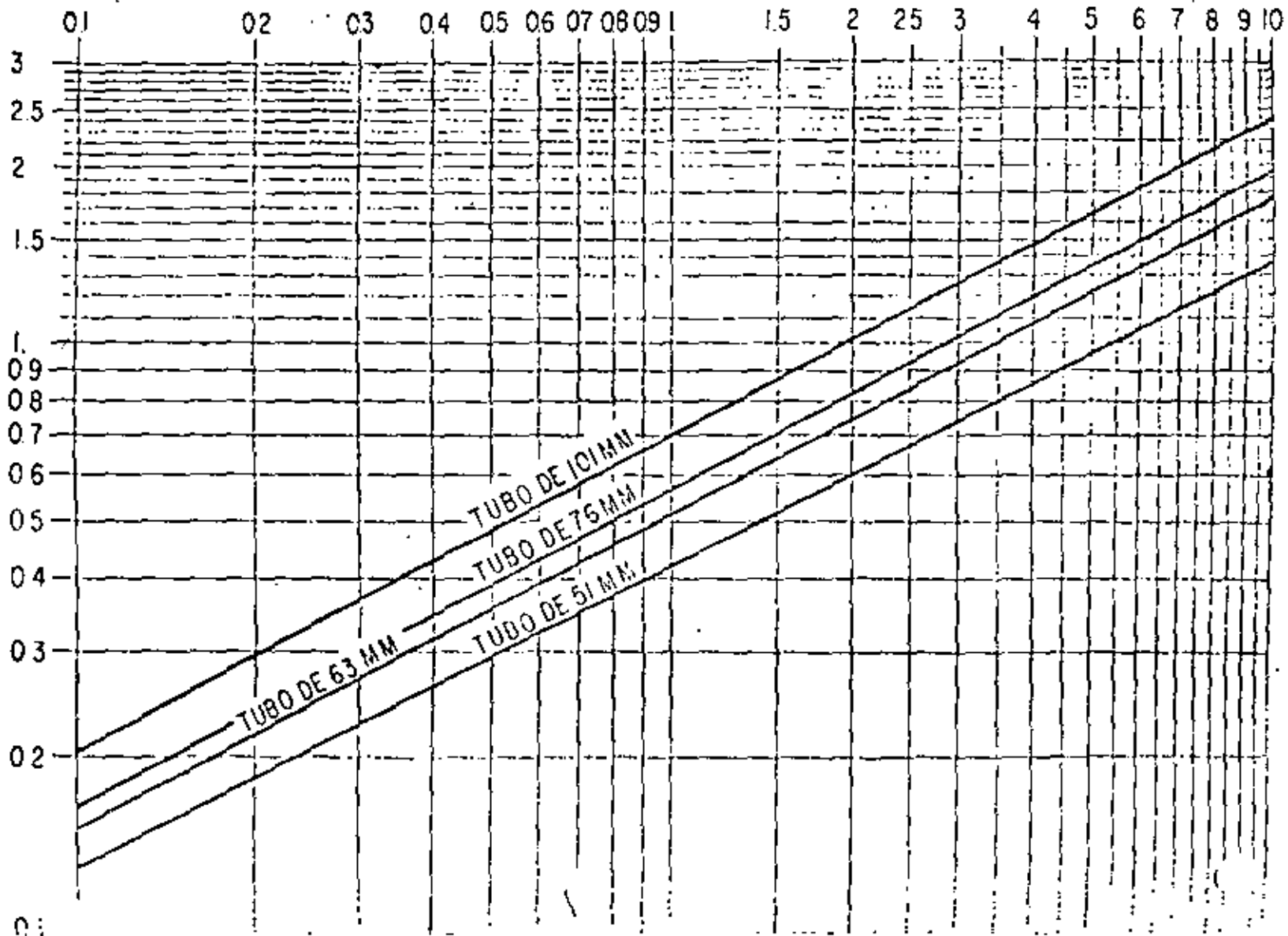
$$\text{Diam. polea en centímetros.} = \frac{K_p (\text{Tabla IV}) \times \text{GPM}}{\text{RPM del Motor}}$$

TABLA IV CONSTANTE "Kp "

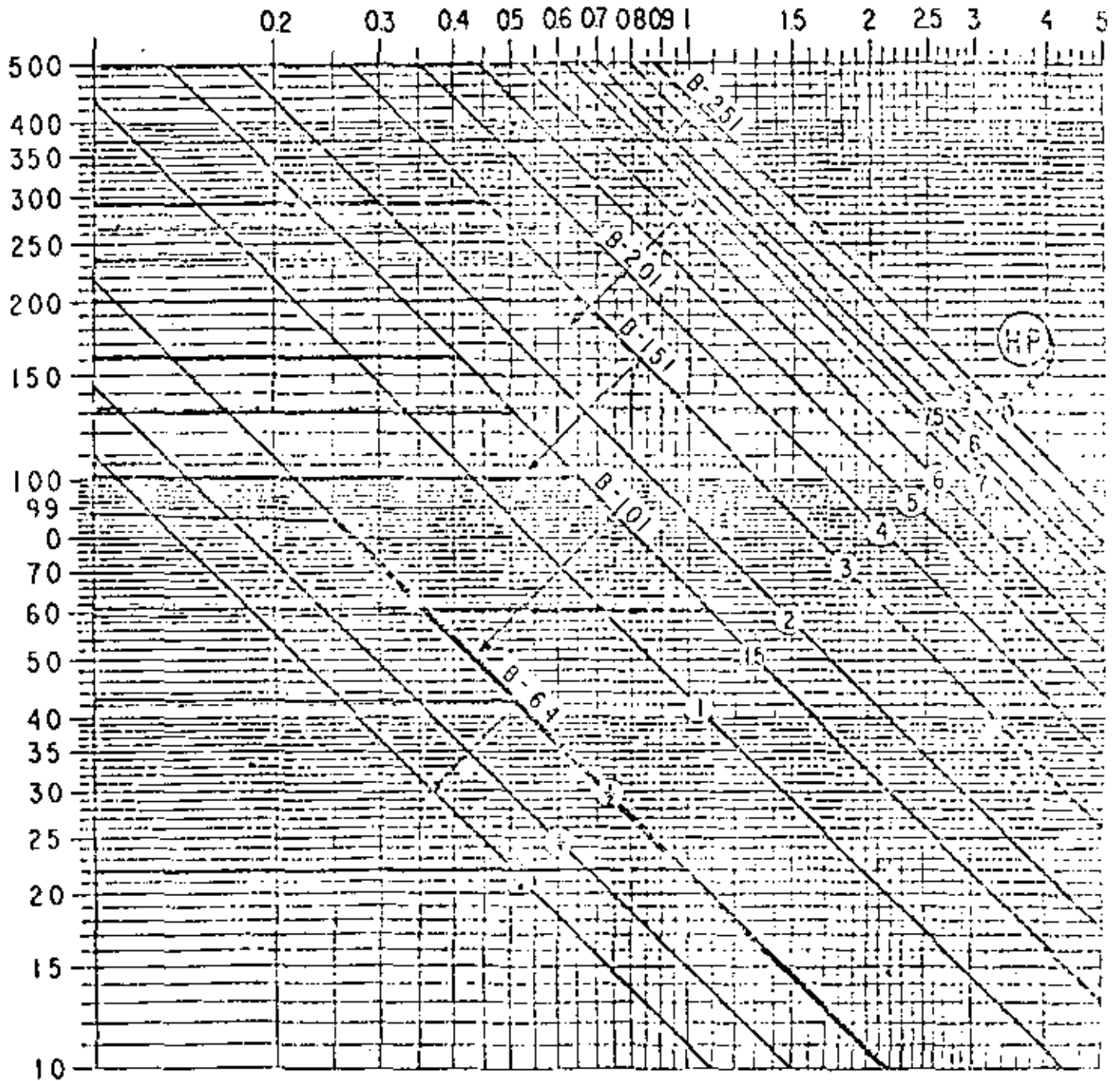
Modelo	Constante
B-64	444.5
B-101	566.5
B-151	696
B-201	899
B-251	899

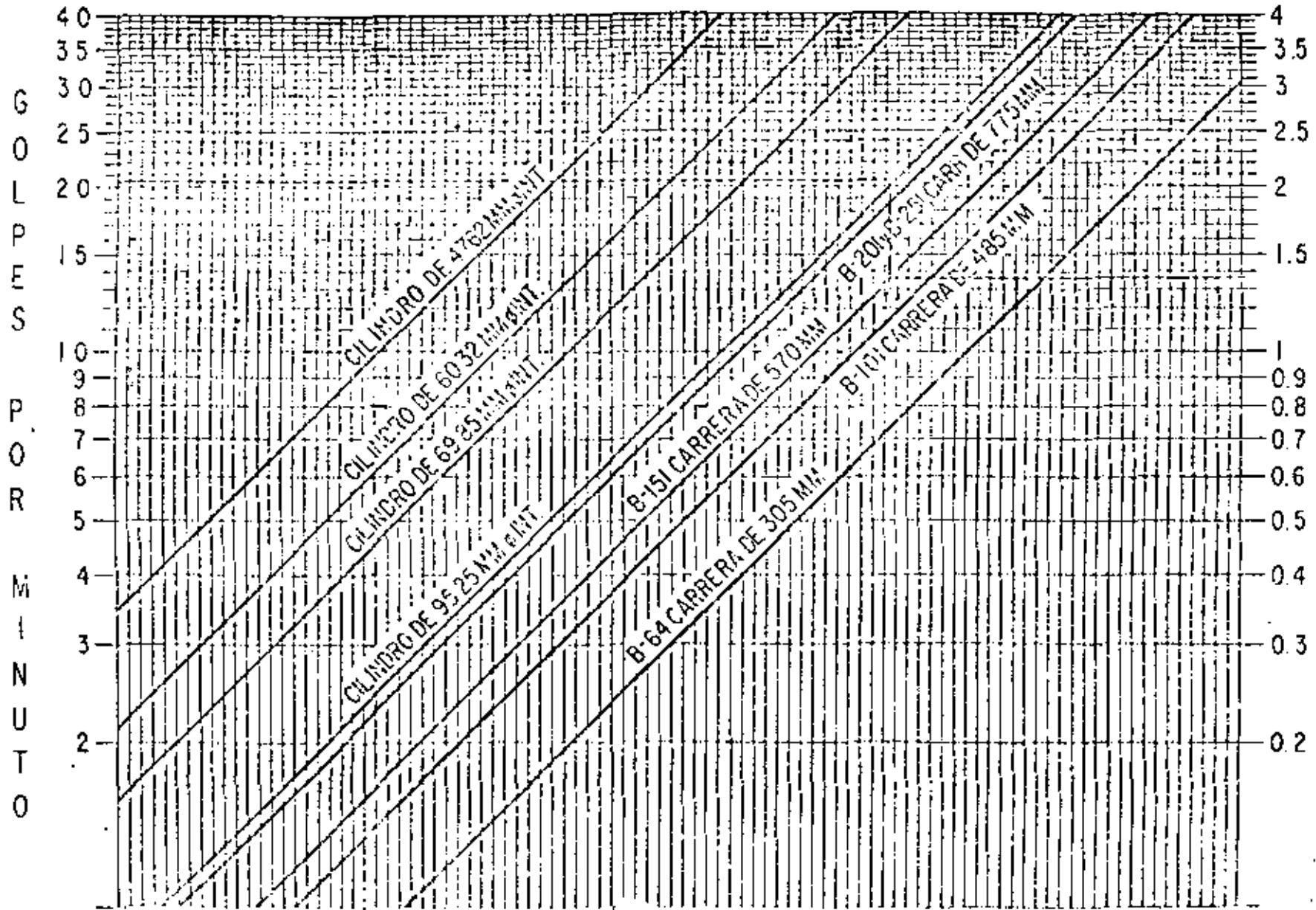
PERDIDA POR FRICCION EN TUBERIA DE
 COLUMNA Y DESCARGA.
 EN CENTIMETROS POR CADA METRO DE TUBO.

VELOCIDAD EN METROS POR SEGUNDO



GASTO EN LITROS POR SEGUNDO





f).- Longitud de la tubería y varilla de columna.

Long. de columna recomendada = nivel de bombeo \pm 1 metro (por lo menos)

Longitud de varilla = Longitud de la columna

A la longitud de la varilla de columna, se le agregará una varilla- (flecha de cabezal) al final en la parte superior con las medidas siguientes:

Flechas de cabezal en metros.	Modelo
1.75	B-64
2.32	B-101
2.82	B-151
3.32	B-201
3.32	B-251

Longitud total de la varilla = Profundidad de bombeo \pm 1 metro (por lo menos) \pm Longitud de flecha cabezal

g).- Balanceo de la columna de agua y varilla.

1.- Columna de agua.

Primeramente es necesario encontrar el peso de la columna de agua con la constante "Ka" que encontremos en la Tabla V.

Peso de la columna de agua que se va a balancear = Mitad de altura manométrica X "Ka"

TABLA V CONSTANTE "Ka"

Diam. del cilindro	Diámetro de la varilla		
	13 mm.	16 mm.	19 mm.
45.62	1.5156	1.3789	1.2196
60.325	2.5927	2.456	2.2910
69.85	3.566	3.4299	3.2647
95.25	6.86	6.7235	6.5583

El peso de la columna de agua que se va a balancear cuando el cabezal de descarga lleva contrapistón

Peso a balancear en la tubería de descarga.	=	$\frac{1}{2}$	Longitud vertical del cabezal de descarga al punto de salida del agua	X "Kc"
Peso a balancear en la tubería de descarga	=	$\frac{1}{2}$	Longitud del nivel de bombeo al cabezal de descarga.	X "Ka"

TABLA V-a CONSTANTE "Kc"

Diam. del cilindro (mm.)	Diámetro de la varilla			
	13 mm.	16 mm.	19 mm.	
45.62	- 1.647	- 1.579	- 1.497	
60.325	- .5710	- .502	- .419	
69.85	+ .402	+ .472	+ .554	
95.25	+ 3.696	+ 3.765	+ 3.847	
Peso de la columna a balancear	=	Peso en Tubería de columna	+	Peso en tubería de descarga

(+) Cuando la constante Kc sea positiva en la Tabla V-a

(-) Cuando la constante Kc sea negativa en la Tabla V-a

El peso de la columna de agua que se va a balancear, se compara con los pesos que pueden balancear los contrapesos del exéntrico que se expresan en la Tabla VI

TABLA VI

Nos indica el peso que nos pueden balancear los contrapesos del exéntrico.

Num. de contrapesos del exéntrico	M O D E L O S				
	B-64	B-101	B-151	B-201	B-251
E.....	13.4	38.5	61.3	97.4	97.4
E + 2 P.....	27.1	82.5	134.8	200	200
E + 2 P + 2 R.....	41.1	116.5	172.6	295.3	295.3
E + 2 P + 4 R.....	57.7	158.3	246.7	368.8	368.8
E + 2 P + 6 R.....	76.1	200	360.4	422.9	422.9

E = Exéntrico, P = Parabólicos, R = Rectangulares

Si no encontramos el número de contrapesos que nos balancee exactamente el peso de las columnas de agua, se escogerá el inmediato mayor y se encontrará la diferencia que llamaremos "peso excedente".

Peso excedente = $\text{Peso que pueden balancear los contrapesos del exéntrico} - \text{Peso de la columna de agua que se va a balancear}$

Checar en la Tabla VI-a si de acuerdo con el número de contrapesos no se ha excedido el número de GPM máximo permitido. Si se excedió, se volverá a efectuar el cálculo, pero con el modelo inmediato mayor.

TABLA VI-a

Número máximo de golpes por minuto permitido a diferentes números de contrapesos.

Diferentes números de contrapesos del exéntrico.	M O D E L O S				
	B-64	B-101	B-151	B-201	B-251
E.....	36	34	30	28	26
E + 2 P.....	35	33	30	27	27
E + 2 P + 2 R.....	34	32	29	25	26
E + 2 P + 4 R.....	33	31	26	28	25
E + 2 P + 6 R.....	32	30	27	24	27

2.- Balanceo del peso de la varilla de columna.

Peso total de la varilla. Longitud de la varilla. X " Kv "

TABLA VII CONSTANTE " Kv "

Diam. de la varilla en mm.	Constante " Kv "
13	1.0072
16	1.582
19	2.2935

Peso a balancear = Peso total de la varilla - Peso excedente = Peso desbalanceado

TABLA VIII

Peso desbalanceado del Guimbalote.

Modelo	Peso desbalanceado
B-64	0
B-101	6
B-151	18
B-201	40
B-251	50

El peso a balancear se compara con los pesos que pueden balancear los contrapesos cilíndricos del balancín que encontramos en la tabla IX. Si no se encuentra uno igual, se escoge el inmediato mayor el peso a balancear y se recorta la distancia máxima de colocación de los contrapesos cilíndricos que se mide de la mitad de la longitud de los contrapesos al apoyo del balancín.

La distancia máxima que se especifica en la Tabla IX es a la distancia en que los contrapesos cilíndricos balancearán el peso especificado.

Distancia disminuida = $\frac{\text{Peso que necesitamos balancear} \times \text{Distancia máxima}}{\text{Peso máximo especificado en la Tabla IX}}$

TABLA IX
Para el balanceo de la varilla en
el balancín.

Número de Contrapeso del balancín	Peso Máx. que puede aportar a una distancia Kg.	Distancia Max. de la long. de los contrapesos al apoyo del balancín. Cm.	Dist. Máxima a que se puede disminuir la distancia máx. Cm.	
B-64	1.....	21.9	80.5	61.5
	2.....	42.3	28	64
	3.....	62	75.7	66
	4.....	80	23.3	69
	5.....	96	71	71
B-101	1.....	37.65	107	79
	2.....	73.3	104	61
	3.....	107	101	84
	4.....	138.6	98	87
	5.....	168	95	90
B-151	1.....	56	140.3	76.5
	2.....	100	137.6	73.9
	3.....	161.5	135	71.3
	4.....	211	132.2	68.5
	5.....	258	129.5	65.8
	6.....	303.5	126.8	63.1
	7.....	346	124	60.44
B-201	1.....	125	205	122
	2.....	215	200.8	127
	3.....	359	195	131
	4.....	467	191	136
	5.....	570	187	141
	6.....	667	182.4	146
B-251	1.....	194	205.5	122.7
	2.....	378	200.3	127.9
	3.....	552	195.1	133
	4.....	717	190	138.2
	5.....	872	184.8	143.8
	6.....	1017	179.6	148.6
	7.....	1152	174.4	153.7

B O M B A S D I N A M I C A S

En esta clasificación se incluyen las Bombas tan comúnmente utilizadas como son las Centrífugas, sustituyendo además en su aplicación por la Bomba de Desplazamiento Positivo en actividades en que -- eran irremplazables.

B O M B A S C E N T R I F U G A SINTRODUCCION:

Las bombas centrífugas comprenden una clase de maquinaria -- de bombeo, en la cual el bombeo de líquidos ó generación de carga se -- efectúa por movimiento rotatorio de uno ó más impulsores. La gran va-- riedad de bombas centrífugas puede reducirse a unos pocos tipos funda-- mentales. Cada bomba consta de tres partes principales: Un impulsor el cual fuerza el líquido a un movimiento rotatorio; la cubierta de la -- bomba la cual dirige el, líquido al impulsor y la eleva a alta pre-- sión; y una gula para poner al impulsor en movimiento rotatorio. La -- última incluye la de la bomba, soportada por baleros y dirigida a -- través de un acoplamiento rígido ó flexible con la gula.

La cajas rellenadoras se colocan en lugares donde la flecha se extiende fuera de la cubierta de la bomba.

CARACTERISTICAS DE LA BOMBA

El volumen del líquido bombeado por unidad de tiempo se refiere a su capacidad, generalmente medida en galones por minuto (G. P. M.). Para capacidades grandes frecuentemente se establecen pies cúbicos por segundo ó millares de galones por día. Los productos del petróleo son medidas en barriles (42 Gal.) por día. -- Los siguientes son factores de conversión.

1 pie cúbico por segundo: 448.8 g.p.m.

1'000,000 galones por día: 694.4 g.p.m.

1000 barriles por día = 29.2 g.p.m.

1 litro por segundo = 15.85 g.p.m.

La altura a la cual el líquido puede ser elevado por una bomba centrífuga se llama CARGA medida en pies. Esta no depende de la gravedad específica del líquido. La carga se puede expresar en libras por pulgadas cuadradas. Para una bomba horizontal la carga dinámica total es:

$$H = H_d - H_s + \frac{V_d^2}{2g} - \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde H_d es la carga en la descarga en pies y H_s es la carga de succión en pies ambas referidas a la línea central de la flecha de la bomba las velocidades de descarga y succión V_d y V_s , respectivamente. Si la carga de succión es negativa (elevada), H_s es aditiva en la ecuación 1. Los dos últimos términos representan la dife--

nencia de energía cinética ó velocidad de carga entre los orificios de carga y descarga. Para una bomba vertical con el elemento de bombeo sumergible la carga dinámica total es $H = H_d + H_s + (V_d^2/2g)$. En este caso las pérdidas en la campana de succión y columna de descarga, arriba del punto donde la carga de descarga se mide y se anexa de nuevo a la bomba. El código del Instituto de pruebas Hidráulicas da un procedimiento detallado de la carga y medidas de capacidad para todos los casos prácticos.

EFICIENCIA:

El funcionamiento hidráulico y mecánico de una bomba se juzga por su eficiencia, definida como:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Potencia de salida de la bomba}}{\text{bhp.}} = \frac{Q}{550} \frac{H}{\text{bhp.}}$$

Donde Q = es la capacidad de pies cúbicos por segundo -- es el peso específico del líquido (para agua fría es igual a 62.4 libras, por pie cúbico); bhp es la potencia al freno de la máquina impulsora ó la potencia de entrada de la bomba. La potencia de salida de la bomba de agua, expresada en caballos potencia, es referida como caballos potencia agua (WHP). Si un líquido diferente del agua fría se usa, los whp se multiplicaron por la gravedad específica del líquido para obtener la potencia de salida de la bomba.

Funcionamiento de las curvas y leyes de afinidad. La variación de la carga con la capacidad a una velocidad constante es una característica de la bomba (fig.2). Un conjunto completo de

características de la bomba incluye eficiencia y curvas bhp.

Carga, capacidad, y bhp de una bomba varían con la velocidad, en tal caso el comportamiento de las curvas retienen sus características de operación. Esta variación sigue leyes conocidas como leyes de afinidad. Aplicables a cualquier punto de la curva capacidad-carga estas leyes establecen que (1) cuando la velocidad cambia la capacidad varía directamente con la velocidad; (2) la carga varía directamente al cuadrado de la velocidad, (3) los bhp varían directamente al cubo de la velocidad.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} ; \frac{H_1}{H_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} ; \frac{(bhp)_1}{(bhp)_2} = \frac{N_1^3}{N_2^3}$$

Para cambios usuales en velocidad, la eficiencia permanece constante para cada punto.

Clasificación de las bombas por el tipo de succión. Las bombas, de acuerdo con su tipo de succión, pueden ser catalogadas en:

- 1) Simple succión.
- 2) Doble succión (ambos lados del impulsor)
- 3) Succión negativa (nivel del líquido inferior al de la bomba)
- 4) Succión positiva (nivel del líquido superior al de la bomba)
- 5) Succión de presión (la bomba succiona el líquido de una cámara herméticamente donde se encuentra ahogada y a donde llega el líquido a presión)

Clasificación de las bombas por su dirección de flujo - -

Las bombas se dividen en:

- 1.- Bombas de flujo radial
- 2.- Bombas de flujo mixto
- 3.- Bombas de flujo axial

Las bombas de flujo radial tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, que desarrollan cargas altas. El flujo es casi totalmente radial y la presión desarrollada es debida principalmente a la fuerza centrífuga.

En las bombas de flujo mixto el flujo cambia de axial a radial. - Son bombas para gastos y cargas intermedias y la velocidad especifica de los impulsores es mayor que las de flujo radial.

En las bombas de flujo axial llamadas de propela el flujo es completamente axial y sus impulsores son de alta velocidad especifica.

C A R C A S A

Función. La función de la carcasa en una bomba centrífuga es convertir la energía de velocidad impartida al líquido por el impulsor en energía de presión. Esto se lleva a cabo mediante reducción de la velocidad por un aumento gradual del área.

La carcasa tipo voluta. Es llamada así por su forma de espiral. - Su área es incrementada a lo largo de los 360° que rodean al impulsor - hasta llegar a la garganta de la carcasa donde conecta con la descarga.

Debido a que la voluta no es simétrica, existe un desbalanceo de presiones, lo cual origina una fuerza radial muy apreciable sobre todo si la bomba se trabaja con gastos alejados y menores del gasto del punto de máxima eficiencia.

La magnitud de este empuje radial es una función de la carga, diámetro del impulsor, ancho del mismo diseño de la misma carcasa. Cuando se quiere eliminar el problema del empuje radial que se produce en una bomba de simple voluta, se usa una bomba de doble voluta en la cual cada voluta toma la mitad del gasto y cada una de ellas tiene su garganta colocada 180° distante.

Esta variante se usa solamente en bombas grandes.

La carcasa tipo difusor. Consiste en una serie de aspas fijas que además de hacer el cambio de energía de velocidad a presión, guían el líquido de un impulsor a otro.

Su aplicación más importante es en las bombas de pozo profundo -- que son bombas de varios pasos con impulsores en serie.

Según su construcción las carcasas pueden ser de una sola pieza o partidas.

Las carcasas de una sola pieza, por supuesto, deben tener una parte abierta por donde entra el líquido.

Sin embargo, para poder introducir el impulsor, es necesario que la carcasa esté partida y ello puede ser a través de un plano vertical, horizontal o inclinado.

Las carcasas que están partidas por un plano horizontal tienen la gran ventaja que pueden ser inspeccionadas las partes internas sin tener que quitar las tuberías, y son designadas como bombas de caja partida. Son usadas para abastecimiento de agua en grandes cantidades.

Las bombas con carcasa inclinada se usan mucho en aquellos casos en que se manejan pulpas o pastas que continuamente están obstruyendo el impulsor y cuya revisión es continua, pero su uso es para fábricas de papel o ingenios y sale del objeto de este estudio.

Según sus características de succión las carcasas pueden ser de simple o doble succión, correspondiendo a las características del impulsor que succionará el agua por uno o ambos extremos.

Pero por lo que se refiere propiamente a la carcasa, se puede tener succión lateral superior e inferior.

Las ventajas de las distintas disposiciones dependen del uso específico a que se vaya a destinar la bomba centrífuga y dependen, principalmente, de las necesidades y colocación de las tuberías de succión y descarga.

Por último, la carcasa puede ser de uno o varios pasos según contenga uno o más impulsores.

Un caso ya citado fue el de la bomba de pozo profundo, pero en ella cada tazón lleva su propio impulsor, por lo cual, aun cuando la bomba es de varios pasos, el tazón sólo está construido para alojar un solo impulsor.

Existen carcasas de bombas centrífugas mucho más complicadas las cuales deben alojar varios impulsores. Estas bombas se usan para altas presiones y las carcasas deben tener los conductos que comuniquen de uno a otro paso.

IMPULSORES.

El impulsor es el corazón de la bomba centrífuga. Recibe el líquido y le imparte una velocidad de la cual depende la carga producida por la bomba.

Los impulsores se clasifican según:

Tipo de succión	Simple succión Doble succión
Forma de las aspas	Aspas curvas radiales Aspas tipo Francis Aspas para flujo mixto Aspas tipo propela
Dirección del flujo	Radial Mixto Axial
Construcción mecánica	Abierto Semi-abierto Cerrado
Velocidad específica	Baja Media Alta

En un impulsor de simple succión el líquido entra por un solo extremo, en tanto que el de doble succión podría considerarse como uno formado por dos de simple succión colocados espalda con espalda.

El de doble succión tiene entrada por ambos extremos y una salida común.

El impulsor de simple succión es más práctico y usado, debido a razones de manufactura y a que simplifica considerablemente la forma de la carcasa. Sin embargo, para grandes gastos, es preferible usar un im-

pulsor de doble succión, ya que para la misma carga maneja el doble de gasto.

Tiene además la ventaja de que debido a la succión por lados - opuestos no se produce empuje axial; sin embargo, complica bastante la forma de la carcasa.

En cuanto a la forma de las aspas hemos visto cuatro grupos, explicándose al mismo tiempo su tipo de flujo y velocidad específicos.

Los impulsores de aspas de simple curvatura son de flujo radial y están sobre un plano perpendicular. Generalmente son impulsores para gastos pequeños y cargas altas, por lo cual son impulsores de baja velocidad específica.

Manejan líquidos limpios sin sólidos en suspensión.

En un impulsor tipo Francis, las aspas tienen doble curvatura. Son más anchas y el flujo tiende a ser ya radial, ya axial. La velocidad específica va aumentando y la curva de variación del gasto con la carga se hace más plana.

Una degeneración de este tipo lo constituye el clásico impulsor de flujo mixto, es decir, radial-axial, en el cual empieza ya a predominar el flujo mixto. Se pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión.

Por último, tenemos los impulsores tipo propela, de flujo completamente axial para gastos altísimos y cargas reducidas, que vienen a ser los de máxima velocidad específica. Tienen pocas aspas y pueden manejar líquidos con sólidos en suspensión de tamaño relativamente grande.

La clasificación anterior, nos permite apreciar la gran diversidad de tipos que existen y si a ello agregamos materiales de construcción tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables, y los diferentes líquidos de manejar, etc., entenderemos la importancia de este tipo de maquinaria.

BOMBAS TURBINA VERTICAL

No hay ninguna especificación concreta sobre la profundidad a que debe encontrarse el espejo del agua de un pozo para considerarlo como profundo. Más bien lo que se quiere significar con esta denominación es que se trata de grandes cargas con relación al caudal manejado. En consecuencia se advierten adecuados impulsores del tipo centrífugo, que son los que procuran mayor ganancia en carga. De todas maneras siempre será necesario disponer varios impulsores en serie para vencer toda la carga. La forma de la carcasa que aloja a cada impulsor se parece a la de un tazón invertido, de donde han tomado el nombre estas bombas. Otros las denominan impropiaemente bombas- turbina.

Los impulsores son generalmente del tipo abierto o semiabierto, para evitar en lo posible la obstrucción de la bomba, ya que se presentan muchas dificultades para una reparación. Pero también se emplean impulsores de tipo cerrado cuando se trata de mover aguas libres de cuerpos sólidos que pudieran producir obstrucción.

En cualquier caso, los impulsores no podrán ser de gran diámetro, pues ello obligaría a diámetros grandes de tazón y por tanto del pozo, lo que resultaría muy costoso. Como por otra parte todo el caudal debe pasar por cada impulsor, la relación del gasto a la carga suele ser mayor que en bombas centrífugas convencionales, esto es, la velocidad específica aumenta para la misma velocidad de giro. Por todo esto, los impulsores son tridimensionales en la mayor parte de los casos y con una cierta acción axial, o sea son mixtos, bien sean abiertos o cerrados.

El agua a la salida del impulsor es recibida por un sistema de álabes fijos engastados en la parte interior de la carcasa o tazón, son los que hacen el oficio de difusor y al mismo tiempo son directores del fluido a la parte central del impulsor siguiente.

Todos los impulsores están montados en serie en una flecha o árbol vertical, centrada dentro del tubo que forma la columna de descarga del agua, por medio de cojinetes (manguitos o arañas). En la parte inferior de succión hay un colador (pichancha) y una válvula de retención (de pie o cheki) que impide la descarga de la bomba cuando se para el motor, con lo cual se tienen cebados los impulsores para el arranque siguiente. Esta válvula es particularmente útil cuando se hace difícil sumergir en el agua a todos los impulsores. De todos modos es muy conveniente mantener la columna llena de agua para evitar se resequen los cojines o manguitos en aquellas bombas lubricadas por agua. En las bombas lubricadas en aceite no se presenta esta circunstancia por hallarse independizada la flecha del agua por una tubería de protección, pero sí debe estar el nivel del agua por encima de todos o de alguno de los impulsores.

Toda la columna viene colgada de una chumacera de carga acoplada en el cabezal situado en la parte superior a nivel del terreno, donde también está el motor que acciona la flecha. A veces el motor ataca directamente a la flecha formando parte del cabezal; otras veces la transmisión se hace por medio de un juego de engranes.

El nivel de bombeo es muy variable, desde menos de una decena a varias centenas de metros. En todos los pozos y particularmente en los más profundos, se hace necesario una perforación perfectamente vertical a fin de evitar vibraciones y lograr un buen funcionamiento de la bomba.

BOMBAS TURBINA VERTICAL.

Abarca un rango de velocidades específicas de 1000 a 1,500 R.P.M. En tamaños pequeños y velocidades específicas medias y bajas (1500 a 4500) se han desarrollado para proyectos de irrigación; se conocen como bombas para "pozo profundo" este tipo representa la clase más eficiente de bombas multipaso. Se registran eficiencias de laboratorio arriba del 90% para 1200 gpm a 1760 r.p.m. Algunos factores son los responsables para éste progreso; (1) la selección de velocidades específicas favorables; (2) el uso de impulsores abiertos; (3) el espacio libre de paso; y (4) la ausencia de fuga entre pasos y la fuga através de los dispositivos de balance y las cajas rellenadoras de alta presión.

Debido al arreglo vertical y la limitación del diámetro exterior, tanto la cubierta de difusión y el corte del impulsor se extienden en dirección axial. Las aspas de difusión se fabrican en una sola pieza sin vueltas planas. Con el aumento de velocidad específica el corte del impulsor gradualmente cambia de un flujo radial recto a un cónico mixto y finalmente a un flujo axial recto. El ángulo del aspa de difusión y velocidades se seleccionan de acuerdo a las mismas consideraciones. Guías velocidades mucho más altas a través del difusor son posibles con las bombas turbina vertical que con las bombas de voluta a la misma velocidad específica, requiriendo un alto ángulo en el aspa de difusión α_v .

44 BOMBA TURBINA VERTICAL (LUBRICADA POR ACEITE)

GENERALIDADES:

La bomba de turbina vertical consiste básicamente de tres sub-conjuntos mayores: el juego de tazones, el conjunto de columna y el conjunto del cabezal de descarga. En las bombas de diseño de "lubricación por aceite", todos los cojinetes del cabezal de descarga y del conjunto de la columna se lubrican con el aceite que proviene de un depósito montado sobre el cabezal de descarga.

Este depósito lubricador se puede suministrar con una válvula de solenoide de funcionamiento automático, que deja escurrir el aceite desde el depósito, cuando pasa la corriente eléctrica por la bobina del solenoide, o bien, mediante un regulador de gotas manual del tipo visible.

CONJUNTO O JUEGO DE TAZONES:

El conjunto de tazones se compone de la caja de succión, caja de descarga, tazones intermedios, impulsores, candados cónicos de los impulsores, cojinetes y eje con cople, para su conexión con el árbol de transmisión. Se provee un tubo adaptador con un cojinete roscado, para conectar la caja de descarga con el tubo cubier del eje.

La caja de descarga, la caja de succión y los tazones intermedios son de hierro vaciado, de grano cerrado, con los pasajes para el agua con forro de esmalte Vitriform o sin él. Los cojinetes de los tazones son del tipo de combinación de cojinetes de tipo de casquillo de bronce de alto contenido de plomo, con cojinetes de caucho, colocados éstos últimos precisamente debajo del cojinete de bronce de cada tazón intermedio. Los cojinetes de las cajas de succión y de descarga son de bronce de alto contenido de plomo y del tipo de casquillo. El cojinete de la caja de descarga es extralargo, proyectándose desde abajo de la caja de descarga hasta el tazón intermedio superior. El cojinete de la caja de succión también es extralargo, del tipo de casquillo, el bronce de alto contenido de plomo, con un empaque de fábrica de grasa repelente al agua, para asegurar una larga duración.

Los impulsores se pueden surtir del tipo cerrado o del tipo semiabierto. Los impulsores también pueden ser de bronce o de hierro vaciado. Los impulsores de hierro vaciado, de tipo cerrado, se suministran con forro de esmalte Vitriform o sin él. Cada impulsor del tipo cerrado se provee con un anillo de cierre, renovable, de bronce-aluminio colocado a presión sobre el faldón del impulsor. Los impo-

sores se fijan firmemente al eje de la bomba mediante los candados cónicos de acero.

La caja de succión normalmente se rosca para la cuerda cónica, especificación NPT (National Pipe Thread), del tubo de succión. La caja de descarga se rosca para la cuerda recta -- standard del tubo de columna. El tubo adaptador es de hierro vaciado de alta resistencia y el cojinete del tubo adaptador es de bronce maquinado a presión y roscado para poder conectar al tubo de cubierta de la columna. Se pueden surtir las cajas de descarga y de succión para conexiones bridadas sobre pedido especial.

CONJUNTO DE LA COLUMNA:

El conjunto de la columna se compone del tubo de columna con su cople, el tubo cubierta del eje que a veces también se denomina tubería de aceite, o columna interior y el eje o árbol de transmisión con su cople. Los cojinetes de bronce con rosca exterior actúan como cojinetes lubricados por aceite y también como coples de la tubería de aceite que se suministra en tramos de 1.52 m. (5 pies) de largo.

Los estabilizadores del tubo de cubierta, de caucho reforzado con alma de acero se surten en cantidad suficiente para asegurar una estabilidad completa, así como el alineamiento perfecto del conjunto de tubo de cubierta, dentro de la tubería de columna.

El tubo de columna es de acero de alta calidad, maquinado para juntas a tope, con cuerda recta.

En diámetros menores y hasta 42.8 milímetros. (1-11/16") el árbol de transmisión es de acero acabado en frío, especificación C-1018. Para tamaños de 42.8 mm. (1-11/16"), inclusive, en adelante, el material standard es de acero C-1045. Todos los ejes son de acero acabado en forma especial, para su aplicación a bombas de pozo profundo.

El tubo de cubierta es de acero extra-reforzado, maquinado cuidadosamente para obtener un alineamiento perfecto de los cojinetes. Todos los cojinetes del árbol de transmisión se maquilan de un bronce especial de muy alta calidad.

CONJUNTO DE CABEZAL DE DESCARGA:

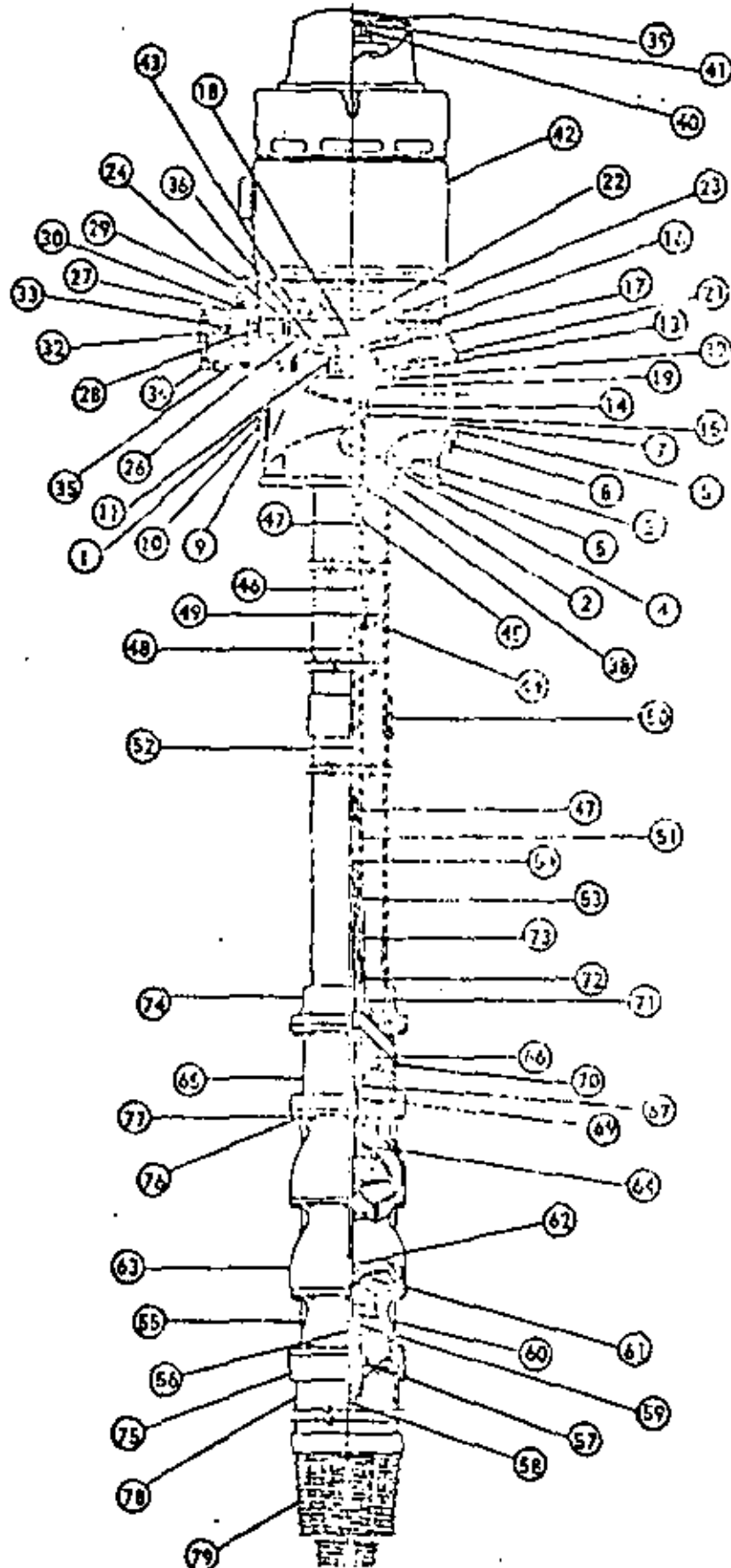
El conjunto de cabezal de descarga incluye la pieza de hierro vaciado que forma el bulbo-codo o cámara de descarga, el pedestal para el motor y el anillo base. El cabezal de descarga es de hierro vaciado, gris, de grano cerrado, con pasajes para el agua de superficies terças. Los sub-ensambles del conjunto del cabezal de descarga para bomba lubricada por aceite son el conjunto tensor de la

tubería de cubierta, el conjunto de la brida de la columna y el conjunto del lubricador, que normalmente es del tipo automático, con válvula de solenoide, cuando la bomba se opera con motor eléctrico. También se incluye una brida de descarga con su junta, para las instalaciones standard. Se incluye, asimismo, toda la tornillería — necesaria para el ensamblaje del cabezal con la unidad de bombeo.

El conjunto tensor de la tubería de cubierta se compone de un tubo de tensión hecho del mismo material que la tubería de aceite, un plato de tensión de hierro vaciado y una tuerca de tensión hecha del mismo material. La tuerca de tensión tiene en su parte interior un cojinete de bronce con alto contenido de plomo, de tipo casquillo. Se incluye todo el empaque necesario para el conjunto tensor de la tubería de cubierta.

El conjunto de sistema lubricador incluye un depósito para el aceite lubricante, de construcción robusta, de aluminio vaciado, completo, con su tapadera con bisagras y con capacidad para 3.78 litros (1 galón), un sub-ensamble consistente de la válvula de solenoide.

DIAGRAMA DE PARTES
BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE



BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE
ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION ESTANDAR

No.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL	ESPECIFICACION
1	Cabezal de descarga	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
2	Brida de la columna	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
3	Empaque de la brida de la columna	Asbesto	Johns Mansville No. 50
4	Birlos de la brida de la columna	Acero	AISI C-1137
5	Tuercas de la brida de la columna	Acero	ASTM A-307
6	Brida de descarga del cabezal	Fe. vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
7	Empaque de la brida de descarga del cabezal	Asbesto	Johns Mansville No. 63
8	Pernos de la brida de descarga del cabezal	Acero	ASTM A-307
9	Reducción-buje de la descarga auxiliar		
10	Tapón de la reducción-buje de la descarga auxiliar	Fe. vaciado	
11	Tuerca de tensión de la cubierta interior	Bronce	SAE40
12	Tornillo para fijar la tuerca de tensión	Acero	ASTM A-307
13	Empaque (anillo "O") de la tuerca de tensión	Neopreno	
14	Empaque de la cubierta	Neopreno	
15	Contratuercas del empaque de la cubierta interior	Bronce	SAE40
16	Chumacera del cabezal	Bronce	SAE660
17	Tornillo de la chumacera del cabezal	Acero	ASTM A-307
18	Sello de la chumacera del cabezal	Neopreno	Johns Mansville Tipo 1-20
19	Brida adaptadora de la tuerca de tensión	Fe. vaciado	ASTM-A48-56 Clase 30
20	Empaque (anillo "O") de la brida adaptadora	Neopreno	
21	Tornillo de la brida adaptadora	Acero	ASTM A-307
22	Tapa de la cámara de aceite	Aluminio	SAE 356
23	Tornillos de ensamble de la tapa de la cámara de aceite	Acero	ASTM A-307
24	Visor de nivel de aceite		Kingston Mod. 160 ó el equivalente
25	Wipie del visor de nivel de aceite		
26	Copie del visor de nivel de aceite		
27	Válvula de solenoide		Skinner No. VSM6260C
28	Wipie de la válvula de solenoide		
29	Tubo conuit de la válvula de solenoide		
30	Acoplador del conuit del solenoide		Thomas-Betts No. 5231
31	Acoplador del motor y el conuit del solenoide		Thomas-Betts No. 5231
32	Cólera		Kingston No. 45A
33	Reducción-buje del cólera		
34	Conexión del tubo de aceite del cólera	Bronce	
35	Tubo de aceite	Cobre	
36	Conexión del tubo de aceite con la chumacera del cabezal	Bronce	
37	Acertera	Acero	
38	Flecha del motor	Acero	AISI C-1045
39	Cuña de la flecha del motor	Acero	AISI C-1020
40	Tuerca de ajuste de la flecha del motor	Acero	AISI C-1213

BOMBAS TURBINAS LUBRICADAS POR ACEITE
ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION ESTANDAR

No.	NOMBRE DE PARTE	MATERIAL	ESPECIFICACION
41	Perno de la tuerca de ajuste	Acero	ASTM A-307
42	Motor		
43	Tornillos para fijar el motor	Acero	ASTM A-307
44	Tramo de columna exterior	Acero	ASTM A120-57T
45	Adaptador de la cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
46	Extensión de la cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
47	Cople de la flecha	Acero	AISI C-1137
48	Extensión de la flecha	Acero	AISI C-1045
49	Araña estabilizadora de la cubierta interior	Niue	
50	Cople de la columna exterior	Acero	ASTM A120-57T
51	Tramo de cubierta interior	Acero	ASTM A120-57T
52	Tramo de flecha	Acero	AISI C-1045
53	Chumacera de la flecha	Bronce	SAE40
	Flecha del cuerpo de tazones		AISI 816 M. T.
	Tazón de succión	Fe. Vaciado	ASTM A 48-56 Clase 30
56	Chumacera del tazón de succión	bronce	SAE 660
57	Tapón para grasa del tazón de succión	Fe. Vaciado	
58	Tapón final del tazón de succión	Fe. Vaciado	
59	Protector de arena del tazón de succión	Bronce	SAE 660
60	Opresor del protector de arena	Acero	ASTM A-307
61	Impulsor	Bronce	SAE40
62	Manguito del impulsor	Acero	AISI C-1045
63	Tazón	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
64	Chumacera del tazón intermedio	bronce	SAE 4840A
65	Tazón de descarga	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
66	Chumacera del tazón de descarga	Bronce	SAE 660
67	Empaque (Anillo "O") de la camisa de sello	Neopreno	Tipo Parker
68	Camisa de sello	bronce	SAE40
70	Tapón para grasa del tazón de descarga	Fe. Vaciado	
71	Sellos de aceite del tazón de descarga	Neopreno	Johns Mansville Tipo LPD
72	Chumacera superior de la bomba (Estilo "a")	bronce	SAE 660
73	Cople adaptador de la cubierta interior	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
74	Brida de descarga del cuerpo de tazones	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
75	Brida de succión del cuerpo de tazones	Fe. Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30
76	Birlos de ensamble de los tazones	Acero	AISI C-1137
	Tuercas de ensamble de los tazones	Acero	ASTM A-307
	Tubo de succión	Acero	ASTM A120-57T
79	Colador cónico	Acero	
80	Campana de succión (opcional en lugar de la brida de succión no. 75)	Hierro Vaciado	ASTM A48-56 Clase 30

DEFINICIONES DE BOMBEO

- A. NIVEL ESTÁTICO DEL AGUA: La distancia vertical de la bomba al nivel del agua cuando no se bombea.
- B. ABATIMIENTO: La distancia vertical de el descenso del nivel del agua cuando se bombea. El abatimiento varía con la capacidad del pozo y de la bomba.
- C. NIVEL DE BOMBEO: La distancia vertical de la bomba al nivel del agua cuando está bombeando (A más B).
- D. PERDIDA POR FRICCIÓN EN LA SUCCIÓN: Es la carga producida por la fricción del agua en la tubería de succión y válvula de pie o coladera.
- E. CARGA TOTAL DE SUCCIÓN: Distancia vertical del nivel de bombeo a la bomba sumada las pérdidas por fricción (A más B más D).
- F. CARGA MANOMÉTRICA EN LA DESCARGA: Elevación y/o presión proporcionada en la descarga de la bomba (no incluye pérdidas por fricción).
- G. PERDIDA POR FRICCIÓN EN LA DESCARGA: Es la carga producida por el flujo del agua (fricción) en la tubería de descarga, herrajes, válvulas, etc.
- H. CARGA DINÁMICA TOTAL EN LA DESCARGA: La elevación y/o la presión de la bomba a la descarga incluyendo pérdidas por fricción (F. más G).
- I. AGUA A AGUA: Distancia vertical del nivel de bombeo a la altura máxima de descarga. No incluye pérdidas por fricción (F más G).
- J. CARGA DINÁMICA TOTAL: La distancia total del nivel de bombeo a la altura máxima de descarga incluyendo todas las pérdidas hidráulicas y por fricción (E más H).
- K. COLOCACIÓN: Distancia desde la base de la bomba al inyector, válvula pie o tazones en la turbina.
- L. LONGITUD TOTAL: Distancia total de la base de la bomba al fondo de la válvula de pie o coladera.
- M. SUMERCIÓN: La distancia vertical desde el nivel de bombeo a la parte superior de los tazones, inyector o válvula inferior. (K menos C)
- Q. CAPACIDAD: Cantidad bombeando en galones por minuto o litros por segundo, etc.

DEFINICIONES DE BOMBEO

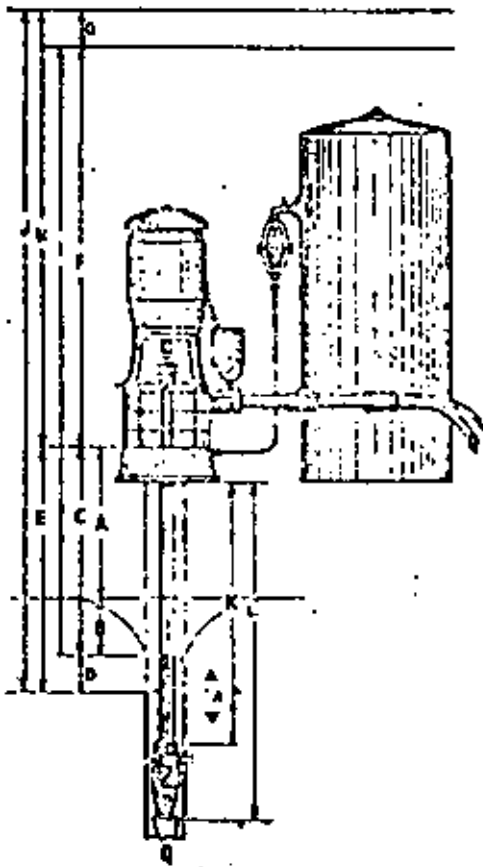


Fig. 1

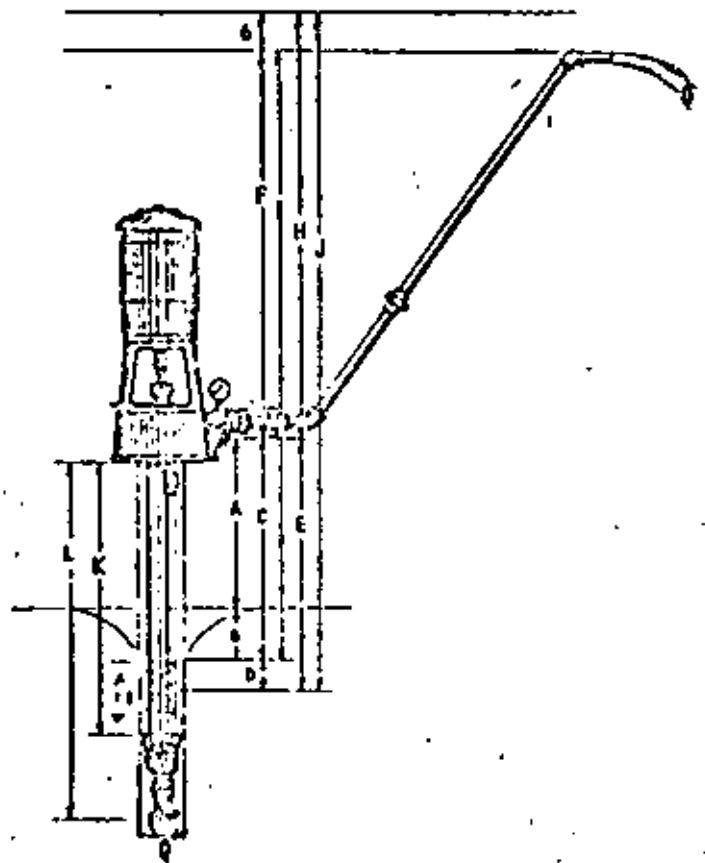


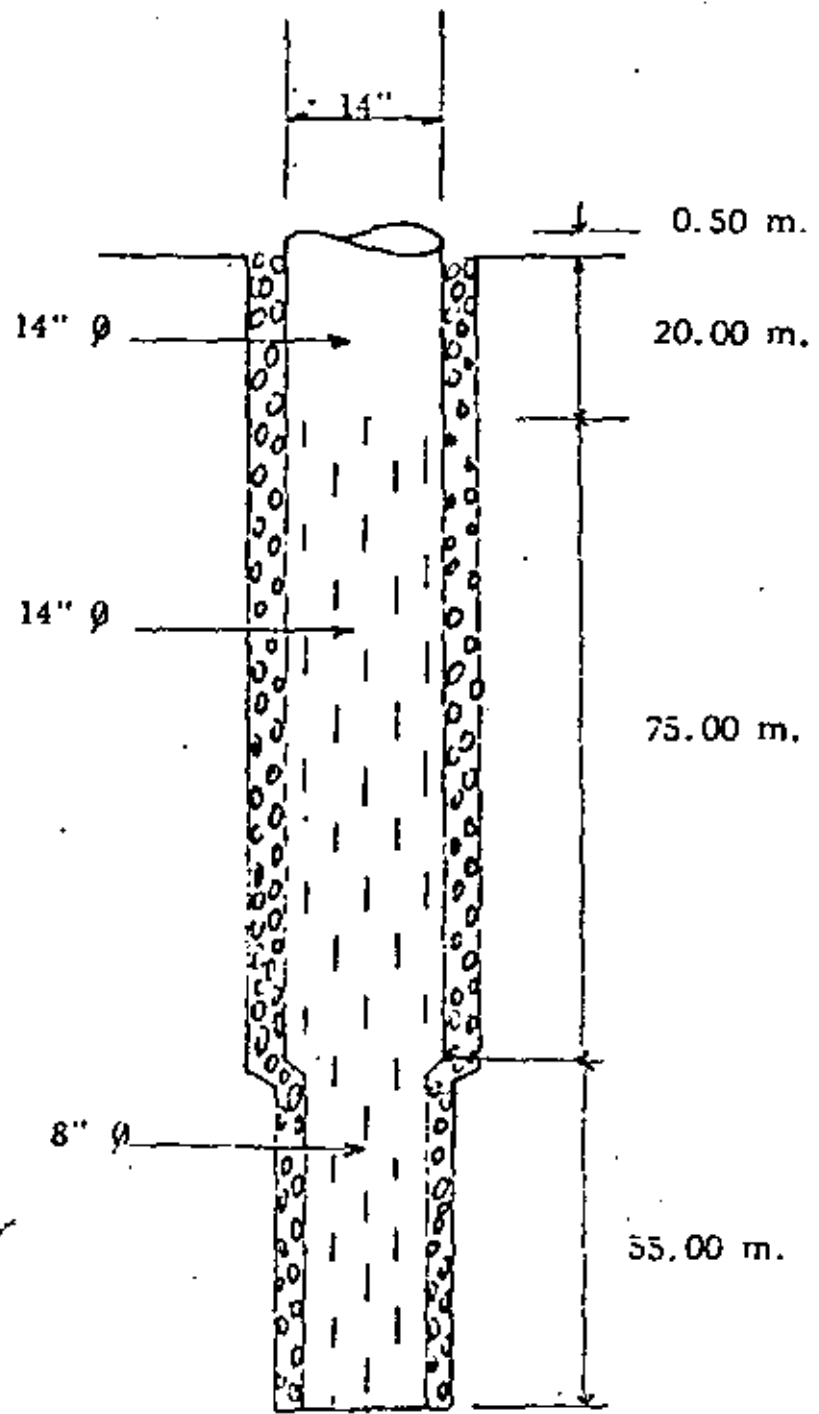
Fig. 2

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS

NOMBRE DEL POZO: HUANTO
ESTADO: HIDALGO

MUNICIPIO: ACTOPAN

CORTE DE TERMINACION



A CONTINUACION SE MENCIONA EL CALCULO DE UN EQUIPO DE BOMBEO Y EL COSTO DE OPERACION DEL MISMO

NOMBRE DEL POZO: HUAXTO
 MUNICIPIO: ACTOPAN ESTADO: HIDALGO

DATOS HIDRAULICOS DEL POZO

PROFUNDIDAD DEL POZO	150.00 m.	
PROFUNDIDAD DE LA CAMARA DE BOMBEO	95.00 m.	14" ϕ
NIVEL ESTATICO	11.05 m.	
NIVEL DINAMICO DE DISEÑO	67.00 m	
GASTO DE DISEÑO	90.00 L.P.S.	= 1,426.50 GPM
ELEVACION O CARGA HIDR. ADIC.	2.00 m.	
ALTURA MANOMETRICA	69.00 m.	= 226.32 F.T.

SOLUCION:

El número de pasos, tazonos e impulsores viene definido por la relación:

$$n = \frac{H_{(total)}}{H_{(por\ paso)}}$$

La carga manométrica es 226.32 pies

La carga dinámica $\frac{v^2}{2g}$ se estima sobre la base de una velocidad en tubería a 8 pies por segundo.

$$\frac{v^2}{2g} = \frac{8^2}{2 \times 32.2} = 1 \text{ pie}$$

Las pérdidas de estas bombas, se evalúan en porcentaje de la carga manométrica siendo del orden de un 4% de dicho valor ó sea:

$$\frac{4}{100} \times 226.32 = 9.05 \text{ pies}$$

La carga dinámica total será la suma de todas ellas.

$$C.D.T. = H_t = 226.32 + 1 + 9.05 = 236.37 \text{ pies}$$

Teniendo como datos la C.D.T. y el gasto, se puede definir el número total de pasos que se requieren para esta bomba. Tomando la curva 12HS-A de la marca Jacuzzi a 1760 R.P.M., tazones semibiertos, la cual tiene una eficiencia de 85% y 60 pies por paso.

$$\text{Por lo tanto } n = \frac{236.37}{60} = 3.93 = 4 \text{ pasos}$$

La potencia del motor será:

$$P_m = \frac{\gamma Q H}{550 \eta m}$$

$$m = 0.85 = \frac{62.4 \times 3.1784 \times 236.37}{550 \times 0.85}$$

$$= 100.27 \text{ H.P.}$$

$$\gamma = 62.4 \text{ Lb/pie}^3$$

$$Q = 3.17 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

$$H = 236.37 \text{ pies}$$

$$1 \text{ HP} = 550 \frac{\text{Lb} \cdot \text{ft}}{\text{seg}}$$

$$1 \text{ pie}^3 = 7.48 \text{ gal}$$

$$1426.50 \text{ G.P.M.} = 3.1784 \text{ pie}^3/\text{seg.}$$

La flecha seleccionada es de 1 $\frac{7''}{16}$ de diámetro y consume una potencia de 2.5 H.P.:

$$P_m = 102.77$$

Y la potencia total considerando un 15% como factor de seguridad es:

$$P_t = 118 \text{ H.P.}$$

El motor que se suministrará será de inducción tipo jaula de ardilla de 125 H.P., 60 C.P.S., 440 Volts.

El empuje axial a nivel del cabezal de descarga de la bomba turbina es la suma del empuje hidráulico y el empuje estático (carga muerta) de la flecha e impulsores y la flecha de los tazones es generalmente un pequeño porcentaje estático y puede despreciarse.

$$\text{Empuje total} = E$$

$$E = (K \times C.D.T) + (W \times S)$$

donde K = Factor de empuje de la bomba Lbs/pie de Carga

C.D.T = Carga dinámica total en pies

W = Peso de la flecha en libras

S = Longitud total de la columna en pies

$$E = (K \times C.D.T.) + (W \times S)$$

$$K = 19$$

$$C.D.T = 236.37 \text{ pies}$$

$$W = 5.37 \text{ lb/pie}$$

$$S = 250 \text{ pies}$$

$$E = (19 \times 236.37) + (5.37 \times 250)$$

Empuje total 5833.53 Lb.

La elongación o alargamiento total es

$$e = \frac{C.D.T. \times S \times K \times 12}{A \times 29,000,000}$$

$$A = 0.7854 D^2 = 0.7854 \times 1.4375^2$$

$$A = 1.622955$$

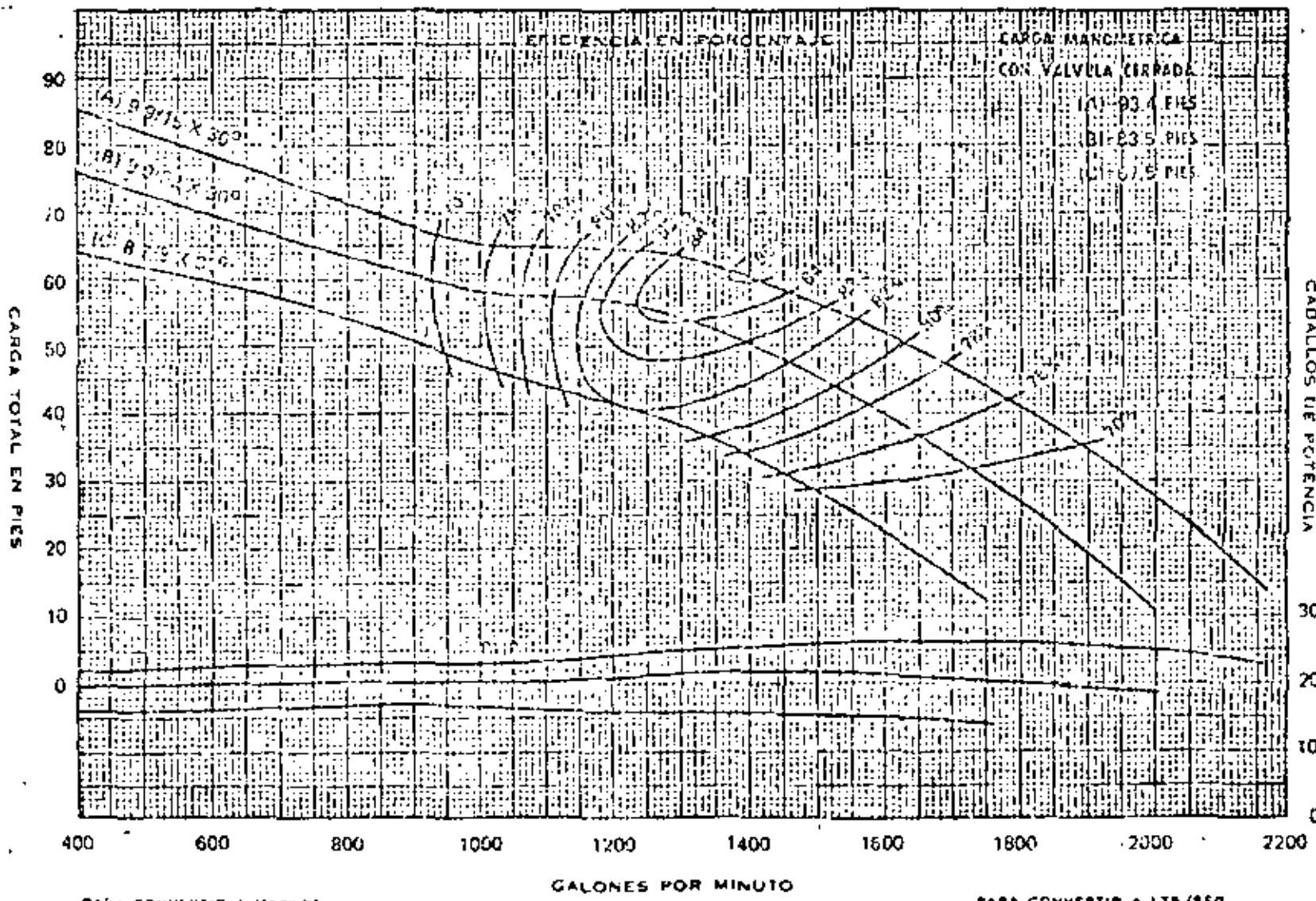
$$e = \frac{236.37 \times 250 \times 19 \times 12}{1.62 \times 29 \times 10^6}$$

$$e = 0.286783 \text{ in}$$

$$e = 7.28 \text{ mm.}$$

$$29 \times 10^6 = \text{Módulo de elasticidad del acero}$$

$$\text{Lb/pulg.}^2$$



PARA CONVERTIR A METROS
MULTIPLIQUESE PIES X 0.305

PARA CONVERTIR A LTR/SEG
MULTIPLIQUESE GALONES/MIN X 0.06308

NUMERO DE TAZONES	CAMBIO DE EFICIENCIA
1	-4
2	-2
3	-1

El cambio de eficiencia puede afectar la carga y el cabalaje.

Díam. Tazón 1 1/4 Ptg.
Núm. Tazón 2915-S.K.I.
Núm. Impulsor 2953.
BRONCE

Area del Ojo del impulsor 37.4 Ptg 2
Tipo Impulsor SEMI-ABIERTO
K = 19.0

RENDIMIENTO POR ETAPA

Curva No. 12H 64
R.P.M. 1760
Tazón 12HS

La eficiencia está basada en el bombeo de agua limpia, a una temperatura que no exceda de 30°C. (86°F.) y que este libre de gas, aire o abrasivos, y con los impulsores ajustados apropiadamente y los tazones sumergidos.

CABALLOS DE POTENCIA

FRICCIÓN MECÁNICA
EN LAS FLECHAS DE LAS BOMBAS TURBINAS (*)

TABLA N.º 1

Longitud de la Flecha		DIAMETRO DE LA FLECHA										
		3/4"	1"	1 3/16"	1 7/16"	1 1/2"	1 11/16"	1 15/16"	2 3/16"	2 1/16"	2 11/16"	2 15/16"
Metros	Pies	Fricción Mecánica en H.P. A 1750 R.P.M.										
7.6	25	.08	.13	.18	.25	.29	.35	.45	.58	.73	.84	1.00
15.2	50	.15	.26	.36	.50	.59	.70	.90	1.15	1.42	1.68	2.00
22.9	75	.23	.39	.54	.75	.86	1.05	1.35	1.73	2.14	2.51	3.00
30.5	100	.30	.52	.72	1.00	1.15	1.40	1.80	2.30	2.85	3.35	4.00
38.1	125	.38	.65	.90	1.25	1.40	1.75	2.25	2.88	3.56	4.19	5.00
45.7	150	.45	.78	1.08	1.50	1.73	2.10	2.70	3.45	4.27	5.03	6.00
53.3	175	.53	.91	1.26	1.75	2.01	2.45	3.15	4.03	4.99	5.66	7.00
61.0	200	.60	1.04	1.44	2.00	2.30	2.80	3.60	4.50	5.70	6.70	8.00
68.6	225	.68	1.17	1.62	2.25	2.59	3.15	4.05	5.18	6.41	7.54	9.00
76.2	250	.75	1.30	1.80	2.50	2.88	3.50	4.50	5.75	7.12	8.38	10.00
83.8	275	.83	1.43	1.99	2.75	3.16	3.85	4.95	6.33	7.84	9.21	11.00
91.4	300	.90	1.56	2.16	3.00	3.45	4.20	5.40	6.90	8.55	10.05	12.00
99.0	325	.98	1.69	2.34	3.25	3.74	4.55	5.85	7.48	9.26	10.89	13.00
106.7	350	1.05	1.82	2.52	3.50	4.03	4.90	6.30	8.05	9.97	11.73	14.00
114.3	375	1.13	1.95	2.70	3.75	4.31	5.25	6.75	8.63	10.69	12.56	15.00
121.9	400	1.20	2.08	2.88	4.00	4.60	5.60	7.20	9.20	11.40	13.40	16.00
129.5	425	1.28	2.21	3.06	4.25	4.99	5.95	7.65	9.78	12.11	14.23	17.00
137.1	450	1.35	2.34	3.24	4.50	5.18	6.30	8.10	10.35	12.82	15.09	18.00
144.8	475	1.43	2.47	3.42	4.75	5.46	6.65	8.55	10.93	13.54	15.91	19.00
152.4	500	1.50	2.60	3.60	5.00	5.75	7.00	9.00	11.50	14.25	16.75	20.00
Fricción Mecánica en H.P. A 1450 R.P.M.												
7.6	25	.06	.11	.15	.21	.24	.30	.38	.48	.60	.73	.90
15.2	50	.12	.23	.30	.45	.48	.60	.75	.95	1.20	1.44	1.75
22.9	75	.19	.34	.45	.68	.71	.90	1.13	1.42	1.80	2.18	2.65
30.5	100	.25	.45	.60	.90	.95	1.20	1.50	1.90	2.40	2.90	3.40
38.1	125	.31	.56	.75	1.13	1.19	1.50	1.88	2.38	3.00	3.63	4.25
45.7	150	.38	.68	.90	1.35	1.43	1.80	2.25	2.85	3.60	4.35	5.10
53.3	175	.44	.79	1.05	1.58	1.66	2.10	2.63	3.32	4.20	5.09	5.95
61.0	200	.50	.90	1.20	1.80	1.90	2.40	3.00	3.80	4.80	5.80	6.80
68.6	225	.56	1.01	1.35	2.03	2.14	2.70	3.38	4.28	5.40	6.53	7.65
76.2	250	.63	1.13	1.50	2.25	2.38	3.00	3.75	4.75	6.00	7.25	8.50
83.8	275	.69	1.24	1.65	2.48	2.61	3.30	4.13	5.22	6.60	7.98	9.35
91.4	300	.75	1.35	1.80	2.70	2.85	3.60	4.50	5.70	7.20	8.70	10.25
99.0	325	.81	1.46	1.95	2.93	3.09	3.90	4.88	6.17	7.80	9.43	11.25
106.7	350	.88	1.58	2.10	3.15	3.33	4.20	5.25	6.65	8.40	10.15	12.00
114.3	375	.94	1.69	2.25	3.38	3.56	4.50	5.63	7.15	9.00	10.86	12.75
121.9	400	1.00	1.80	2.40	3.60	3.80	4.80	6.00	7.60	9.60	11.70	13.50
129.5	425	1.06	1.91	2.55	3.83	4.04	5.10	6.38	8.07	10.20	12.33	14.45
137.1	450	1.13	2.03	2.70	4.05	4.28	5.40	6.75	8.55	10.80	13.05	15.50
144.8	475	1.19	2.14	2.85	4.28	4.51	5.70	7.13	9.04	11.40	13.79	16.65
152.4	500	1.25	2.25	3.00	4.50	4.75	6.00	7.50	9.50	12.00	14.65	17.00

(*) Para valores no comprendidos en esta tabla vea gráfica No. 2

Pérdidas por fricción para agua, en pies por cada 100 pies de tubería (o en metros por cada 100 metros).
 Basada en la fórmula de Williams & Hazen, usando una constante de 100.

TABLA N° 2

Tamaño del Motor Cilindros de 14 HP por pie	1/2"		3/4"		1"		1 1/4"		1 1/2"		2"		2 1/2"		3"		4"		5"		6"		Tamaño del Motor Cilindros de 14 HP por pie
	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	Vel. Pies Seg.	Pérd. Carga Pies	
3	3.10	7.4	1.90	1.9	1.69	2.15	1.48	2.86	1.27	3.20	1.10	3.52	0.95	3.84	0.82	4.16	0.71	4.48	0.61	4.80	0.52	5.12	3
4	4.21	27.0	2.41	7.0	2.21	4.55	1.77	8.20	1.50	9.50	1.27	11.00	1.08	12.50	0.92	14.00	0.78	15.50	0.66	17.00	0.55	18.50	4
6	6.31	57.0	3.61	14.7	3.41	7.8	2.65	14.7	2.25	16.50	1.85	18.50	1.55	20.50	1.31	22.50	1.11	24.50	0.94	26.50	0.79	28.50	6
8	8.42	98.0	4.82	21.0	4.62	11.7	3.55	21.0	3.05	23.00	2.45	25.00	2.05	27.00	1.75	29.00	1.45	31.00	1.21	33.00	1.01	35.00	8
10	10.52	147.0	6.02	30.0	5.82	16.7	4.45	28.0	3.85	30.00	3.15	32.00	2.65	34.00	2.25	36.00	1.85	38.00	1.55	40.00	1.25	42.00	10
12	12.62	201.0	7.22	39.0	7.02	22.5	5.28	37.0	4.58	39.00	3.75	41.00	3.15	43.00	2.65	45.00	2.25	47.00	1.85	49.00	1.55	51.00	12
15	15.72	285.0	9.02	51.0	8.82	30.0	6.60	49.0	5.78	51.00	4.75	53.00	3.95	55.00	3.35	57.00	2.85	59.00	2.45	61.00	2.05	63.00	15
18	18.82	387.0	10.82	63.0	10.62	35.0	8.00	61.0	6.98	63.00	5.75	65.00	4.85	67.00	4.15	69.00	3.55	71.00	3.05	73.00	2.55	75.00	18
20	20.92	501.0	12.62	75.0	12.42	42.0	9.20	73.0	7.98	75.00	6.65	77.00	5.65	79.00	4.85	81.00	4.15	83.00	3.55	85.00	2.95	87.00	20
25	25.02	675.0	15.62	93.0	15.42	51.0	11.20	91.0	9.78	93.00	8.15	95.00	6.95	97.00	5.95	99.00	5.15	101.00	4.45	103.00	3.75	105.00	25
30	30.12	870.0	18.62	111.0	18.42	60.0	13.20	109.0	11.58	111.00	9.75	113.00	8.35	115.00	7.15	117.00	6.15	119.00	5.35	121.00	4.55	123.00	30
35	35.22	1080.0	21.62	129.0	21.42	69.0	15.20	127.0	13.58	129.00	11.55	131.00	9.95	133.00	8.55	135.00	7.35	137.00	6.35	139.00	5.55	141.00	35
40	40.32	1305.0	24.62	147.0	24.42	78.0	17.20	145.0	15.58	147.00	13.15	149.00	11.35	151.00	9.75	153.00	8.35	155.00	7.15	157.00	6.15	159.00	40
45	45.42	1545.0	27.62	165.0	27.42	87.0	19.20	163.0	17.58	165.00	14.75	167.00	12.75	169.00	11.15	171.00	9.75	173.00	8.35	175.00	7.15	177.00	45
50	50.52	1800.0	30.62	183.0	30.42	96.0	21.20	181.0	19.58	183.00	16.35	185.00	14.15	187.00	12.35	189.00	10.75	191.00	9.35	193.00	8.15	195.00	50
55	55.62	2070.0	33.62	201.0	33.42	105.0	23.20	199.0	21.58	201.00	17.95	203.00	15.35	205.00	13.35	207.00	11.55	209.00	9.95	211.00	8.55	213.00	55
60	60.72	2355.0	36.62	219.0	36.42	114.0	25.20	217.0	23.58	219.00	19.55	221.00	16.75	223.00	14.55	225.00	12.55	227.00	10.95	229.00	9.55	231.00	60
65	65.82	2655.0	39.62	237.0	39.42	123.0	27.20	235.0	25.58	237.00	21.35	239.00	18.55	241.00	16.15	243.00	13.95	245.00	12.15	247.00	10.75	249.00	65
70	70.92	2970.0	42.62	255.0	42.42	132.0	29.20	253.0	27.58	255.00	23.15	257.00	20.35	259.00	17.75	261.00	15.35	263.00	13.35	265.00	11.75	267.00	70
75	76.02	3300.0	45.62	273.0	45.42	141.0	31.20	271.0	29.58	273.00	24.95	275.00	22.15	277.00	19.55	279.00	17.15	281.00	14.95	283.00	13.15	285.00	75
80	81.12	3645.0	48.62	291.0	48.42	150.0	33.20	289.0	31.58	291.00	26.75	293.00	23.95	295.00	20.75	297.00	18.15	299.00	15.75	301.00	14.15	303.00	80
85	86.22	4005.0	51.62	309.0	51.42	159.0	35.20	307.0	33.58	309.00	28.55	311.00	25.75	313.00	22.55	315.00	19.75	317.00	17.35	319.00	15.35	321.00	85
90	91.32	4380.0	54.62	327.0	54.42	168.0	37.20	325.0	35.58	327.00	30.35	329.00	27.55	331.00	24.35	333.00	21.55	335.00	18.95	337.00	16.55	339.00	90
95	96.42	4770.0	57.62	345.0	57.42	177.0	39.20	343.0	37.58	345.00	32.15	347.00	29.35	349.00	26.15	351.00	23.35	353.00	20.35	355.00	18.15	357.00	95
100	101.52	5175.0	60.62	363.0	60.42	186.0	41.20	361.0	39.58	363.00	33.95	365.00	31.15	367.00	28.15	369.00	25.15	371.00	22.15	373.00	19.15	375.00	100
105	106.62	5595.0	63.62	381.0	63.42	195.0	43.20	379.0	41.58	381.00	35.75	383.00	32.95	385.00	29.95	387.00	26.75	389.00	24.15	391.00	21.15	393.00	105
110	111.72	6030.0	66.62	399.0	66.42	204.0	45.20	397.0	43.58	399.00	37.55	401.00	34.75	403.00	31.75	405.00	28.55	407.00	25.75	409.00	22.15	411.00	110
115	116.82	6480.0	69.62	417.0	69.42	213.0	47.20	415.0	45.58	417.00	39.35	419.00	36.55	421.00	33.55	423.00	30.35	425.00	27.55	427.00	24.15	429.00	115
120	121.92	6945.0	72.62	435.0	72.42	222.0	49.20	433.0	47.58	435.00	41.15	437.00	38.35	439.00	35.35	441.00	32.15	443.00	29.35	445.00	25.15	447.00	120
125	127.02	7425.0	75.62	453.0	75.42	231.0	51.20	451.0	49.58	453.00	42.95	455.00	40.15	457.00	37.15	459.00	34.15	461.00	31.15	463.00	27.15	465.00	125
130	132.12	7920.0	78.62	471.0	78.42	240.0	53.20	469.0	51.58	471.00	44.75	473.00	42.35	475.00	39.35	477.00	36.15	479.00	33.15	481.00	29.15	483.00	130
135	137.22	8430.0	81.62	489.0	81.42	249.0	55.20	487.0	53.58	489.00	46.55	491.00	44.15	493.00	41.15	495.00	37.95	497.00	34.95	499.00	31.15	501.00	135
140	142.32	8955.0	84.62	507.0	84.42	258.0	57.20	505.0	55.58	507.00	48.35	509.00	46.15	511.00	43.15	513.00	40.15	515.00	37.15	517.00	33.15	519.00	140
145	147.42	9500.0	87.62	525.0	87.42	267.0	59.20	523.0	57.58	525.00	50.15	527.00	47.95	529.00	44.95	531.00	42.15	533.00	39.15	535.00	35.15	537.00	145
150	152.52	10065.0	90.62	543.0	90.42	276.0	61.20	541.0	59.58	543.00	51.95	545.00	49.75	547.00	46.75	549.00	44.15	551.00	41.15	553.00	37.15	555.00	150
155	157.62	10650.0	93.62	561.0	93.42	285.0	63.20	559.0	61.58	561.00	53.75	563.00	51.55	565.00	48.55	567.00	45.95	569.00	43.15	571.00	39.15	573.00	155
160	162.72	11250.0	96.62	579.0	96.42	294.0	65.20	577.0	63.58	579.00	55.55	581.00	53.35	583.00	50.35	585.00	47.75	587.00	45.15	589.00	41.15	591.00	160
165	167.82	11865.0	99.62	597.0	99.42	303.0	67.20	595.0	65.58	597.00	57.35	599.00	55.15	601.00	52.15	603.00	49.55	605.00	47.15	607.00	43.15	609.00	165
170	172.92	12500.0	102.62	615.0	102.42	312.0	69.20	613.0	67.58	615.00	59.15	617.00	56.95	619.00	53.95	621.00	51.35	623.00	49.15	625.00	45.15	627.00	170
175	178.02	13155.0	105.62	633.0	105.42	321.0	71.20	631.0	69.58	633.00	60.95	635.00	58.75	637.00	55.75	639.00	53.15	641.00	51.15	643.00	47.15	645.00	175
180	183.12	13830.0	108.62	651.0	108.42	330.0	73.20	649.0	71.58	651.00	62.75	653.00	60.55	655.00	57.55	657.00	54.95	659.00	52.95	661.00	49.15	663.00	180
185	188.22	14520.0	111.62	669.0	111.42	339.0	75.20	667.0	73.58	669.00	64.55	671.00	62.35	673.00	59.35	675.00	56.75	677.00	54.75	679.00	51.15	681.00	185
190	193.32	15225.0	114.62	687.0	114.42	348.0	77.20	685.0	75.58	687.00	66.35	689.00	64.15	691.00	61.15	693.00	58.55	695.00	56.55	697.00	53.15	699.00	190
195	198.42	15945.0	117.62	705.0	117.42	357.0	79.20	703.0	77.58	705.00	68.15	707.00	65.95	709.00	62.95	711.00	60.35	713.00	58.35	715.00	55.15	717.00	195
200	203.52	16680.0	120.62	723.0	120.42	366.0	81.20	721.0	79.58	723.00	69.95	725.00	67.75	727.00	64.75	729.00	62.15	731.00	60.15	733.00	57.15	735.00	200
205	208.62	17430.0	123.62	741.0	123.42	375.0	83.20	739.0	81.58	741.00	71.75	743.00	69.55	745.00	66.55	747.00	64.15	749.00	62.15	751.00	59.15	753.00	205
210	213.72	18195.0	126.62	759.0	126.42	384.0	85.20	757.0	83.58	759.00	73.55	761.00	71.35	763.00	68.35	765.00	66.15	767.00	64.15	769.00	61.15	771.00	210
215	218.82	18975.0	129.62	777.0	129.42	393.0	87.20	775.0	85.58	777.00	75.35	779.00	73.15	781.00	70.15	783.00	68.15	785.00	66.15	787.00			

TABLA DE SELECCION DE FLECHAS
DE ACERO C-1045

TABLA N

DIAMETRO DE LA FLECHA M.M. (Pulg.)	Velocidad (RPM)	* TRACCION EN LA FLECHA EST. (LBS)								
		454	907	1,361	2,268	3,402	4,536	6,804	9,072	13,608
		1,000	2,000	3,000	5,000	7,500	10,000	15,000	20,000	30,000
Potencia Admisible - HP										
19.05 (3/4)	1,760	20.0	19.5	18.8	16.3					
	1,160	13.2	12.9	12.4	10.7					
	860	9.8	9.5	9.2	8.0					
25.4 (1)	3,500	94.5	93.8	93.0	89.5	82.5				
	1,760	47.5	47.2	46.7	45.0	41.5				
	1,160	31.3	31.1	30.8	29.7	27.3				
30.16 (1 1/16)	860	23.2	23.1	22.9	22.0	20.3				
	3,500	167	167	166	163	157	149			
	1,760	84.0	84.0	83.5	82.0	79.0	75.0			
36.51 (1 7/16)	1,160	55.4	55.4	55.0	54.1	52.1	49.4			
	860	41.0	41.0	40.7	40.0	38.6	36.6			
	3,500			296	294	289	283	254		
38.10 (1 1/2)	1,760			189	186	185	182	133		
	1,160			98.3	97.6	96.0	94.0	87.6		
	860			72.7	72.3	71.0	69.5	54.8		
42.86 (1 11/16)	3,500			336	334	330	324	306		
	1,760			168	168	166	163	154		
	1,160			111.2	110.7	109.2	107.2	101.4		
49.21 (1 15/16)	860			82.6	82.1	81.1	79.6	75.2		
	1,760			252	251	248	246	237	227	
	1,160			166	165	164	162	157	150	
55.56 (2 3/16)	860			123	122	121	120	117	111	
	1,760				393	392	390	382	373	355
	1,160				259	258	257	252	246	232
61.91 (2 7/16)	860				197	197	191	191	182	174
	1,760				578	577	576	570	562	544
	1,160				382	381	380	376	371	355
66.26 (2 11/16)	860				283	282	281	279	275	270
	1,760					815	815	810	802	784
	1,160					537	537	533	529	514
70.18 (2 13/16)	860					398	398	395	392	384
	1,760						1,070	1,067	1,055	1,034
	1,160						703	700	696	682
860						520	518	515	501	

* Se determina de acuerdo con las páginas 9 y 10 de esta misma Sección.

SELECCION DE LOS COPLES

TIPO DE IMPULSOR	TIPO DE COPLE	PROFUNDIDAD MAXIMA RECOMENDABLE MTS. (PIES)
Cerrado	auto-desconexión	50.96 (200')
	no-retroceso	152.40 (500')
Semi-abierto	auto-desconexión	30.48 (100')
	no-retroceso	60.96 (200')

Para profundidades mayores que las indicadas o para cargas totales que excedan los 600', dirijase a la fábrica. Para grandes profundidades altas cargas revítese el alargamiento de la flecha.

La tabla N° 5 se comprueba el diámetro de la flecha en función de la velocidad de operación y de la potencia del motor. Estas coordenadas

de velocidad-diámetro de la flecha señalan la potencia aproximada a la cual hay que operar esta flecha considerada para el diámetro elegido.

CABEZALES DE DESCARGA

PARA BOMBAS DE POZO PROFUNDO
TIPO TURBINA
LUBRICADAS POR ACEITE O POR AGUA

TABLA N° 1

Modelo	Precios	Peso (Kgs.)	Diámetro de la Base del Motor (1) cms.-(pulg.)	Diámetro Máximo de la Brida de Descarga cms.-(pulg.)	Diámetro de - Columna que pueden emplearse cms.-(pulg.)	Combinaciones de Flecha y Cubierta interior que pueden emplearse							
						3/4 1-1/4	1 1-1/2	1-3/16 2	1-1/2 2-1/2	1-11/16 2-1/2	1-11/16 3	1-15-16 3	2-3/16 3-1-2
3A	\$2,950	35	30.48 (12)	Sin Bidas 7.62(3) Roscado	Sin Bidas 7.62(3) Roscado	Solamente para Lubricación por Agua							
4A	6,615	35		Sin Bidas 10.16(4) Roscado	Sin Bidas 10.16(4) Roscado								
4B	6,815	80		10.16 (4) Roscado	7.62 (3) 10.16 (4) 12.70 (5) Con Bidas	X	X						
4C	7,025	90	41.91 (16-1/2) 50.80 (20) 62.23 (24-1/2)			X	X						
	7,980	125	25.40 (10) 30.48 (12)	15.24 (6) Con Bidas	10.16 (4) 12.70 (5) 15.24 (6) Con Bidas	X	X	X					
6C	8,225	130	41.91 (16-1/2) 50.80 (20) 62.23 (24-1/2)			X	X	X					
BB	12,020	180	25.40 (10) 30.48 (12)			X	X	X					
8C	12,395	190	41.91 (16-1/2) 50.80 (20) 62.23 (24-1/2)	20.32 (8) Con Bidas	12.70 (5) 15.24 (6) 20.32 (8) 25.40 (10) Con Bidas	X	X	X	X	X	X	X	X
8HD	14,585	250						X	X	X	X	X	X
10C	16,515	265			25.40 (10) Con Bidas		X	X	X	X	X	X	X
10HD	17,685	320						X	X	X	X	X	X
12C	20,440	335		30.48 (12) Con Bidas	20.32 (8) 25.40 (10) 30.48 (12) Con Bidas	X	X	X	X	X	X	X	X
14D	21,860	560		35.56 (14) Con Bidas	35.56 (14) Con Bidas			X	X	X	X	X	X

* Deben usarse únicamente con columna que no exceda de 61 Mts. (200') de profundidad.

El diámetro de la base del motor puede ser mayor que el diámetro de la base superior del cabezal de descarga. SIN AFECTAR SU FUNCIONAMIENTO.

La tabla No. 1 da una selección de cabezales de descarga para motores eléctricos en sus dimensiones de la base y su descarga. Para motor eléctrico deben coincidir para el cabezal en un acoplamiento exacto.

CABEZALES ENGRANADOS

TIPO ESTANDAR Y COMBINADO

62

Especificaciones

TABLA N° 6

MODELO		C. de F. Max.	R.P.M. DEL MOTOR DE COMBUSTION INTERNA						
			880	1005	1173	1320	1408	1467	1760
			RELACION DE ENGRANES						
J15	* JC15	15	1:2		2:3	3:4			1:1
J30	* JC30	30	1:2	4:7	2:3	3:4		5:6	1:1
J50	* JC50	50	1:2		2:3	3:4		5:6	1:1
J70	* JC70	70	1:2		2:3	3:4		5:6	1:1
J110	* JC110	110	1:2	4:7	2:3	3:4		5:6	1:1
J150	* JC150	150	1:2	4:7	2:3	3:4	4:5	5:6	1:1

* Cabezal combinado para usarse en motores eléctricos y de combustión interna.

Los cabalajes y las revoluciones anotadas están basados en una bomba trabajando a 1760 R.P.M.

Se puede sobrecargar el cabezal engranado en un 10 % de la potencia admisible siempre que la sobrecarga no sobrepase a los 5 C. de F.

Todos los motores de combustión interna pueden variar su velocidad para poder usar cabezales engranados jacuzzi de diversas relaciones, siempre que el motor sea capaz de proporcionar en servicio continuo la demanda de C. de F. que requiera la bomba.

La Tabla N° 6 facilita una selección del cabezal de engranes para el empleo de motor Diesel como unidad motriz; tres columnas que enumeran de izquierda a derecha indican, según las siguientes: potencia del motor diesel en HP; modelo del cabezal de engranes y relación de engranes en función de las RPM del motor y la bomba. Se puede

en la gráfica con la potencia seleccionada del motor diesel y horizontalmente se encuentra el modelo del cabezal de engranes y la relación del conjunto motor bomba, operada la bomba a las RPM convenientes.

BARRAS FLEXIBLES

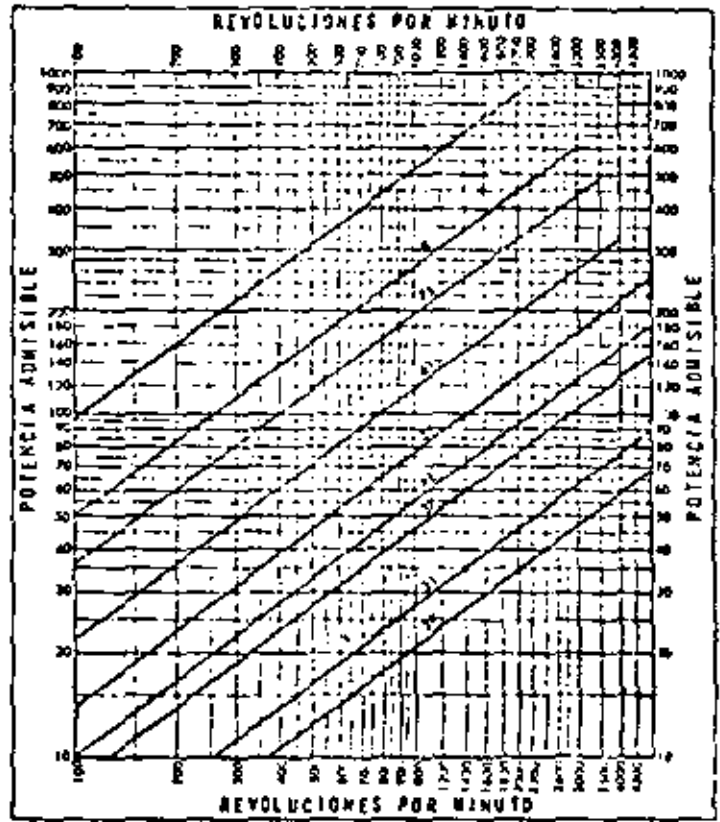
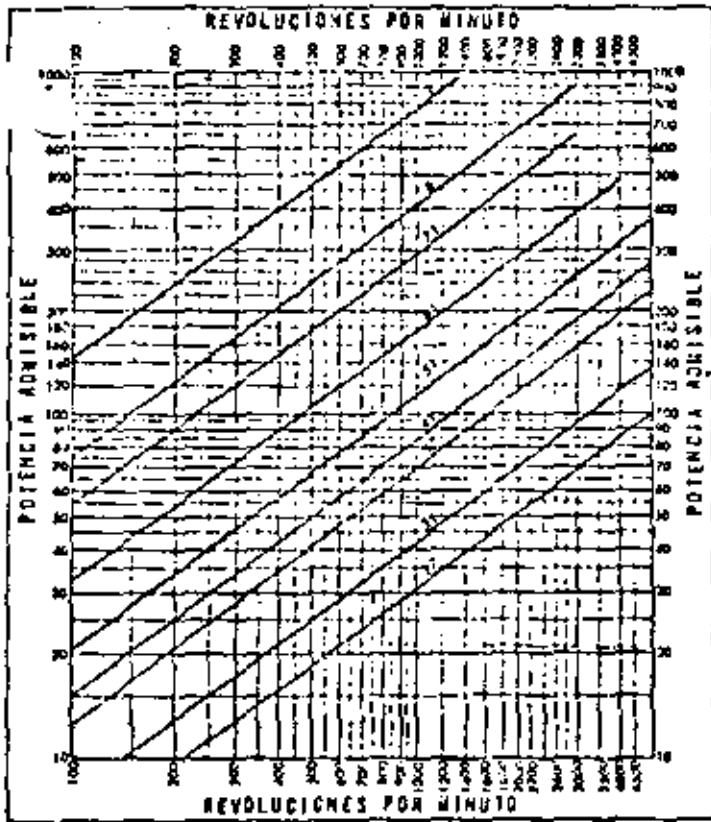
TABLA DE SELECCION

TABLA N° 7

MODELO	LONGITUD cms. (pulg.)	VELOCIDAD DE LA SARRA FLEXIBLE EN RPM * *				
		(y Relación del Cabezal de Engranes)				
		1760 RPM (Rel. 1:1)	1467 RPM (Rel. 5:6)	1320 RPM (Rel. 3:4)	1173 RPM (Rel. 2:3)	880 RPM (Rel. 1:2)
POTENCIA MAXIMA ADMISIBLE EN C. DE F.						
WL27	91 * (36")	31	27	25	23	19
WL31	91 * (36")	42	37	33	31	25
WL37	91 * (36")	59	61	56	51	42
WL41	91 * (36")	85	75	69	63	51
WL51	122 (48")	117	103	94	87	70
WL61	122 (48")	179	155	142	132	108
WL71	122 (48")	295	260	238	217	178
WL8	122 (48")	405	355	330	300	240

* Consulte a la Fábrica si se desea una longitud distinta a la especificada.

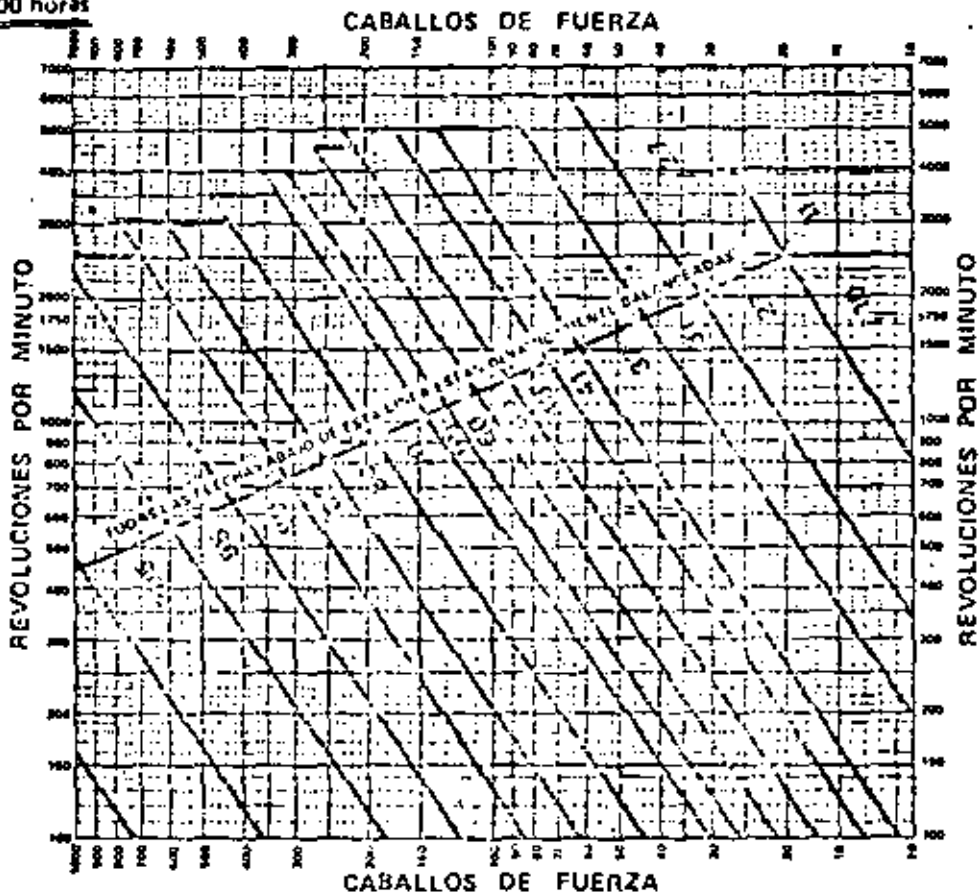
** Las velocidades anotadas son las necesarias en la barra flexible para que la bomba gire a 1760 R.P.M. según la relación de engranes del cabezal que se utilice.



GRAFICA N° 3

GRAFICAS DE SELECCION DE FLECHAS WATSON.

Gráfica 1 2.500 horas



GRAFICA N° 4

RESPECIFICACIONES DE EQUIPO DE BOMBEO CON NOTICIA ENCARGADO

NOMBRE DEL PAGO: HLAXTHO SERVICIO: _____

D E S D E D E O: HIDALGO MUNICIPIO: ACTOPAN

PROFUNDIDAD TOTAL DEL POZO.....	<u>150.00</u>	M	
PROFUNDIDAD CAMERA DE BOMBEO Y DIAMETRO	<u>95.00</u>	M	<u>14</u> P.C.C. 5'
ELEVACION O CARGA HIDRAULICA ADIC.	<u>2.00</u>	M.	
LONGITUD DE CONDUCCION	_____	M.	
A L T I T U D	_____	M. S. N. M.	
VOLTAJE EN ALTA TENSION	<u>13.2</u>	KV.	
DESEMPEÑO A ELECTRICIDAD	_____	KV.	

DISEÑOS HIDRAULICOS

NIVEL ESTATICO	<u>11.05</u>	M.
NIVEL DINAMICO DE AFORO	<u>65.00</u>	M
COSTO DE AFORO	<u>85.00</u>	L. P. S.
NIVEL DINAMICO DE DISEÑO	<u>67.00</u>	M.
COSTO DE DISEÑO	<u>90.00</u>	L. P. S.

ADMINISTRACION APROXIMADA PARA EFECTOS DE CALCULO QUE SE CONSIDERA SE REALIZARA SE REALIZARA AL TRABAJAR LOS POZOS EN MATERIA (EN PROCESO DE ESTUDIO) _____ M.

DESCRIPCION:

CARACTERISTICAS:

POTENCIA DE OPERACION REQUERIDA ..	118			H.P.
VELOCIDAD DE OPERACION REQUERIDA..	1760			R.P.M.
ARRANCADOR TRIFASICO 60 HERTZ	440	V. PARA	125	H.P.
INTERRUPTOR	600	V. PARA	125	H.P.
	HASTA			AMP.
CORRIENTE METALICO CON COMBINACION DE INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO Y ARRANCADOR ASINCRONICO, AUTOTRANSFORMADOR NO REVER- SIBLE Y AUTOTRANSFORMADOR MONOFASICO TI PO SECO		PARA	125	H.P.
SUBSTANCION COMPLETA		PARA ARRANCADOR DE	125	H.P.
ARRANCADOR TRIFASICO 60 HERTZ	440	V. PARA	125	H.P.
TRANSFORMADOR ELECTRICO DE DISTRIBUCION TRIFASICO TIPO INDUSTRIAL 60 HERTZ DE --				
INTERRUPTOR, SUMERGIDO EN ACEITE		V. PARA	13,200	H.P.
		V. SEC.	440	H.P.
		DE	150	H.P.
TRANSFORMADOR TIPO SECO PARA ALIMENTAR CONTACTO O LAMPARA 440/220 V. 60 HZ		DE	0.75	H.P.
HERRAMIENTAS PARA SUBSTANCION TIPO RURAL PARA INSTALACION EN ALTA TENSION DE TRANSFORMA- DORES			150	H.P.
BOBES EN CARBONALES PARA CONECTORES EN S.T. PARA			125	H.P.

CALCULO DE COSTO DE OPERACION (CONSUMO ELECTRICO)
DE BOMBA TURBINA VERTICAL

POZO: H U A X T O
MPIO: A C T O P A N
EDO. H I D A L G O

D A T O S H I D R A U L I C O S

N. E. = 11.05 Metros
N. D. = 67 Metros
Q. = 90 L. P. S.

El Motor Eléctrico utilizado para la tracción de esta bomba, es de las siguientes características:

H. P. = 103
E = 440 Volts.
I = 123 Amperes a plena carga
F = 60 c.p.s.
Vel. = 1800 R. P. M.

$$\begin{aligned} W &= \sqrt{3} E X I X f. p. \\ W &= \sqrt{3} X 440 X \underline{123} X 0.8 \\ KW &= \underline{81.5} \text{ KW} \end{aligned}$$

Convirtiendo L. P. S. a M³/ Hora

$$\underline{80} \text{ L. P. S.} = \underline{288} \text{ M}^3 / \text{ Hora}$$

La potencia consumida en extraer 288 M3 es de 81.5 K. W. H.
 De acuerdo a la tarifa N.º 8 de la C. F. E.
 de 0-5000 K. W. H. el costo por K.W.H. es de \$ 0.172

La explotación de 288 M3 con una potencia consumida de 81.5 K.W.H.
 es por un total de \$ 15.70

Costo de 1 M3 de agua es de \$ 0.0545

De acuerdo al boletín No. 5 de la Dirección General de Unidades de
 Riego para el Desarrollo Rural.

C U L T I V O	REGIONES HEMEDAS			REGIONES SECAS		
	LAMINA	NETA	NUM. DE RIEGO	LAMINA	NETA	NUM. DE RIEGO
	TOTAL (CM)	POR RIEGO (CM)		TOTAL (CM)	POR RIEGO (CM)	
CAÑA	165	15	11	180	15	12
FRIJOL	21	7	3	36	9	4
MAJZ	40	10	4	55	11	5
TRIGO	40	10	4	60	12	5

En riego rodado por estos Cultivos, consideramos un 40 % de pérdidas

CULTIVO	REGIONES HUMEDAS		REGIONES SECAS	
	TOTAL CM	M ³ X CICLO	TOTAL CM	M ³ X CICLO
CANA	231	23.100	252	25.200
FRIJOL	29.4	2.940	50.4	5.040
MAIZ	56	5.600	77	7.700
TRIGO	56	5.600	84	8.400

CONSIDERANDO UNA HECTAREA COMO SUPERFICIE DE CULTIVO

CULTIVO	M ³ X CICLO	GASTO DE EXTRACCION M ³ / Hora	No. DE HORAS DE BOMBEO
CANA DE AZUCAR	25.200	288	87.5
FRIJOL	5.040	288	17.5
MAIZ	7.700	288	26.73
TRIGO	8.400	288	29.16

El costo de riego de una hectárea es:

$$\begin{aligned} \text{Costo} &= \text{Potencia consumida en KWH} \\ &\times \text{costo en KWH} + 10\% \text{ impuesto de electrificación} + 2\% \\ &\text{conexión de medición} \end{aligned}$$

El costo de regar por bombeo una hectárea de cualquier tipo de cultivo, resultará de multiplicar el total de metros cúbicos que se requieren para el riego en todo el ciclo por el costo de un m³ bombeado.

El costo de facturación, dependerá de la tarifa de consumo eléctrico como sigue:

0	-	5000	KWH	\$	0.172
5000	-	10000	KWH		0.2293
10000	-	20000	KWH		0.2675
20000	-	ó más	KWH		0.3058

CULTIVO	POTENCIA CONSUMIDA KWH.	COSTO DE FACTURACION	COSTO POR METRO CUBICO DE BOMBEO
CAÑA DE AZUCAR	7 131.25	13 48.69	0.0545
FRIJOL	1 426.25	274.75	0.0545
MAIZ	2 178.50	419.66	0.0545
IRIGO	2 376.54	457.81	0.0545

SUBDIRECCION DE GEONIDROLOGIA Y ZONAS ARIDAS
DEPARTAMENTO DE ELECTROMECHANICA

COSTO DE METROS CUBICOS BOMBEADOS UTILIZANDO BOMBA TURBINA CON MOTOR ELECTRICO
(CALCULO SOBRE CONSUMO ELECTRICO)

C A U D A L		NIVELES DE BOMBEO EN METROS				
M 3/ Hora	L.P.S.	40	60	80	100	120
36	10	\$ 0.032	\$ 0.052	\$ 0.062	\$ 0.084	\$ 0.104
72	20	\$ 0.034	\$ 0.055	\$ 0.066	\$ 0.088	\$ 0.110
144	40	\$ 0.033	\$ 0.055	\$ 0.066	\$ 0.82	\$ 0.107
216	60	\$ 0.0342	\$ 0.054	\$ 0.072	\$ 0.090	\$ 0.103
288	80	\$ 0.033	\$ 0.0545	\$ 0.0682	\$ 0.0815	\$ 0.103
366	100	\$ 0.032	\$ 0.054	\$ 0.065	\$ 0.0866	\$ 0.094

BIBLIOGRAFIA.

1. KENT'S MECHANICAL ENGINEERS' HANDBOOK
EDITOR: J. KENNETH SALISBURY
POWER VOLUME
TWELFTH EDITION
WILEY ENGINEERING HANDBOOK SERIES.

2. BOMBAS, TEORIA, DISEÑO Y APLICACIONES
POR: ING. MANUEL VIEJO ZUSICARAY
EDITORIAL LIMUSA - WILEY, S.A.

3. HANDBOOK OF HYDRAULICS.
FOR THE SOLUTION OF HYDRAULIC PROBLEMS
BY HORACE WILLIAMS KING
THIRD EDITION
SIXTH IMPRESSION
MC. GRAW - HILL BOOK COMPANY, INC.

4. HIDRAULICA
POR: B. NEKRASOV
TERCERA EDICION MODIFICADA
EDITORIAL MIR
MOSCU 1968

5. TURBOMQUINAS HIDRAULICAS
PRINCIPIOS FUNDAMENTALES
POR: MANUEL POLO ENCINAS
EDITORIAL LIMUSA
MEXICO 1976

6. CATALOGO GENERAL DE FABRICANTE PARA
BOMBAS TURBINA VERTICAL MARCA JACUZZI.

7. CATALOGO GENERAL DE FABRICANTE PARA
BOMBAS TURBINA VERTICAL, PROPELA Y
FLUJO MIXTO MARCA JOHNSTON, ITT.

8. BOMBAS, SU SELECCION Y APLICACION
POR: G.T. NIKS
6a. IMPRESION
EDITORIAL CEECA,
MEXICO, 1970.

9. BOMBAS CENTRIFUGAS
POR: I.J. KARASSIK Y R. CARTER
EDITORIAL CECSA
MEXICO, 1966.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GROUND WATER MOVEMENT IN LIVING COLOR:
A SLIDE SHOW

TYLER GASS

OCTUBRE, 1980

G R O U N D W A T E R M O V E M E N T

I N L I V I N G C O L O R :

A S L I D E S H O W

By

Jay H. Lehr, Executive Director
The National Water Well Association
500 West Wilson Bridge Road
Worthington, Ohio 43085
(614) 846-9355

Copyright © 1977,
The National Water Well Association
All rights reserves

TABLE OF CONTENTS

<u>SLIDE NOS.</u>	<u>MODEL NAME</u>	<u>NARRATIVE</u>
1	<u>Model Experiment Table</u>	Details of Model Construction and Operation are enclosed in the article entitled "Ground Water Flow Models Simulating Subsurface Conditions" which appeared in the <u>Journal of Geological Education</u> , Vol. 11, No. 4, December, 1963
2-19	<u>Single Well Flow Model</u> (non-pumping 2-8) (pumping 9-16) (pumping stopped 17-19)	Described in enclosed reprint of article entitled "An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells" which appeared in <u>Ground Water</u> , Vol 2, No. 3, July, 1964
20-28	<u>Cone of Depression Model</u> (single wells pumping 20-25) (multiple wells pumping 26) (recharge and discharge wells 27-28)	(same as above)
20-33	<u>Cone of Depression Model</u> (single wells pumping 20-25) (multiple wells pumping 26) (recharge and discharge wells 27-28) (flow from a losing influent stream 29-33)	Described in enclosed reprint of article entitled "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the <u>Journal of Soil and Water Conservation</u> Vol. 18, No. 5, Sept-Oct, 1963
34-43	<u>Effluent Stream Model</u>	Described in enclosed reprint of article entitled "Ground Water: Flow Toward An Effluent Stream" which appeared in <u>Science</u> , Vol 140, No. 3573, June 21, 1963

TABLE OF CONTENTS (Continued)

<u>SLIDE NOS.</u>	<u>MODEL NAME</u>	<u>NARRATIVE</u>
44-51	<u>Recharge Pit Models</u> (Wedge shaped 44-47) (Rectangular shaped 48-51)	Described in enclosed reprint of article entitled "Relation of Shape of Artificial Re- charge Pits to Infiltration Rate" which appeared in <u>Journal of American Water Works Association</u> , Vol 56, No. 6, June 1964.
52-54	<u>Refraction Model</u>	Description and Pictures Enclosed
55-60	<u>Lens Model</u>	Described in enclosed reprint of article entitled "Model Analysis of Ground Water Flow Around and Through Lenti- cular Beds" which appeared in <u>Journal Water Pollution Control Federation</u> ; Jan. 1964
61-65	<u>Layered Model</u>	Description and Pictures Enclosed
66-71	<u>Artesian Well Model</u>	Description and Pictures Enclosed
72-77	<u>Unsaturated Flow Model</u>	Description and Pictures Enclosed
78-80	<u>Fault Model</u>	Description and Picture Enclosed

Made in United States of America
Reprinted from
JOURNAL OF GEOLOGICAL EDUCATION
Vol. 11, No. 4, December 1963, pp. 124-132

GROUND-WATER FLOW MODELS SIMULATING
SUBSURFACE CONDITIONS
JAY HERBERT LEHR

GROUND-WATER FLOW MODELS SIMULATING SUBSURFACE CONDITIONS

JAY HERBERT LEHR

University of Arizona

ABSTRACT. The lack of adequate empirical experimentation in saturated ground-water flow has tended to result in incomplete understanding of ground-water movement. In order to clarify the characteristics of saturated flow in a manner that will permit visual flow-net analysis, a simple inexpensive permanent portable ground-water flow model was developed. The model consists of a watertight Plexiglas case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin that simulates solid rock. Most geologic and hydrologic features can be synthesized in such a model. Visible flow lines, formed by colored inks inserted into the system, can be analyzed to determine the broad pattern of ground-water flow as controlled by geologic factors.

INTRODUCTION

Because ground-water flow takes place beneath the land surface, it is difficult for the student to envision actual movement in the true space and time dimensions. Further, it has become apparent that realistic understanding and solution of problems relating to ground-water movement require basic knowledge of flow-net analysis of ground-water systems. The development of hydraulic models simulating common geological skeletons in consolidated media, instituted in this study, offers an opportunity for live demonstrations of actual ground-water movement. The effects of grain size, lithology, boundary conditions, recharge and discharge, and well development on ground-water movement can be readily observed in the models. The ultimate objective of this research is to achieve a better understanding of ground-water movement.

Work under National Science Foundation grant NSF-G 17703 commenced on July 1, 1961. The work has been done mainly in the Groundwater Geology Laboratory, Department of Geology, The University of Arizona. The two years of work have been devoted to the development and testing of improved hydraulic models containing consolidated porous media.¹

In order to develop a good model with which to study the characteristics of laminar flow in saturated rock, the following plan was executed.

1. Experiments were performed to determine the most suitable formulation for a consolidated porous medium, and the strongest bond by which to hold the medium to its transparent case. Glass and Plexiglas were tested for their competence as an outer casing. Recharge, discharge, and ink-injection systems were developed by extensive experimentation. Air-evacuation methods were tested with the aim of obtaining perfect water saturation within the models.

2. Preliminary test models were constructed. Several designs were tested in order to achieve flow patterns analogous to those known to occur in nature.

3. Each hydrodynamic parameter was analyzed in order to test the validity of the analogy.

¹Lehr, J. H., 1962, Empirical studies of laminar flow in porous consolidated media: Ph.D. dissertation, University of Arizona.

4. Models analogous to actual geologic and hydrologic situations were constructed. The following phenomena are representative of those studied by means of these models: (a) the flow pattern of ground-water movement toward a pumping well; (b) flow toward an effluent stream; (c) the movement of ground-water recharge out of an infiltration pit and into a subsurface aquifer; (d) ground-water flow around and through lenticular beds of varying permeability; (e) the refraction of water as it moves across interfaces between materials of different permeability; and (f) flow-net displacement caused by wells pumping in the vicinity of layers varying in permeability and situated at different depths.

Grateful acknowledgment is made to H. E. Skibitzke and H. T. Chapman of the Water Resources Division, U.S. Geological Survey, for ideas on the construction of hydraulic models and the formulation of a consolidated medium. The writer also acknowledges the assistance of J. J. Wright in the development of the models and the editing of this manuscript.

MODEL TYPES

Nearly all previous hydraulic models developed for studying laminar flow utilized unconsolidated sand. Such models have these major disadvantages: studies are limited to nearly homogeneous media; hydrologic characteristics cannot be identically reproduced in order to exactly repeat an experiment; and hydrologic characteristics may not remain constant during experimentation, as channeling and changing of the packing arrangement may occur.

These objections were overcome by using models in which a consolidated medium simulates natural sedimentary rock. The medium consists of grains bound together by epoxy resin. This mixture can be molded easily and will solidify in any desired form. The fabric of the medium can be positioned in glass or Plexiglas cases under various structural and lithological conditions, and will allow continuous experimentation. The hydrologic characteristics of the model will remain constant for the life of the model, which should be many years. Ground-water systems can be established and controlled in the model by the use of hydraulic pumps, simulating recharge and discharge. Colored inks can be inserted into the flow system, forming visible flow lines that can be analyzed in order to synthesize the broad pattern of ground-water flow as controlled by geologic factors.

Two different types of models were tested. The first type utilized a case composed of plate glass sides and aluminum end tanks bonded to the glass. These models proved to be inferior, because of difficulties involved in bonding the porous medium to the glass and in attaching the separate aluminum end tanks.

In the second type of model the casing is constructed entirely of Plexiglas. These models have been built with dimensions ranging from 12 to 36 inches in height, 18 to 36 inches in length, and $\frac{1}{8}$ to 4 inches in thickness. This type of model has been extremely successful. It consists essentially of a rectangular case made of $\frac{1}{2}$ -inch-thick Plexiglas. When the sand-and-resin mixture is formed in the case, a wooden dummy is placed in each end of the case. When the sand mixture is hardened the wood dummies are removed, leaving what are essentially built-in end tanks. This model is nearly of one-piece construction.

The overall size of a model may be chosen according to convenience; the relative dimensions will depend on the set of geologic conditions to be simulated. Models should be thick enough to produce a negligible wall effect, but there is no advantage in increasing the thickness indefinitely, since only two dimensions of the model are actually being studied.

FORMATION OF CONSOLIDATED MEDIUM

The first step in forming the consolidated medium was to select the proper unconsolidated material for the skeleton. For high permeability a coarse grain size was selected, and for low permeability a fine grain size. The sand used was very nearly white, so that the colored dye bands would show up clearly. It is possible to wash plain brown sand in warm hydrochloric acid and thereby obtain nearly white sand, but in the long run this was hardly economical. Therefore graded white sand was purchased from the Crystal Silica Company for use in most of the experiments. This sand was separated into various fractions and these were then used separately or combined in order to obtain the wide range of permeabilities that were used in the models.

Commercial glass beads were also tried. They offered no particular advantage over sand, except that they are pure white and can be purchased in finer sizes than sand. The finer grades of beads have been used successfully in forming consolidated media in the very low permeability range.

The second step in formation of the consolidated medium was to choose the proper resin. The desired properties were clear color, low viscosity, high adhesive properties, long working time, ability to cure at room temperature, ability to bond with glass or Plexiglas, and complete stability in the presence of water at normal room temperatures. After testing many different resins, it was decided to use Epocast 202 and hardener # 9810 or # 9615, made by the Furane Plastic Company.

A method was then devised by which one could calculate the proper proportions of sand and resin in order to obtain a consolidated medium of high strength and permeability for the particular grain size to be used. It is undesirable to attempt to adjust the permeability by varying the proportion of resin. This material is much too expensive to be used in excess in order to decrease permeability, and any volume used in excess of a thin film on the grains will not be evenly distributed but will collect at the bottom of the "rock" due to gravity. Decreasing the quantity of resin too much will have little or no effect on the permeability, but will decrease the strength of the medium and may ultimately allow it to disintegrate.

For the purpose of calculating the proper amount of resin to be used with a given amount of sand, let us assume that we are using spherical grains. Given a volume V , the number of grains needed to fill it will vary as the cube of the radius (or diameter) of the grains, since the volume of a sphere equals $\frac{4}{3}\pi R^3$. In other words, if it takes x number of 1-mm. grains to fill the volume V , then it would take $8x$ grains of $\frac{1}{2}$ mm. to fill the same volume. The surface area of a sphere is equal to πD^2 ; therefore a $\frac{1}{2}$ -mm. grain has a surface area $\frac{1}{4}$ as large as a 1-mm. grain. Halving the size of the grains means that eight times as many grains are needed; since each measures $\frac{1}{4}$ the surface area, this results in a doubled total surface area. This suggests that twice as much cement would be needed. However, since there are more grain contacts per volume with smaller

grains, each contact need not be as strong as the contacts in the coarser-grained rocks. The strength of the total contacts of all the rocks should be equal. Therefore, as the grain size is halved, slightly less than twice as much resin is needed.

Since the amount of resin used is partly dependent on the shape and surface texture of the sand grains, a different sand-to-resin ratio must be obtained for different sand types. However, if all the sand used has approximately the same grain shape and texture, it is necessary to find the proper resin ratio for one size increment by trial and error and then all other ratios can be computed. A good criterion for trial-and-error experiment is to slowly add resin to the sand, while mixing, until the sand grains all appear shiny from the resin film around them. The proportion of resin to sand at this point will be quite close to the optimum. Once a satisfactory ratio for the first grain-size increment is obtained, let this ratio be called R_1 . All other ratios can be computed from the following semi-empirical equation.

$$R_2 = \frac{A_2 + b_2}{A_1 + b_1} \times R_1 - \left[\frac{\left(\frac{A_2 + b_2}{A_1 + b_1} \right) R_1 - R_1}{5} \right]$$

where

R_2 = ratio of sand to resin by weight for sand size increment number 2

R_1 = ratio of sand to resin by weight for sand size increment number 1 (found by trial and error)

A_1 = maximum grain diameter of sand No. 1 in mm.

b_1 = minimum grain diameter of sand No. 1 in mm.

A_2 = maximum grain diameter of sand No. 2 in mm.

b_2 = minimum grain diameter of sand No. 2 in mm.

The bracketed factor on the right of the equation is the factor that accounts for the increase or decrease of grain contacts as sand size changes. The number 5 in the divisor may be called the "contact factor" and may be varied as the experimenter sees fit. If the contact factor is decreased the sand-to-resin ratio decreases.

For a sand with a mixture of sizes, a weighted average of the sand-to-resin ratios of each size increment will give the correct ratio for the mixture.

The ratios computed for sand fractions used in this investigation are shown in Table 1, and rounded values for graded sand and glass beads as purchased are given in Table 2.

Sample calculation

Epocast 202, hardener # 9810 (Furane)

10,000 gm. of # 30 sand @ 20 : 1 sand-to-resin ratio

x gm. = 1 gm. —resin and hardener

$\frac{10,000 \text{ gm.}}{x} = \frac{1 \text{ gm.}}{20 \text{ gm.}} \text{—sand}$

$x = 500 \text{ gm. resin and hardener}$

Epocast 202 requires 15 parts hardener to 100 parts resin

$\frac{x \text{ gm.}}{500 \text{ gm.}} = \frac{15}{100} \text{—hardener}$

$\frac{500 \text{ gm.}}{x} = \frac{115}{115} \text{—resin and hardener}$

$x = 65 \text{ gm. hardener}$

Resin = $500 - x = 435 \text{ gm.}$

Once the sand and resin are thoroughly mixed, they are packed tightly into the back of the case in thin layers until the case is full. Care must be taken to pack the

TABLE 1

Sand Fraction	Sand-to-Resin Ratio (by Weight)
0.25 - 0.4 mm.	17.8 : 1
0.4 - 0.6 mm.	28.1 : 1
0.6 - 1.0 mm.	38.2 : 1
1.0 - 2.0 mm.	68.0 : 1

sand evenly and to eliminate all air pockets, so as to produce a medium of isotropic permeability. Where anisotropic permeability is desired, the packing can be adjusted: the densest packing produces the lowest permeability.

An infinite variety of structural and lithologic patterns can be built into the models. The procedure for producing complex structures is as follows. A piece of wood is cut to conform exactly to the inside dimensions of the model. The desired geologic structure is then traced onto the wood, after which the wood is cut along the pattern lines into what is essentially a jigsaw puzzle. Each piece is the shape and size of a lithologic unit within the model. The pieces are then assembled into the complete geologic pattern within the mold, which at this point consists of the large front plate with the four side plates cemented in position. One piece of wood at a time is removed from the mold and replaced with the sand-and-resin mixture that will yield the correct permeability for the lithologic unit at that position in the geologic structure. Care must be taken to pack each section tightly against those surrounding it, in order to avoid excessive permeabilities along lithologic interfaces. When each piece of wood has been removed from the mold and replaced by a sand-and-resin mixture, the model is allowed to cure for forty-eight hours. At the end of this time the mixture is a stable, permanently consolidated porous medium. Figure 1 shows a model under construction as the last lithologic unit is being packed into the model case.

CONSTRUCTION OF MODELS

The first step in constructing a model is to build a case of 3/8-inch-thick Plexiglas having the desired inside dimensions. Exceptionally thick Plexiglas is used to avoid warping or bending. The sides, bottom, and top of the case are permanently bonded into routed grooves in the front plate of the model with Plexiglas cement: the back is screwed onto the case with No. 6 sheet-metal screws. All holes are pre-drilled. The top of the case is perforated when water-table conditions are desired. The case itself is used as the mold. Wooden dummies coated with wax are used in all positions, such as the end areas, where the experimenter does not wish to deposit any sand. The front surface, which is not covered by the wooden dummies, is first coated with a very thin

TABLE 2

Material	Sand-to-Resin Ratio (by Weight)
Sand, size # 12	50 : 1
Sand, size # 20	30 : 1
Sand, size # 30	20 : 1
Glass beads, # C	12 : 1
Glass beads, # D	5 : 1

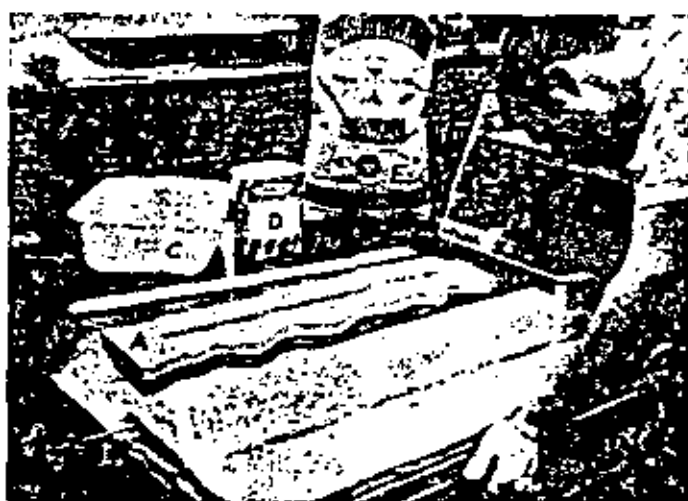


Figure 1. The last lithologic unit being packed into a Plexiglas model. Also shown are some of the components required in constructing the model. A, wooden form; B, plastic foam gasket material; C, plastic mixing bowl; D, epoxy resin; E, silica sand; F, Plexiglas back for model; G, wooden tamp for packing resin-coated sand; H, ink-injection tube.

layer of resin and allowed to dry overnight. The wooden forms are assembled in the case and then removed one by one as the sand-and-resin mixture is packed in. The case should be clamped firmly to a flat surface during the filling operation. The upper surface is struck off evenly after the level of the sand is built up slightly above the Plexiglas case. When the model has cured for 48 hours, the wooden dummies are removed, leaving the desired open areas. This construction results in built-in end tanks, making it



Figure 2. Sigmamotor pump moving water through flexible plastic tubing, both to the recharge end of a model and from a simulated well in the model. This Plexiglas model is $36 \times 12 \times 4$ inches in size, and contains 26 observation wells and four screen wells that can be pumped. The model is used to study the cone of depression around a pumping well.

unnecessary to attach external end tanks, which increase the possibility of leakage through poorly bonded seams.

Once the dummies are removed, a $\frac{1}{8}$ -inch foam-plastic gasket, saturated with rubber cement, is placed on the back of the "rock," and the Plexiglas back is then screwed on to the model. The gasket allows the back to be form-fitted to the rock and is essentially impermeable, allowing no water to pass behind the rock. The model is made watertight by placing a bead of Plexiglas cement (PS-18 by Rohm & Haas) on all the seams.

Plexiglas models have proved to be superior to glass models for several reasons. They are light in weight, easily fabricated, permanently watertight, and nearly unbreakable. Furthermore, holes may be easily drilled through the Plexiglas for attachment of external fittings such as recharge and discharge tubes, ink-injection tubes, and wells.

MODEL FITTINGS

The Plexiglas models use an ink-injection system consisting of a single $\frac{1}{8}$ -inch ID stainless steel tube, imbedded in the sand mixture prior to its consolidation, at a suitable position close to the inside face of the model. The tube is perforated at desired intervals with holes $\frac{1}{16}$ to $\frac{1}{8}$ inch in diameter, and at one or both ends it protrudes from the side or top of the model. Ink is pumped into this tube through flexible plastic tubing and discharges in equal amounts through all the perforations beneath the water level because of an equal hydraulic head at each of these points. This system eliminates the necessity for individual control of each ink flow band and thus decreases the number of necessary external connections.

Water is recharged into models and discharged from them through plastic tubing connected to the end tanks. The tubing can be connected directly to a hole in the end tanks, or to a stainless steel tube protruding from these tanks. Water levels are maintained at desired elevations by overflow drain tubes.

Wells are simulated by $\frac{1}{8}$ -inch open holes at the face of the model or by holes containing perforated Plexiglas tubing. The open holes are formed by imbedding a waxed tube in the sand prior to consolidation and removing it through a hole in the top of the model after consolidation. When a Plexiglas screen is desired, it is imbedded in the sand prior to consolidation and allowed to remain there. The wells can be recharged and discharged through plastic tubing attached to a metal tube simulating the pump column. In drawdown and artesian models, wax beads of desired color are placed in the observation wells; since they float on top of the water they provide an excellent indicator of water level.

OPERATION OF MODELS

Expensive pumping equipment is not necessary for operation of the models. Supplies of water and ink can be furnished by gravity feed from polyethylene bottles placed in an overhead position, and a common laboratory filter pump furnishes the vacuum for a simulated pumping well. Water supply may also be obtained directly from a laboratory outlet. Small inexpensive pumps can be used where the water supply is recirculated and is not contaminated by ink.

The hydraulic models can be operated with two Sigmamotor hydraulic pumps. These pumps produce a kneading action on flexible plastic tubing, causing water to



Figure 3. Two views of the laboratory table on which three Sigmamotor pumps are simultaneously controlling the flow in three different models. In the lower view, the model on the left reproduces the cone of depression around a pumping well; the one in the center illustrates ground-water flow toward an effluent stream; and the model on the right shows the classic geologic and hydrologic conditions that produce an artesian aquifer.

move at regulated speeds through the tubing. A large Sigmamotor pump is used to supply water to the recharge tank of the model through $\frac{3}{8}$ -inch ID tubing, and also to the recharge and discharge wells (Figure 2). A small Sigmamotor pump is employed to pump ink to the ink-injection tubes.

The ink used was one part of green Esterline Angus ink diluted in 100 parts of water in order to make the density difference negligible. The ink flow is regulated by brass aquarium valves inserted into the line.

The first step in putting the model into operation is to saturate the consolidated medium by slowly pumping water into the model until the water level rises to the desired height. When a dry model is saturated slowly, little or no air will be trapped, but when a model with a fine-grained medium is being re-used and is still damp, air will be trapped no matter how slowly the medium is saturated. Trapped air decreases the permeability of the model, and, if the air is trapped along the face of the model, breaks up the ink flow bands, reducing their visibility. Trapped air can be eliminated by evacuating the models with a small vacuum pump prior to the entrance of water. Whenever possible, it is advisable to use # 20 grade sand (approximate size range, $\frac{1}{16}$ to 1 mm.) in the consolidated medium, because its coarse fabric allows it to be easily drained and saturated by gravity feed without trapping air or water. This eliminates the need for the complicated procedure of evacuating the models by vacuum pump.

Once the model is saturated, the recharge and discharge tubes can be set at the proper positions, and the pumps can be regulated so as to allow the model to operate automatically. Figure 3 shows a laboratory table with three pumps automatically controlling the flow in three different models simultaneously.

INSTRUCTION AND DEMONSTRATION

Hydraulic models built in this project have been demonstrated before classes ranging from elementary fourth-grade students to college professors. Lecture content and emphasis has been successfully adjusted so that all participants gained appreciable knowledge. It is estimated that the models have now been demonstrated before 2500 undergraduate students studying ground-water geology, 150 graduate students in ground-water geology, and 100 undergraduate students studying science education.

The response accorded these laboratory hydraulic models as an aid to learning and teaching ground-water flow phenomena has been one of gratifying enthusiasm.

An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells

by J. H. Lehr

An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells^a

by J. H. Lehr,^b

Abstract

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. The movement of ground water is illustrated in two hydraulic models which were constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The models consist of watertight plexiglass cases containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone. The models are used to study cones of depression produced by pumping wells. Photographic histories of several ground-water flow conditions are illustrated.

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. Any changes superimposed on one portion of the system will eventually modify the conditions in the rest of the system. It is this very concept which has resulted in the formation of ground-water conservancy districts. Although there are a large number of ways in which ground-water users may put their water to work, it is surely in the common interest of all to conserve their water in a manner which will yield the optimum quantities of water at the most economical rates. When properly educated to the physical principles which govern the performance of a ground-water system, it is doubtful that a single water user would intentionally waste water which could be profitably used by the rest of the community. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. They will then be better able to

appreciate their individual position as related to the regional ground-water system.

The movement of ground water can be best illustrated in a hydraulic model which was constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The model (Figure 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone (Lehr, 1963). The consolidated medium is 20 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high. Water is recharged into the right end of the model and allowed to discharge through an overflow drain in the left end of the model.

The water level in the right end tank is maintained at a higher level than the water in the left end tank. This produces a hydraulic gradient which causes the water in the model to move from right to left through the simulated sandstone aquifer. Ink is discharged into the model through a perforated metal tube buried in the right end of the sandstone. The ink entering the sand progresses through it in a thin band marking the path of flow, or flow line, from each perforation (Figures 1A, B, C, D).

A $\frac{1}{4}$ inch diameter hole at the center face of the model simulates a well from which water can be pumped. When operating with the well pumping (Figures 1E, F, G, H, I), the model closely illustrates the flow pattern of a two-dimensional cross section along the regional gradient of a radial flow system (Figure 1I). The two-dimensional character of the model, however, causes the well to act something like an infinite drain channel. In either case it clearly illustrates the phenomena of gravity drainage (Hall, 1955 and Hansen, 1953).

While open channel, surface water flow is characterized by turbulence which results in useless dissipation of potential energy, ground water is characterized by laminar flow which conserves all its energy for the single purpose of overcoming frictional resistance. This resistance is imposed upon the flow by the vast surface area present in the average sedimentary aquifer. When the ground-water system is undisturbed, the flow will follow along nearly straight parallel lines at velocities which depend directly on the magnitude of the permeability of the rocks and on the slope of the hydraulic gradient. The pumping of a well (Figures 1E, F, G, H, I) alters the system by creating an unordinarily low hydraulic head at the location of the well. The magnitude and direction of the hydraulic gradient and hence the velocity and direction of the ground-water flow is changed everywhere within the area of influence of the well. The flow paths, while

^aBased in part on an article "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 18, No. 5, September-October 1963. This paper was presented at National Water Well Exposition, September 29-October 3, 1963, San Francisco, California.

^bAssistant Professor of Hydrology, Department of Geology, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Discussion open until September 1, 1964.

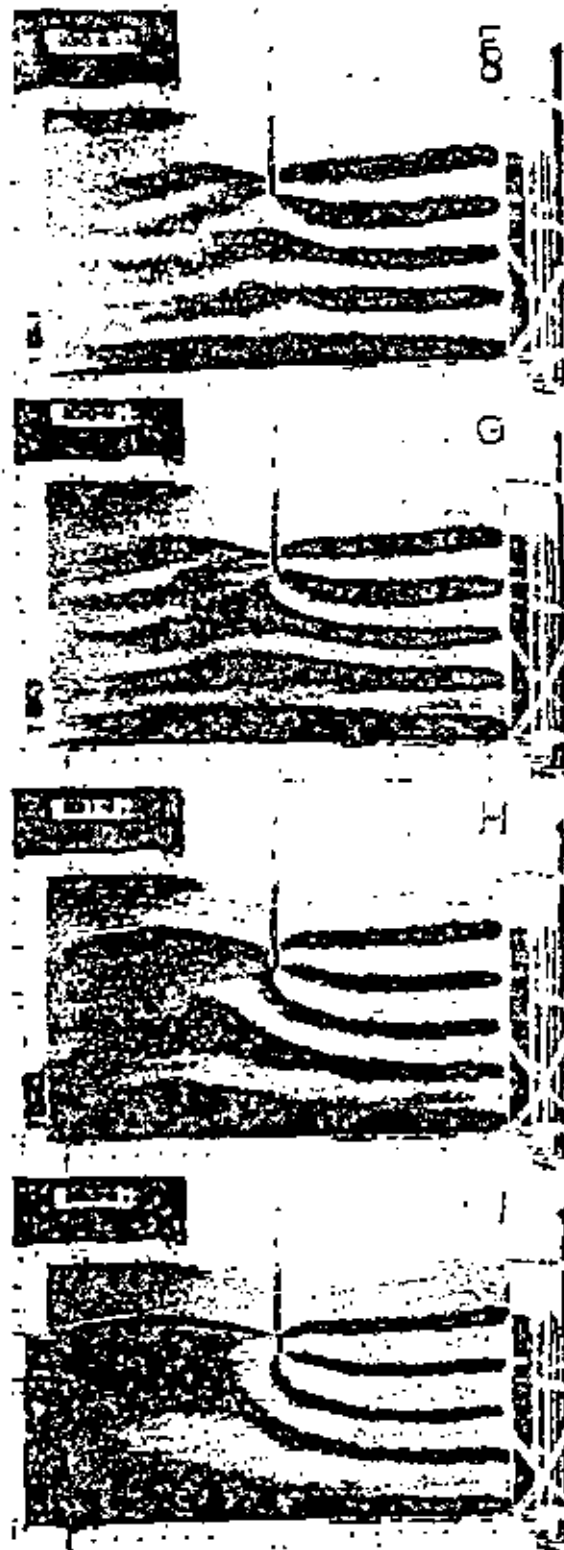
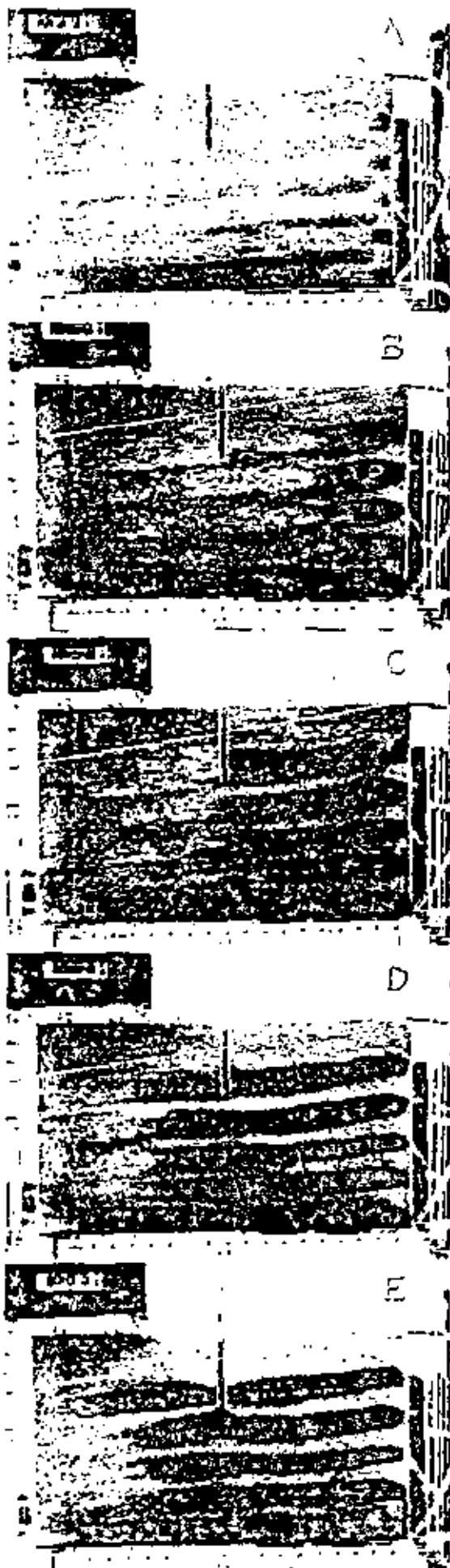


Fig. 1. Photographic history of a ground-water flow model. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium prior to the pumping of the well at the center of the model (A-D). The clock on the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium in the vicinity of the pumping well (E-I). Pumping began in the well at 10:04 and continued during the period that these pictures were taken. The clock in the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken.

value $\frac{s^2}{2m}$ becomes negligible, the drawdown due to

the pumping of multiple wells becomes simply the sum of the individual drawdowns of each well in the multiple well system.



Fig. 4. Photograph of the cone of depression model after pumping in wells A and B had reached a steady state. The existing multiple cone of depression is drawn in gray, while the individual cones of depression of wells A and B (as shown in Figure 2 and 3) are drawn in white and black, respectively.

The same model can be used to study artificial recharge by wells which is coming into common practice in many areas today. It is important to understand the effects of this recharging water upon the shape of the water table. It has been theoretically proved that the cone of impression brought about by a recharging well will be a mirror image of the cone of depression formed by pumping the well at the same rate as it is recharged (Ferris, 1949). An experiment was performed with this model to verify this relationship, and the results are shown in Figure 5. The model is first shown without any pumping (Figure 5A); the white line represents the static water level. Well B was then pumped and allowed to reach the steady state (Figure 5B). Pumping was then stopped until the water level recovered to the static position, at which time the well began recharging at the same rate that it had been discharging. Figure 5C shows the model after the steady state conditions had been reached. Notice that the cone of impression drawn in gray above the static level is the mirror image of the previously formed cone of depression drawn in gray beneath the static level.

This model can also be set up with some of the wells discharging while other wells are recharging. Thus, very different water table configurations can be produced and studied. Figure 6 shows such a situation with well B recharging and well A discharging.

It is a common misconception that the drawdown level within a pumping well represents the level of the water table contiguous to the outside of the well casing. This is not necessarily true and may lead to an incorrect interpretation of the elevation of the water table. When a well is improperly screened or developed, the entrance losses may be so large that the water level in the well does not rise as high as the water table. This fact was demonstrated in the model when water levels were compared in two wells pumping at the same rates but having different screen

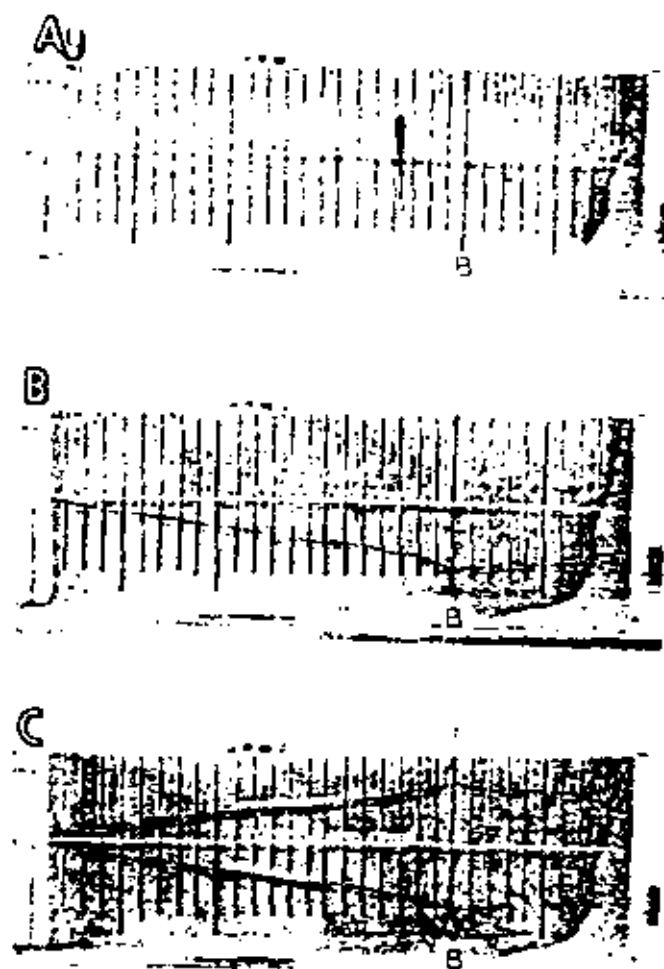


Fig. 5. Photographs of the cone of depression model (A) under static water level conditions, (B) after pumping in well B reached a steady state, (C) after recharging into well B reached a steady state.

length. Well A and the observation well immediately to the right of well A were pumped at separate times at exactly the same rate. The cones of depression produced by the two wells were nearly identical with the exception of the water level in the pumped observation well, which was far below the level in well A. The reason for this is that well A is screened in over half of the aquifer and allows the water to enter along normal flow paths. The observation well, however, is open only at the bottom and therefore causes the water to take a circuitous path into the well. This extra path length necessitates that an additional amount of work be done against friction in moving the water to

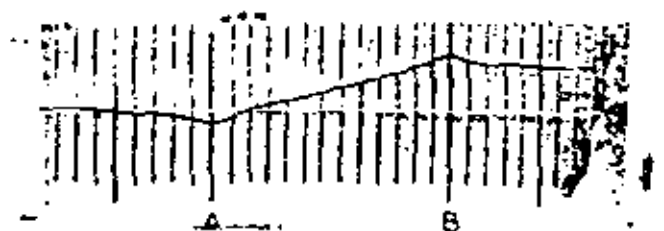


Fig. 6. Photograph of the cone of depression model with well B recharging and well A discharging. The resultant water level is drawn in black.

the well. Thus, there is a resultant energy loss in the system known as the entrance loss. It shows up simply as a lowering of the water level in the pumping well. There is almost a direct relationship between the percentage of the well casing which is screened in the aquifer, and the drawdown in the well for constant rates of discharge (deGlee, 1930).

The cone of depression model has a number of important implications in applied hydrology. One important concept illustrated by the model is the advantage of placing a pumping well as near as possible to a source area. Under natural conditions prior to development by wells, most aquifers are in a state of dynamic equilibrium; which means that natural discharge is equaled by natural recharge, and the quantity of water in storage remains essentially constant. When wells tap an undeveloped aquifer a new discharge is superimposed upon the previously stable system. This must be balanced by an increase in natural recharge, or a decrease in natural discharge or a decrease in storage, or a combination of all three.

The system is temporarily in a state of non-equilibrium until discharge from it again equals recharge. The ultimate cone of depression of a pumping well is the mechanism by which the recharge and discharge are again caused to be equal. When the cone of depression reaches a recharge area where previously recharge was being rejected, it causes the natural recharge to be increased by means of the steepened gradient. When the cone of depression reaches the discharge area it decreases the gradient and hence decreases the quantity of natural discharge. When a well is placed close to an area of rejected recharge such as a stream or swamp, its cone of depression rapidly reaches the recharge area, inducing increased natural recharge. Only a very shallow cone of depression is required in this case as can be seen in well A (Figure 3). When a well is placed far from the recharge area, it will take longer for the cone of depression to reach it and hence a deeper cone will result as in well B (Figure 2).

This model also points out an important fact to

the mining industry; namely, that it is possible to dewater portions of a mine without pumping water out of the mine excavation itself. Wells can be located in a circle around the excavation which will produce a multiple cone of depression completely eliminating any natural discharge into the excavation. In this model wells A and B (Figure 4) can be used to dewater the rock between them after which a dry excavation can be dug.

The most important fact illustrated by this model can be shown in Figure 4 if we assume that wells A and B are owned by farmers A and B respectively. The model shows that farmer A must realize that when he pumps his well it will effect the water level at the well of farmer B. Likewise farmer B must realize that when he pumps his well it will effect the well of farmer A. A subsurface aquifer along its areas of surface water recharge and discharge is a large integrated system which must be jointly controlled and operated by all the water users if the optimum benefits of its water supply are to be gained.

References

- de Glee, G. J. 1930. Over grondwaterstromingen bij water-onchetsking door middel van putten. J. Waltman Jr., Delft. 175 pp.
- Ferris, J. G. 1949. Ground water. In Hydrology (by C. O. Wisler and E. F. Brater). John Wiley and Sons, New York. pp. 198-272.
- Hall, H. P. 1955. An investigation of steady flow toward a gravity well. *La Houille Blanche*. v. 10. pp. 8-33.
- Hansen, V. E. 1953. Unconfined ground-water flow to multiple wells. *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.* v. 118. pp. 1098-1130.
- Jacob, C. E. 1946. Notes on determining permeability by pumping tests under water table conditions. U. S. Geol. Survey. Mimeographed Rept.
- Lehr, J. H. 1963. Ground-water flow models simulating subsurface conditions. *Journal of Geological Education*. v. 11, no. 4. pp. 124-132.
- Theis, C. V. 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. *Trans. Am. Geophys. Union*. pp. 519-524.

124



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

GROUND WATER MOVEMENT IN LIVING COLOR:

A SLIDE SHOW

TYLER GASS

OCTUBRE, 1980

G R O U N D W A T E R M O V E M E N T

I N L I V I N G C O L O R :

A S L I D E S H O W

By

Jay H. Lehr, Executive Director
The National Water Well Association
500 West Wilson Bridge Road
Worthington, Ohio 43085
(614) 846-9355

Copyright © 1977,
The National Water Well Association
All rights reserves

TABLE OF CONTENTS

<u>SLIDE NOS.</u>	<u>MODEL NAME</u>	<u>NARRATIVE</u>
1	<u>Model Experiment Table</u>	Details of Model Construction and Operation are enclosed in the article entitled "Ground Water Flow Models Simulating Subsurface Conditions" which appeared in the <u>Journal of Geological Education</u> , Vol. 11, No. 4, December, 1963
2-19	<u>Single Well Flow Model</u> (non-pumping 2-8) (pumping 9-16) (pumping stopped 17-19)	Described in enclosed reprint of article entitled "An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells" which appeared in <u>Ground Water</u> , Vol 2, No. 3, July, 1964
20-28	<u>Cone of Depression Model</u> (single wells pumping 20-25) (multiple wells pumping 26) (recharge and discharge wells 27-28)	(same as above)
20-33	<u>Cone of Depression Model</u> (single wells pumping 20-25) (multiple wells pumping 26) (recharge and discharge wells 27-28) (flow from a losing influent stream 29-33)	Described in enclosed reprint of article entitled "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the <u>Journal of Soil and Water Conservation</u> Vol. 18, No. 5, Sept-Oct, 1963
34-43	<u>Effluent Stream Model</u>	Described in enclosed reprint of article entitled "Ground Water: Flow Toward An Effluent Stream" which appeared in <u>Science</u> , Vol 140, No. 3573, June 21, 1963

TABLE OF CONTENTS (Continued)

<u>SLIDE NOS.</u>	<u>MODEL NAME</u>	<u>NARRATIVE</u>
44-51	<u>Recharge Pit Models</u> (Wedge shaped 44-47) (Rectangular shaped 48-51)	Described in enclosed reprint of article entitled "Relation of Shape of Artificial Re- charge Pits to Infiltration Rate" which appeared in <u>Journal of American Water Works Association</u> , Vol 56, No. 6, June 1964.
52-54	<u>Refraction Model</u>	Description and Pictures Enclosed
55-60	<u>Lens Model</u>	Described in enclosed reprint of article entitled "Model Analysis of Ground Water Flow Around and Through Lenti- cular Beds" which appeared in <u>Journal Water Pollution Control Federation</u> ; Jan. 1964
61-65	<u>Layered Model</u>	Description and Pictures Enclosed
66-71	<u>Artesian Well Model</u>	Description and Pictures Enclosed
72-77	<u>Unsaturated Flow Model</u>	Description and Pictures Enclosed
78-80	<u>Fault Model</u>	Description and Picture Enclosed

Slide No. 1
Model Experiment Table

Made in United States of America
Reprinted from
JOURNAL OF GEOLOGICAL EDUCATION
Vol. 11, No. 4, December 1963, pp. 124-132

GROUND-WATER FLOW MODELS SIMULATING
SUBSURFACE CONDITIONS

JAY HERBERT LEHR

GROUND-WATER FLOW MODELS SIMULATING SUBSURFACE CONDITIONS

JAY HERBERT LEHR

University of Arizona

ABSTRACT. The lack of adequate empirical experimentation in saturated ground-water flow has tended to result in incomplete understanding of ground-water movement. In order to clarify the characteristics of saturated flow in a manner that will permit visual flow-net analysis, a simple inexpensive permanent portable ground-water flow model was developed. The model consists of a watertight Plexiglas case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin that simulates solid rock. Most geologic and hydrologic features can be synthesized in such a model. Visible flow lines, formed by colored inks inserted into the system, can be analyzed to determine the broad pattern of ground-water flow as controlled by geologic factors.

INTRODUCTION

Because ground-water flow takes place beneath the land surface, it is difficult for the student to envision actual movement in the true space and time dimensions. Further, it has become apparent that realistic understanding and solution of problems relating to ground-water movement require basic knowledge of flow-net analysis of ground-water systems. The development of hydraulic models simulating common geological skeletons in consolidated media, instituted in this study, offers an opportunity for live demonstrations of actual ground-water movement. The effects of grain size, lithology, boundary conditions, recharge and discharge, and well development on ground-water movement can be readily observed in the models. The ultimate objective of this research is to achieve a better understanding of ground-water movement.

Work under National Science Foundation grant NSF-G 17703 commenced on July 1, 1961. The work has been done mainly in the Groundwater Geology Laboratory, Department of Geology, The University of Arizona. The two years of work have been devoted to the development and testing of improved hydraulic models containing consolidated porous media.¹

In order to develop a good model with which to study the characteristics of laminar flow in saturated rock, the following plan was executed.

1. Experiments were performed to determine the most suitable formulation for a consolidated porous medium, and the strongest bond by which to hold the medium to its transparent case. Glass and Plexiglas were tested for their competence as an outer casing. Recharge, discharge, and ink-injection systems were developed by extensive experimentation. Air-evacuation methods were tested with the aim of obtaining perfect water saturation within the models.

2. Preliminary test models were constructed. Several designs were tested in order to achieve flow patterns analogous to those known to occur in nature.

3. Each hydrodynamic parameter was analyzed in order to test the validity of the analogy.

¹ Lehr, J. H., 1962, Empirical studies of laminar flow in porous consolidated media: Ph.D. dissertation, University of Arizona.

4. Models analogous to actual geologic and hydrologic situations were constructed. The following phenomena are representative of those studied by means of these models: (a) the flow pattern of ground-water movement toward a pumping well; (b) flow toward an effluent stream; (c) the movement of ground-water recharge out of an infiltration pit and into a subsurface aquifer; (d) ground-water flow around and through lenticular beds of varying permeability; (e) the refraction of water as it moves across interfaces between materials of different permeability; and (f) flow-net displacement caused by wells pumping in the vicinity of layers varying in permeability and situated at different depths.

Grateful acknowledgment is made to H. E. Skibitzke and H. T. Chapman of the Water Resources Division, U.S. Geological Survey, for ideas on the construction of hydraulic models and the formulation of a consolidated medium. The writer also acknowledges the assistance of J. J. Wright in the development of the models and the editing of this manuscript.

MODEL TYPES

Nearly all previous hydraulic models developed for studying laminar flow utilized unconsolidated sand. Such models have these major disadvantages: studies are limited to nearly homogeneous media; hydrologic characteristics cannot be identically reproduced in order to exactly repeat an experiment; and hydrologic characteristics may not remain constant during experimentation, as channeling and changing of the packing arrangement may occur.

These objections were overcome by using models in which a consolidated medium simulates natural sedimentary rock. The medium consists of grains bound together by epoxy resin. This mixture can be molded easily and will solidify in any desired form. The fabric of the medium can be positioned in glass or Plexiglas cases under various structural and lithological conditions, and will allow continuous experimentation. The hydrologic characteristics of the model will remain constant for the life of the model, which should be many years. Ground-water systems can be established and controlled in the model by the use of hydraulic pumps, simulating recharge and discharge. Colored inks can be inserted into the flow system, forming visible flow lines that can be analyzed in order to synthesize the broad pattern of ground-water flow as controlled by geologic factors.

Two different types of models were tested. The first type utilized a case composed of plate glass sides and aluminum end tanks bonded to the glass. These models proved to be inferior, because of difficulties involved in bonding the porous medium to the glass and in attaching the separate aluminum end tanks.

In the second type of model the casing is constructed entirely of Plexiglas. These models have been built with dimensions ranging from 12 to 36 inches in height, 18 to 36 inches in length, and $\frac{1}{2}$ to 4 inches in thickness. This type of model has been extremely successful. It consists essentially of a rectangular case made of $\frac{1}{2}$ -inch-thick Plexiglas. When the sand-and-resin mixture is formed in the case, a wooden dummy is placed in each end of the case. When the sand mixture is hardened the wood dummies are removed, leaving what are essentially built-in end tanks. This model is nearly of one-piece construction.

The overall size of a model may be chosen according to convenience; the relative dimensions will depend on the set of geologic conditions to be simulated. Models should be thick enough to produce a negligible wall effect, but there is no advantage in increasing the thickness indefinitely, since only two dimensions of the model are actually being studied.

FORMATION OF CONSOLIDATED MEDIUM

The first step in forming the consolidated medium was to select the proper unconsolidated material for the skeleton. For high permeability a coarse grain size was selected, and for low permeability a fine grain size. The sand used was very nearly white, so that the colored dye bands would show up clearly. It is possible to wash plain brown sand in warm hydrochloric acid and thereby obtain nearly white sand, but in the long run this was hardly economical. Therefore graded white sand was purchased from the Crystal Silica Company for use in most of the experiments. This sand was separated into various fractions and these were then used separately or combined in order to obtain the wide range of permeabilities that were used in the models.

Commercial glass beads were also tried. They offered no particular advantage over sand, except that they are pure white and can be purchased in finer sizes than sand. The finer grades of beads have been used successfully in forming consolidated media in the very low permeability range.

The second step in formation of the consolidated medium was to choose the proper resin. The desired properties were clear color, low viscosity, high adhesive properties, long working time, ability to cure at room temperature, ability to bond with glass or Plexiglas, and complete stability in the presence of water at normal room temperatures. After testing many different resins, it was decided to use Epocast 202 and hardener # 9810 or # 9615, made by the Furane Plastic Company.

A method was then devised by which one could calculate the proper proportions of sand and resin in order to obtain a consolidated medium of high strength and permeability for the particular grain size to be used. It is undesirable to attempt to adjust the permeability by varying the proportion of resin. This material is much too expensive to be used in excess in order to decrease permeability, and any volume used in excess of a thin film on the grains will not be evenly distributed but will collect at the bottom of the "rock" due to gravity. Decreasing the quantity of resin too much will have little or no effect on the permeability, but will decrease the strength of the medium and may ultimately allow it to disintegrate.

For the purpose of calculating the proper amount of resin to be used with a given amount of sand, let us assume that we are using spherical grains. Given a volume V , the number of grains needed to fill it will vary as the cube of the radius (or diameter) of the grains, since the volume of a sphere equals $\frac{4}{3}\pi R^3$. In other words, if it takes x number of 1-mm. grains to fill the volume V , then it would take $8x$ grains of $\frac{1}{2}$ mm. to fill the same volume. The surface area of a sphere is equal to πD^2 ; therefore a $\frac{1}{2}$ -mm. grain has a surface area $\frac{1}{4}$ as large as a 1-mm. grain. Halving the size of the grains means that eight times as many grains are needed; since each measures $\frac{1}{4}$ the surface area, this results in a doubled total surface area. This suggests that twice as much cement would be needed. However, since there are more grain contacts per volume with smaller

grains, each contact need not be as strong as the contacts in the coarser-grained rocks. The strength of the total contacts of all the rocks should be equal. Therefore, as the grain size is halved, slightly less than twice as much resin is needed.

Since the amount of resin used is partly dependent on the shape and surface texture of the sand grains, a different sand-to-resin ratio must be obtained for different sand types. However, if all the sand used has approximately the same grain shape and texture, it is necessary to find the proper resin ratio for one size increment by trial and error and then all other ratios can be computed. A good criterion for trial-and-error experiment is to slowly add resin to the sand, while mixing, until the sand grains all appear shiny from the resin film around them. The proportion of resin to sand at this point will be quite close to the optimum. Once a satisfactory ratio for the first grain-size increment is obtained, let this ratio be called R_1 . All other ratios can be computed from the following semi-empirical equation.

$$R_2 = \frac{A_2 + b_2}{A_1 + b_1} \times R_1 - \left[\frac{\left(\frac{A_2 + b_2}{A_1 + b_1} \right) R_1 - R_1}{5} \right]$$

where

R_2 = ratio of sand to resin by weight for sand size increment number 2

R_1 = ratio of sand to resin by weight for sand size increment number 1 (found by trial and error)

A_1 = maximum grain diameter of sand No. 1 in mm.

b_1 = minimum grain diameter of sand No. 1 in mm.

A_2 = maximum grain diameter of sand No. 2 in mm.

b_2 = minimum grain diameter of sand No. 2 in mm.

The bracketed factor on the right of the equation is the factor that accounts for the increase or decrease of grain contacts as sand size changes. The number 5 in the divisor may be called the "contact factor" and may be varied as the experimenter sees fit. If the contact factor is decreased the sand-to-resin ratio decreases.

For a sand with a mixture of sizes, a weighted average of the sand-to-resin ratios of each size increment will give the correct ratio for the mixture.

The ratios computed for sand fractions used in this investigation are shown in Table 1, and rounded values for graded sand and glass beads as purchased are given in Table 2.

Sample calculation

Epocast 202, hardener # 9810 (Furane)

10,000 gm. of # 30 sand @ 20:1 sand-to-resin ratio

x gm. = 1 gm. —resin and hardener

10,000 gm. = 20 gm. —sand

$x = 500$ gm. resin and hardener

Epocast 202 requires 15 parts hardener to 100 parts resin

x gm. = 15 —hardener

500 gm. = 115 —resin and hardener

$x = 65$ gm. hardener

Resin = 500 - $x = 435$ gm.

Once the sand and resin are thoroughly mixed, they are packed tightly into the back of the case in thin layers until the case is full. Care must be taken to pack the

TABLE 1

Sand Fraction	Sand-to-Resin Ratio (by Weight)
0.25 - 0.4 mm.	17.8 : 1
0.4 - 0.6 mm.	28.1 : 1
0.6 - 1.0 mm.	38.2 : 1
1.0 - 2.0 mm.	68.0 : 1

sand evenly and to eliminate all air pockets, so as to produce a medium of isotropic permeability. Where anisotropic permeability is desired, the packing can be adjusted: the densest packing produces the lowest permeability.

An infinite variety of structural and lithologic patterns can be built into the models. The procedure for producing complex structures is as follows. A piece of wood is cut to conform exactly to the inside dimensions of the model. The desired geologic structure is then traced onto the wood, after which the wood is cut along the pattern lines into what is essentially a jigsaw puzzle. Each piece is the shape and size of a lithologic unit within the model. The pieces are then assembled into the complete geologic pattern within the mold, which at this point consists of the large front plate with the four side plates cemented in position. One piece of wood at a time is removed from the mold and replaced with the sand-and-resin mixture that will yield the correct permeability for the lithologic unit at that position in the geologic structure. Care must be taken to pack each section tightly against those surrounding it, in order to avoid excessive permeabilities along lithologic interfaces. When each piece of wood has been removed from the mold and replaced by a sand-and-resin mixture, the model is allowed to cure for forty-eight hours. At the end of this time the mixture is a stable, permanently consolidated porous medium. Figure 1 shows a model under construction as the last lithologic unit is being packed into the model case.

CONSTRUCTION OF MODELS

The first step in constructing a model is to build a case of ½-inch-thick Plexiglas having the desired inside dimensions. Exceptionally thick Plexiglas is used to avoid warping or bending. The sides, bottom, and top of the case are permanently bonded into routed grooves in the front plate of the model with Plexiglas cement; the back is screwed onto the case with No. 6 sheet-metal screws. All holes are pre-drilled. The top of the case is perforated when water-table conditions are desired. The case itself is used as the mold. Wooden dummies coated with wax are used in all positions, such as the end areas, where the experimenter does not wish to deposit any sand. The front surface, which is not covered by the wooden dummies, is first coated with a very thin

TABLE 2

Material	Sand-to-Resin Ratio (by Weight)
Sand, size # 12	30 : 1
Sand, size # 20	30 : 1
Sand, size # 30	20 : 1
Glass beads, # C	12 : 1
Glass beads, # D	5 : 1

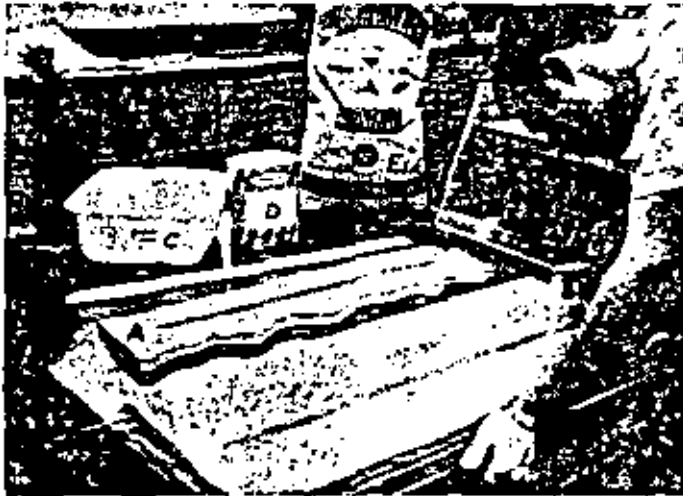


Figure 1. The last lithologic unit being packed into a Plexiglas model. Also shown are some of the components required in constructing the model. A, wooden form; B, plastic foam gasket material; C, plastic mixing bowl; D, epoxy resin; E, silica sand; F, Plexiglas back for model; G, wooden tamp for packing resin-coated sand; H, ink-injection tube.

layer of resin and allowed to dry overnight. The wooden forms are assembled in the case and then removed one by one as the sand-and-resin mixture is packed in. The case should be clamped firmly to a flat surface during the filling operation. The upper surface is struck off evenly after the level of the sand is built up slightly above the Plexiglas case. When the model has cured for 48 hours, the wooden dummies are removed, leaving the desired open areas. This construction results in built-in end tanks, making it



Figure 2. Sigmamotor pump moving water through flexible plastic tubing, both to the recharge end of a model and from a simulated well in the model. This Plexiglas model is $26 \times 12 \times 4$ inches in size, and contains 26 observation wells and four screen wells that can be pumped. The model is used to study the cone of depression around a pumping well.

unnecessary to attach external end tanks, which increase the possibility of leakage through poorly bonded seams.

Once the dummies are removed, a $\frac{1}{8}$ -inch foam-plastic gasket, saturated with rubber cement, is placed on the back of the "rock," and the Plexiglas back is then screwed on to the model. The gasket allows the back to be form-fitted to the rock and is essentially impermeable, allowing no water to pass behind the rock. The model is made watertight by placing a bead of Plexiglas cement (PS-18 by Rohm & Haas) on all the seams.

Plexiglas models have proved to be superior to glass models for several reasons. They are light in weight, easily fabricated, permanently watertight, and nearly unbreakable. Furthermore, holes may be easily drilled through the Plexiglas for attachment of external fittings such as recharge and discharge tubes, ink-injection tubes, and wells.

MODEL FITTINGS

The Plexiglas models use an ink-injection system consisting of a single $\frac{1}{8}$ -inch ID stainless steel tube, imbedded in the sand mixture prior to its consolidation, at a suitable position close to the inside face of the model. The tube is perforated at desired intervals with holes $\frac{1}{32}$ to $\frac{1}{16}$ inch in diameter, and at one or both ends it protrudes from the side or top of the model. Ink is pumped into this tube through flexible plastic tubing and discharges in equal amounts through all the perforations beneath the water level because of an equal hydraulic head at each of these points. This system eliminates the necessity for individual control of each ink flow band and thus decreases the number of necessary external connections.

Water is recharged into models and discharged from them through plastic tubing connected to the end tanks. The tubing can be connected directly to a hole in the end tanks, or to a stainless steel tube protruding from these tanks. Water levels are maintained at desired elevations by overflow drain tubes.

Wells are simulated by $\frac{1}{8}$ -inch open holes at the face of the model or by holes containing perforated Plexiglas tubing. The open holes are formed by imbedding a waxed tube in the sand prior to consolidation and removing it through a hole in the top of the model after consolidation. When a Plexiglas screen is desired, it is imbedded in the sand prior to consolidation and allowed to remain there. The wells can be recharged and discharged through plastic tubing attached to a metal tube simulating the pump column. In drawdown and artesian models, wax beads of desired color are placed in the observation wells; since they float on top of the water they provide an excellent indicator of water level.

OPERATION OF MODELS

Expensive pumping equipment is not necessary for operation of the models. Supplies of water and ink can be furnished by gravity feed from polyethylene bottles placed in an overhead position, and a common laboratory filter pump furnishes the vacuum for a simulated pumping well. Water supply may also be obtained directly from a laboratory outlet. Small inexpensive pumps can be used where the water supply is recirculated and is not contaminated by ink.

The hydraulic models can be operated with two Sigmamotor hydraulic pumps. These pumps produce a kneading action on flexible plastic tubing, causing water to

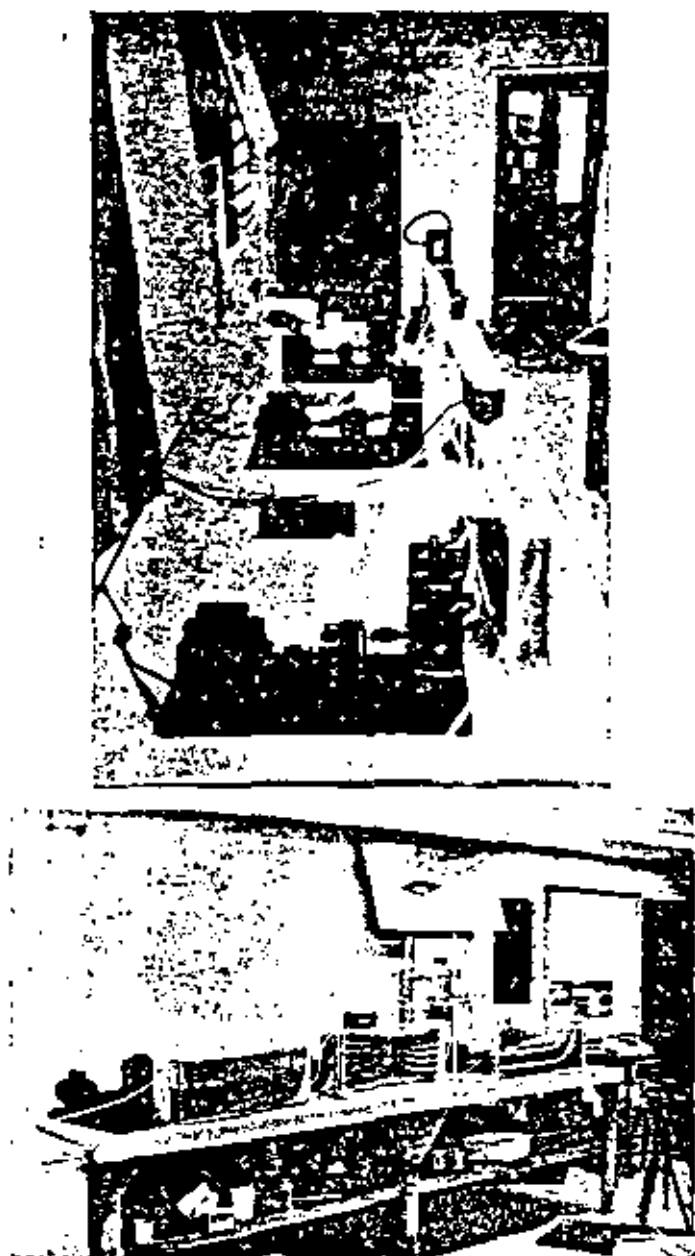


Figure 3. Two views of the laboratory table on which three Sigmamotor pumps are simultaneously controlling the flow in three different models. In the lower view, the model on the left reproduces the cone of depression around a pumping well; the one in the center illustrates ground-water flow toward an effluent stream; and the model on the right shows the classic geologic and hydrologic conditions that produce an artesian aquifer.

move at regulated speeds through the tubing. A large Sigmamotor pump is used to supply water to the recharge tank of the model through $\frac{1}{8}$ -inch ID tubing, and also to the recharge and discharge wells (Figure 2). A small Sigmamotor pump is employed to pump ink to the ink-injection tubes.

The ink used was one part of green Esterline Angus ink diluted in 100 parts of water in order to make the density difference negligible. The ink flow is regulated by brass aquarium valves inserted into the line.

The first step in putting the model into operation is to saturate the consolidated medium by slowly pumping water into the model until the water level rises to the desired height. When a dry model is saturated slowly, little or no air will be trapped, but when a model with a fine-grained medium is being re-used and is still damp, air will be trapped no matter how slowly the medium is saturated. Trapped air decreases the permeability of the model, and, if the air is trapped along the face of the model, breaks up the ink flow bands, reducing their visibility. Trapped air can be eliminated by evacuating the models with a small vacuum pump prior to the entrance of water. Whenever possible, it is advisable to use # 20 grade sand (approximate size range, $\frac{1}{2}$ to 1 mm.) in the consolidated medium, because its coarse fabric allows it to be easily drained and saturated by gravity feed without trapping air or water. This eliminates the need for the complicated procedure of evacuating the models by vacuum pump.

Once the model is saturated, the recharge and discharge tubes can be set at the proper positions, and the pumps can be regulated so as to allow the model to operate automatically. Figure 3 shows a laboratory table with three pumps automatically controlling the flow in three different models simultaneously.

INSTRUCTION AND DEMONSTRATION

Hydraulic models built in this project have been demonstrated before classes ranging from elementary fourth-grade students to college professors. Lecture content and emphasis has been successfully adjusted so that all participants gained appreciable knowledge. It is estimated that the models have now been demonstrated before 2500 undergraduate students studying ground-water geology, 150 graduate students in ground-water geology, and 100 undergraduate students studying science education.

The response accorded these laboratory hydraulic models as an aid to learning and teaching ground-water flow phenomena has been one of gratifying enthusiasm.

An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells

by J. H. Lehr

An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells^a

by J. H. Lehr^b

Abstract

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. The movement of ground water is illustrated in two hydraulic models which were constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The models consist of watertight plexiglass cones containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone. The models are used to study cones of depression produced by pumping wells. Photographic histories of several ground-water flow conditions are illustrated.

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. Any changes superimposed on one portion of the system will eventually modify the conditions in the rest of the system. It is this very concept which has resulted in the formation of ground-water conservancy districts. Although there are a large number of ways in which ground-water users may put their water to work, it is surely in the common interest of all to conserve their water in a manner which will yield the optimum quantities of water at the most economical rates. When properly educated to the physical principles which govern the performance of a ground-water system, it is doubtful that a single water user would intentionally waste water which could be profitably used by the rest of the community. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. They will then be better able to

appreciate their individual position as related to the regional ground-water system.

The movement of ground water can be best illustrated in a hydraulic model which was constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The model (Figure 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone (Lehr, 1963). The consolidated medium is 20 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high. Water is recharged into the right end of the model and allowed to discharge through an overflow drain in the left end of the model.

The water level in the right end tank is maintained at a higher level than the water in the left end tank. This produces a hydraulic gradient which causes the water in the model to move from right to left through the simulated sandstone aquifer. Ink is discharged into the model through a perforated metal tube buried in the right end of the sandstone. The ink entering the sand progresses through it in a thin band marking the path of flow, or flow line, from each perforation (Figures 1A, B, C, D).

A $\frac{1}{4}$ inch diameter hole at the center face of the model simulates a well from which water can be pumped. When operating with the well pumping (Figures 1E, F, G, H, I), the model closely illustrates the flow pattern of a two-dimensional cross section along the regional gradient of a radial flow system (Figure 1J). The two-dimensional character of the model, however, causes the well to act something like an infinite drain channel. In either case it clearly illustrates the phenomena of gravity drainage (Hall, 1955 and Hansen, 1953).

While open channel, surface water flow is characterized by turbulence which results in useless dissipation of potential energy, ground water is characterized by laminar flow which conserves all its energy for the single purpose of overcoming frictional resistance. This resistance is imposed upon the flow by the vast surface area present in the average sedimentary aquifer. When the ground-water system is undisturbed, the flow will follow along nearly straight parallel lines at velocities which depend directly on the magnitude of the permeability of the rocks and on the slope of the hydraulic gradient. The pumping of a well (Figures 1E, F, G, H, I) alters the system by creating an unordinarily low hydraulic head at the location of the well. The magnitude and direction of the hydraulic gradient and hence the velocity and direction of the ground-water flow is changed everywhere within the area of influence of the well. The flow paths, while

^aBased in part on an article "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 18, No. 5, September-October 1963. This paper was presented at National Water Well Exposition, September 29-October 3, 1963, San Francisco, California.

^bAssistant Professor of Hydrology, Department of Geology, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Discussion open until September 1, 1964.



Fig. 1. Photographic history of a ground-water flow model. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium prior to the pumping of the well at the center of the model (A-D). The clock on the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken. Dye lines trace the direction and velocity of the water flowing through the porous medium in the vicinity of the pumping well (E-I). Pumping began in the well at 10:04 and continued during the period that these pictures were taken. The clock in the top left of the model shows the time at which each picture in the sequence was taken.

remaining laminar, become curvilinear as they approach the well, but a high degree of parallelism is still maintained.

The upper white line drawn on the model in all of the pictures in Figure 1 represents the undisturbed hydraulic gradient or water table prior to pumping. The lower white line drawn on the model in Figure 11 represents the drawdown of the water table or cone of depression caused by the pumping well. Due to the fact that water is held above the water table by capillary forces in the capillary tubes, the rock both above and below the water table appears to be the same color. Therefore, it is not possible to actually see the shape of the cone of depression in this model by observing the change of color between the saturated rock below the water table and the unsaturated rock above the water table. Super capillary observation wells are required to see the physical position of the water table or cone of depression.

Therefore, a hydraulic model analogous to very general subsurface geologic conditions, containing 30 observation wells, was constructed for the purpose of studying and demonstrating the changes in the configuration of the water table produced by pumping wells. The model (Figure 2) consists of a watertight plexiglass case containing a consolidated medium which is a mixture of sand and epoxy resin (Lehr, 1963). The model case is made of 1/2 inch plexiglass



Fig. 2. Photograph of the cone of depression model after pumping in well B had reached a steady state. The cone of depression is drawn in black.

having inside dimensions of 33 in. x 12 in. x 3 in. The medium at the extreme right of the model is impermeable and is intended to represent the subsurface portion of an igneous mountain front. The remaining medium within the model has a permeability of 2,000 USGS units (gal/day/ft²/1:1 gradient). The left end tank of the model is intended to represent the cross section of a stream channel into which the water is recharging. The 30 observation wells, which accurately measure the position of the water table within the model, have 1/4 inch diameters. The four deepest wells are screened at their lowest 6 inches, while the rest of the wells are open only at the bottom. A small black bead of wax was placed in each observation well so that the water level would be clearly visible within the wells.

Figure 2 shows the model before and after well B had been pumped for a long enough period to achieve a steady state condition. The white line marked static

water level illustrates the position of the water table before pumping. Notice here the definite effects of the boundary conditions upon the cone of depression, which has been marked by a black line on the model. The limb of the cone to the right of the well was almost flat, due to the effect of the impermeable boundary to the right. The well was unable to take water from storage beyond this impermeable barrier and hence, was forced to take an increased amount of water from storage in front of the barrier, which resulted in a lowering of the cone of depression in that area. The cone of depression at the left of the well extended to the surface of the recharging water. At that point, it ceased to grow because it induced recharge from the end tank, thus eliminating the necessity of drawing any further water from storage within the aquifer and enlarging the cone of depression. This is exactly what happens in nature when a well pumping near a stream extends its cone of depression to the edge of that stream. Figure 3 shows the model

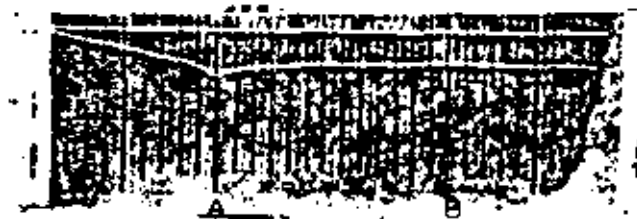


Fig. 3. Photograph of the cone of depression model after pumping in well A had reached a steady state. The cone of depression is drawn in white.

after well A had been pumped for a long enough period to achieve steady state conditions. The surface of the cone of depression is drawn in white on the face of the model. Once again, the effects of the two boundary conditions are evident. In this situation, the effect of the recharging end tank was more intense than the effect of the impermeable barrier, because well A was closer to the end tank than to the barrier.

When two or more wells are pumped simultaneously within close proximity of each other it is possible to calculate the resultant cone of depression if one first knows the drawdowns produced by the individual wells pumping alone. In an artesian system where the saturated thickness of the aquifer remains constant, the Theis non-equilibrium equation (Theis, 1935)

$$s = \frac{114.6 QW(u)}{T}$$

(where s is drawdown in feet, Q is discharge in gallons per minute, $W(u)$ is the dimensionless well function of u and T is transmissibility in gallons/day/ft) shows that s varies directly as Q at a given time and place, since all other factors will remain constant. Therefore, if the discharge, Q , is doubled the drawdown, s , will in turn be doubled. Due to this relation-

ship it also occurs that individual cones of depression can be superimposed upon one another to form a purely additive composite cone of depression. Therefore, if two wells (well no. 1 and well no. 2) pumping at constant rates in an artesian system caused individual drawdowns at a nearby observation well (well no. 3) of 10 and 30 feet respectively, when the two wells pumped together they would produce a cumulative drawdown of 40 feet at the observation well. If, however, the two wells were being pumped in an unconfined water table aquifer, drawdown will not vary directly as discharge and the individual cones of depression cannot simply be superimposed upon one another through the process of adding together individual drawdowns. This follows from the fact that when a portion of the aquifer surrounding a pumping well is dewatered, the saturated thickness of the aquifer is decreased. This results in a decrease in the transmissibility (since transmissibility is equal to permeability times the saturated thickness of the aquifer) which in turn serves to further increase drawdown. When Jacob modified Dupuit's equation (Jacob, 1944 and Ferris, 1949) he determined exactly what portion of the drawdown was produced by the dewatering of the aquifer and the subsequent decrease of transmissibility. He found that the increase in drawdown was equal to

$$\frac{s^2}{2m}$$

where s is actual drawdown and m is the initial thickness of the saturated aquifer. Therefore, the drawdown that would occur if there were no dewatering (let this drawdown be s') is

$$s' = s - \frac{s^2}{2m}$$

In the hypothetical case of wells 1, 2 and 3 mentioned previously, let us now assume unconfined water table conditions where:

$s_{1,1} = 10$ feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 1;

$s_{1,2} = 30$ feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 2;

$m = 100$ feet = initial saturated aquifer thickness;

then,

$s'_{1,1} = s_{1,1} - \frac{(s_{1,1})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 1 if no dewatering occurred

$$s'_{1,1} = 10 - \frac{100}{200} = 9.5 \text{ feet}$$

$s'_{1,2} = s_{1,2} - \frac{(s_{1,2})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 2 if no dewatering occurred

$$s'_{1,2} = 30 - \frac{900}{200} = 25.5 \text{ feet}$$

and,

$s'_{1,1,2} = s'_{1,1} + s'_{1,2}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in wells 1 and 2 simultaneously if no dewatering occurred

$$s'_{1,1,2} = 9.5 + 25.5 = 35 \text{ feet}$$

$s_{1,1,2}$ = actual drawdown at well 3 which will occur when well 1 and 2 pump simultaneously (dewatering does occur)

$$s_{1,1,2} = s'_{1,1,2} + \frac{(s_{1,1,2})^2}{2m}$$

therefore,

$$s_{1,1,2} = 35 + \frac{(s_{1,1,2})^2}{200}$$

$$200s_{1,1,2} = 7000 + (s_{1,1,2})^2$$

$$(s_{1,1,2})^2 - 200s_{1,1,2} + 7000 = 0.$$

The solutions of this quadratic equation are:

$$s_{1,1,2} = 45.2 \text{ feet and } 154.8 \text{ feet.}$$

Since the aquifer thickness is 100 feet, $s_{1,1,2}$ cannot equal 154.8 feet; therefore, the only correct answer is $s_{1,1,2} = 45.2$ feet.

In the problem above, if one had followed the simple process of addition used in calculating multiple drawdown in an artesian aquifer, an incorrect value of 40 feet would have been obtained. The correct calculations, however, show that the actual drawdown will be 45.2 feet, 10.2 feet of which is due to dewatering ($\frac{s^2}{2m} = 10.2$).

These situations can be calculated and then empirically observed in the cone of depression model. Figure 4 shows just such a situation where the white and black lines on the model represent the individual drawdowns of wells A and B when they were pumped individually. The gray line drawn on the model represents the drawdown in the model at the time the photograph was taken when both wells A and B were being pumped simultaneously at the same rates at which they were pumped individually. The observed drawdown agreed with the calculated drawdown. When the individual drawdowns are small with respect to the saturated thickness of the aquifer, such that the

value $\frac{s^2}{2m}$ becomes negligible, the drawdown due to the pumping of multiple wells becomes simply the sum of the individual drawdowns of each well in the multiple well system.



Fig. 4. Photograph of the cone of depression model after pumping in wells A and B had reached a steady state. The existing multiple cone of depression is drawn in gray, while the individual cones of depression of wells A and B (as shown in Figure 2 and 3) are drawn in white and black, respectively.

The same model can be used to study artificial recharge by wells which is coming into common practice in many areas today. It is important to understand the effects of this recharging water upon the shape of the water table. It has been theoretically proved that the cone of impression brought about by a recharging well will be a mirror image of the cone of depression formed by pumping the well at the same rate as it is recharged (Ferris, 1949). An experiment was performed with this model to verify this relationship, and the results are shown in Figure 5. The model is first shown without any pumping (Figure 5A); the white line represents the static water level. Well B was then pumped and allowed to reach the steady state (Figure 5B). Pumping was then stopped until the water level recovered to the static position, at which time the well began recharging at the same rate that it had been discharging. Figure 5C shows the model after the steady state conditions had been reached. Notice that the cone of impression drawn in gray above the static level is the mirror image of the previously formed cone of depression drawn in gray beneath the static level.

This model can also be set up with some of the wells discharging while other wells are recharging. Thus, very different water table configurations can be produced and studied. Figure 6 shows such a situation with well B recharging and well A discharging.

It is a common misconception that the drawdown level within a pumping well represents the level of the water table contiguous to the outside of the well casing. This is not necessarily true and may lead to an incorrect interpretation of the elevation of the water table. When a well is improperly screened or developed, the entrance losses may be so large that the water level in the well does not rise as high as the water table. This fact was demonstrated in the model when water levels were compared in two wells pumping at the same rates but having different screen

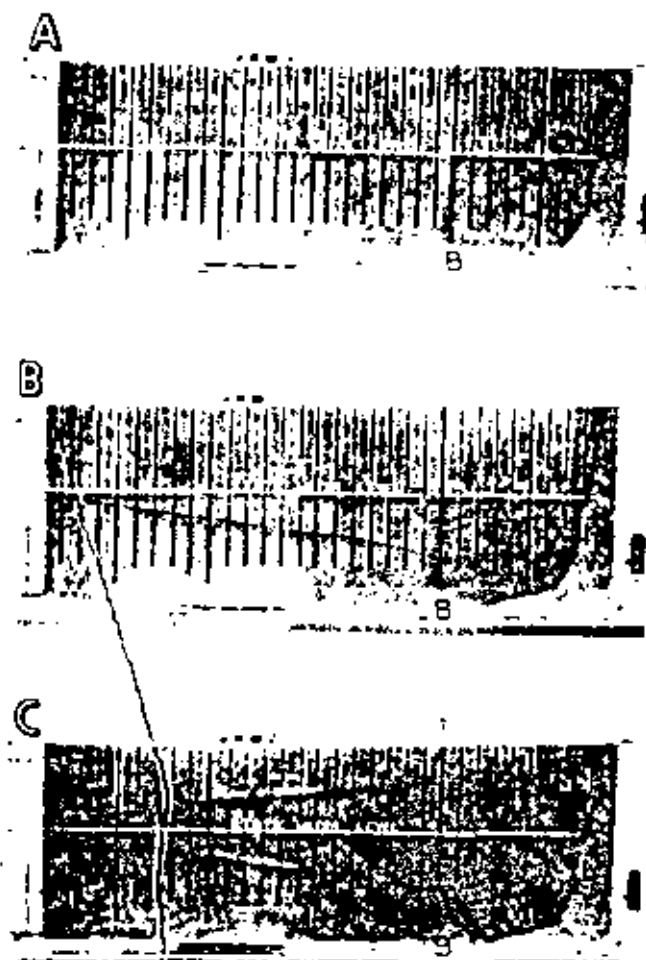


Fig. 5. Photographs of the cone of depression model (A) under static water level conditions, (B) after pumping in well B reached a steady state, (C) after recharging into well B reached a steady state.

length. Well A and the observation well immediately to the right of well A were pumped at separate times at exactly the same rate. The cones of depression produced by the two wells were nearly identical with the exception of the water level in the pumped observation well, which was far below the level in well A. The reason for this is that well A is screened in over half of the aquifer and allows the water to enter along normal flow paths. The observation well, however, is open only at the bottom and therefore causes the water to take a circuitous path into the well. This extra path length necessitates that an additional amount of work be done against friction in moving the water to



Fig. 6. Photograph of the cone of depression model with well B recharging and well A discharging. The resultant water level is drawn in black.

the well. Thus, there is a resultant energy loss in the system known as the entrance loss. It shows up simply as a lowering of the water level in the pumping well. There is almost a direct relationship between the percentage of the well casing which is screened in the aquifer, and the drawdown in the well for constant rates of discharge (deGlee, 1930).

The cone of depression model has a number of important implications in applied hydrology. One important concept illustrated by the model is the advantage of placing a pumping well as near as possible to a source area. Under natural conditions prior to development by wells, most aquifers are in a state of dynamic equilibrium; which means that natural discharge is equaled by natural recharge, and the quantity of water in storage remains essentially constant. When wells tap an undeveloped aquifer a new discharge is superimposed upon the previously stable system. This must be balanced by an increase in natural recharge, or a decrease in natural discharge or a decrease in storage, or a combination of all three.

The system is temporarily in a state of non-equilibrium until discharge from it again equals recharge. The ultimate cone of depression of a pumping well is the mechanism by which the recharge and discharge are again caused to be equal. When the cone of depression reaches a recharge area where previously recharge was being rejected, it causes the natural recharge to be increased by means of the steepened gradient. When the cone of depression reaches the discharge area it decreases the gradient and hence decreases the quantity of natural discharge. When a well is placed close to an area of rejected recharge such as a stream or swamp, its cone of depression rapidly reaches the recharge area, inducing increased natural recharge. Only a very shallow cone of depression is required in this case as can be seen in well A (Figure 3). When a well is placed far from the recharge area, it will take longer for the cone of depression to reach it and hence a deeper cone will result as in well B (Figure 2).

This model also points out an important fact to

the mining industry; namely, that it is possible to dewater portions of a mine without pumping water out of the mine excavation itself. Wells can be located in a circle around the excavation which will produce a multiple cone of depression completely eliminating any natural discharge into the excavation. In this model wells A and B (Figure 4) can be used to dewater the rock between them after which a dry excavation can be dug.

The most important fact illustrated by this model can be shown in Figure 4 if we assume that wells A and B are owned by farmers A and B respectively. The model shows that farmer A must realize that when he pumps his well it will effect the water level at the well of farmer B. Likewise farmer B must realize that when he pumps his well it will effect the well of farmer A. A subsurface aquifer along its areas of surface water recharge and discharge is a large integrated system which must be jointly controlled and operated by all the water users if the optimum benefits of its water supply are to be gained.

References

- deGlee, G. J. 1930. Over grondwaterstromingen bij water-
ontkalking door middel van putten. *J. Waterw. 12*,
1930, 173 pp.
- Ferris, J. G. 1939. Ground water. In *Hydrology* (by C. O.
Wisler and E. F. Brater). John Wiley and Sons, New
York, pp. 198-272.
- Hall, H. P. 1935. An investigation of steady flow toward a
gravity well. *La Houille Blanche*, v. 10, pp. 8-35.
- Hansen, V. E. 1933. Unconfined ground-water flow to multi-
ple wells. *Trans. Amer. Soc. Civil Engrs.* v. 118, pp.
1098-1130.
- Jacob, C. E. 1944. Notes on determining permeability by
pumping tests under water table conditions. U. S. Geol.
Survey, Mimeographed Rept.
- Lehr, J. H. 1963. Ground-water flow models simulating sub-
surface conditions. *Journal of Geological Education*,
v. 11, no. 6, pp. 121-132.
- Thies, C. V. 1945. The relation between the lowering of the
piezometric surface and the rate and duration of dis-
charge of a well using ground-water storage. *Trans.
Am. Geophys. Union*, pp. 519-524.

Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells

BY JAY HERBERT LEHR

Reprinted from JOURNAL OF SOIL AND WATER CONSERVATION
Volume 18, Number 5, September-October, 1963
Copyright, SCS, 1963

Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells

Because a natural underground hydrologic system cannot be directly observed, it is difficult to comprehend how such a system operates. This article details, in a highly simplified manner, the effects on the water table level of pumping and artificial recharge of underground aquifers. The basic principles discussed have significant implications for all users of underground water.

by JAY HERBERT LEHR

IT is important that groundwater users understand that all the groundwater within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. Changes in any part of it will eventually modify conditions throughout the entire system. This is the concept that has resulted in the formation of groundwater conservancy districts. Although groundwater users may put their water to work in many different ways, it is surely in the best interests of all that the common water supply be conserved so that it will yield the optimum quantities of water at the most economical rates. A thorough understanding of the physical principles which govern the performance of a groundwater system will lead to more efficient planning and use of water. Study of the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells will definitely help groundwater users understand their individual positions in the regional groundwater system.

Methods and Equipment

A hydraulic model analogous to very general subsurface geologic conditions was constructed for the purpose of studying and demonstrating the changes in the configuration of the water table produced by pumping wells.¹ The model (shown in all the photographs that accompany this article) consisted of a watertight plexiglass case containing a consolidated medium, which was a mixture of sand and epoxy resin. The model case was made of plexiglass $\frac{1}{8}$ inch thick; the inside dimensions were 33 inches by 12 inches by 3 inches.

The medium at the extreme right of the model was impermeable and was intended to represent the subsurface portion of an

¹ Complete data on the results of investigations with the model are contained in "Empirical Studies of Laminar Flow in Porous Consolidated Media", a dissertation completed by the author of this article at the University of Arizona in 1962.

Jay Herbert Lehr is an assistant professor in the Department of Geology, College of Mines, at the University of Arizona, Tucson, Arizona.

igneous mountain front. The remaining medium within the model had a rating of approximately 2,000 Meinzer units (gallons per day/foot², 1:1 gradient). The left end tank of the model was intended to represent the cross section of a stream channel into which water was recharging; the sloping top surface of the porous consolidated medium was intended to represent a tributary channel capable of leading runoff from the mountain front to the main stream channel. The model contained 30 wells that accurately measured the position of the water table. All of the wells were $\frac{1}{4}$ inch in diameter. The lowest 6-inch segment of the four deepest wells was screened; the rest of the wells were open only at the bottom. A small bead of red wax was placed in each observation well so that the water level would be clearly visible.

Effects of Pumping

Figure 1 shows the model before and after well B had been pumped for a long

Figure 1. Photograph of the cone of depression model after pumping in well B had reached a steady state. The cone of depression is indicated by the black line.

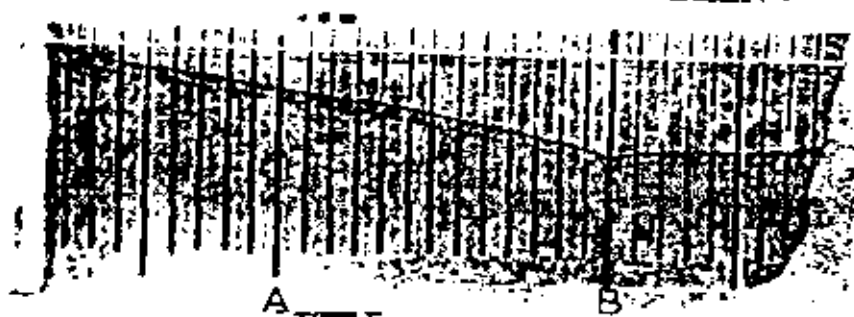


Figure 2. Photograph of the cone of depression model after pumping in well A had reached a steady state. The cone of depression is indicated by the bottom white line.



enough period to achieve a steady state condition. The white line, marked "static water level", illustrates the position of the water table before pumping. The definite effects of the boundary conditions upon the cone of depression are shown by the black line on the model. The limb of the cone to the right of the well was almost due to the effect of the impermeable boundary on the right. Since the well was unable to take water from storage beyond this impermeable barrier, it was forced to take an increased amount of water from storage in front of the barrier. This resulted in the lowering of the cone of depression in that area. The cone of depression at the left of the well extended to the surface of the recharging water. At that point, enlargement of the cone ceased for recharge from the end tank was induced and the necessity for drawing additional amounts of water from storage within the aquifer was eliminated. This is exactly what happens when a well being pumped near a stream extends its cone of depression to the edge of that stream.

Figure 2 shows the model after well A had been pumped for a long enough period to achieve steady state conditions. The surface of the cone of depression is drawn in white on the face of the model. Once again, the effects of the two boundary conditions are evident. In this case, the effect of the source of recharge was more intense than the effect of the impermeable barrier, for well A was closer to the recharge tank than to the barrier.

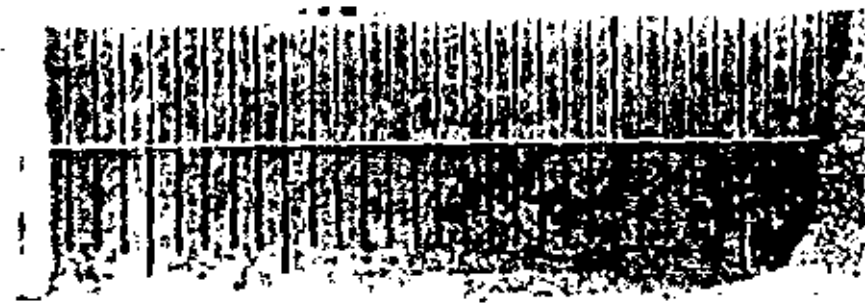


Figure 3. Photograph of the cone of depression after simultaneous pumping in wells A and B had reached a steady state; the multiple cone is indicated by the gray line. The individual cones of depression of wells A and B (as shown in figures 1 and 2) are indicated by the white and black lines, respectively.

In a multiple well system where surface recharge and evaporation are negligible, the drawdown at any point within the area of influence is the sum of the individual drawdowns of each well in the system (3). The results of investigations with the model verified this statement. When wells A and B were simultaneously pumped long enough to reach the steady state condition (figure 3), the composite cone of depres-

sion was the sum of the individual cones. Both wells were pumped at the same rates as those used to obtain the information depicted in figures 1 and 2, respectively. The black line on the model in figure 3 represents the individual drawdown caused by pumping well B (as shown in figure 1); the white line represents the individual drawdown caused by pumping well A (as shown in figure 2). The gray line on the

Figure 4. Photographs of the cone of depression model (top) under static water level conditions, (center) after pumping in well B reached a steady state, and (bottom) after recharging into well B reached a steady state.



model represents the drawdown caused by the simultaneous pumping of the two wells. It is readily apparent that the vertical distance between the gray line and the static water level is equal to the sum of the vertical distances between (a) the white line and the static water level and (b) the black line and the static water level.

Effects of Recharge

This hydraulic model also can be used to study artificial recharge by wells. Because this practice is being widely used today, it is important that the effects of such recharge upon the shape of the water table be clearly understood. It has been proved theoretically that the cone of impression brought about by a recharging well will be a mirror image of the cone of depression formed by pumping the well at the same rate as it is recharged (2). An experiment was performed with the model to verify this relationship; the results of the tests are shown in figure 4. The upper section of figure 4 is a photograph of the model prior to pumping; the white line represents the static water level. The center section of the figure shows the model after well B was pumped long enough to reach the steady state. Pumping was then stopped until the water level recovered to the static position; at that time recharging was begun at the same rate that the well had been discharging. The lower section of figure 4 shows the model after the steady state conditions had been reached. It is readily apparent that the cone of impression, drawn in gray above the static level, is the mirror image of the previously formed cone of depression, drawn in gray beneath the static water level.

Measurement of Water Table Levels

It is commonly believed that the drawdown level within a pumping well represents the level of the water table outside of the well casing. This is not necessarily true. When a well is improperly screened or developed, the entrance losses may be so large that the water level in the well does not rise as high as the water table. This phenomenon was observed in the model when water levels in two pumped wells having different screen lengths were compared. Well A and the observation well immediately to the right of it were pumped at separate times at exactly the same rate. The cones of depression produced by the two wells were identical with the exception that the water level in the pumped observation well was far below the level in well A. The reason for this was that well A was screened in over half of the depth of the aquifer; this allowed the water to enter the well along normal flow paths. The observation well, however, was open only at the bottom and therefore the water had to take a circuitous path into the well. This meant that an addi-

tional amount of work had to be done against friction to move the water into the well. The energy loss thus caused showed up simply as a lowering of the water level in the well during pumping. There is almost a direct relationship between the percentage of the well casing which is screened in the aquifer and the drawdown in the well for constant rates of discharge (7).

With this model it is possible to demonstrate one way in which runoff from higher elevations may recharge a groundwater basin. In figure 5, the model is first shown as darkly colored runoff begins to infiltrate slowly into the subsurface along the foot of the mountain front. The water table is clearly shown by the water levels in the observation wells. The succeeding photographs show how the recharging water moves as a front through the saturated aquifer. This is often the case under natural conditions when the groundwater has an underground outlet from the basin. It is an extremely slow process, and it is highly complicated for there may be many areas of recharge within the basin.

Application of Principles

The principles demonstrated with the cone of depression model have important implications in applied hydrology. One concept illustrated by the model is that it is advantageous to place a pumping well as near as possible to a source of recharge.

Prior to development by wells, most aquifers are in a state of dynamic equilibrium, that is, natural discharge is equalled by natural recharge, and the quantity of water in storage remains essentially constant.

When wells tap an undeveloped aquifer, a new discharge is superimposed upon a previously stable system. This must be balanced by an increase in natural recharge, a decrease in natural discharge, a decrease in storage, or a combination of all three. The system is temporarily in a state of nonequilibrium until discharge from it again equals recharge. The ultimate cone of depression of a pumping well is the mechanism through which the recharge and discharge are equalized. When the cone of depression reaches a recharge area where recharge previously was being rejected, it causes an increase in the natural recharge by steepening the gradient. When the cone of depression reaches a natural discharge area, it decreases the gradient and hence decreases the quantity of natural discharge. When a well is placed close to an area of rejected recharge, such as a stream or swamp, its cone of depression rapidly reaches the recharge area and induces increased natural recharge. Only a very shallow cone of depression is required in this case; well A in figure 2

illustrates this fact. When a well is placed

far from the recharge area, it will take longer for the cone of depression to reach

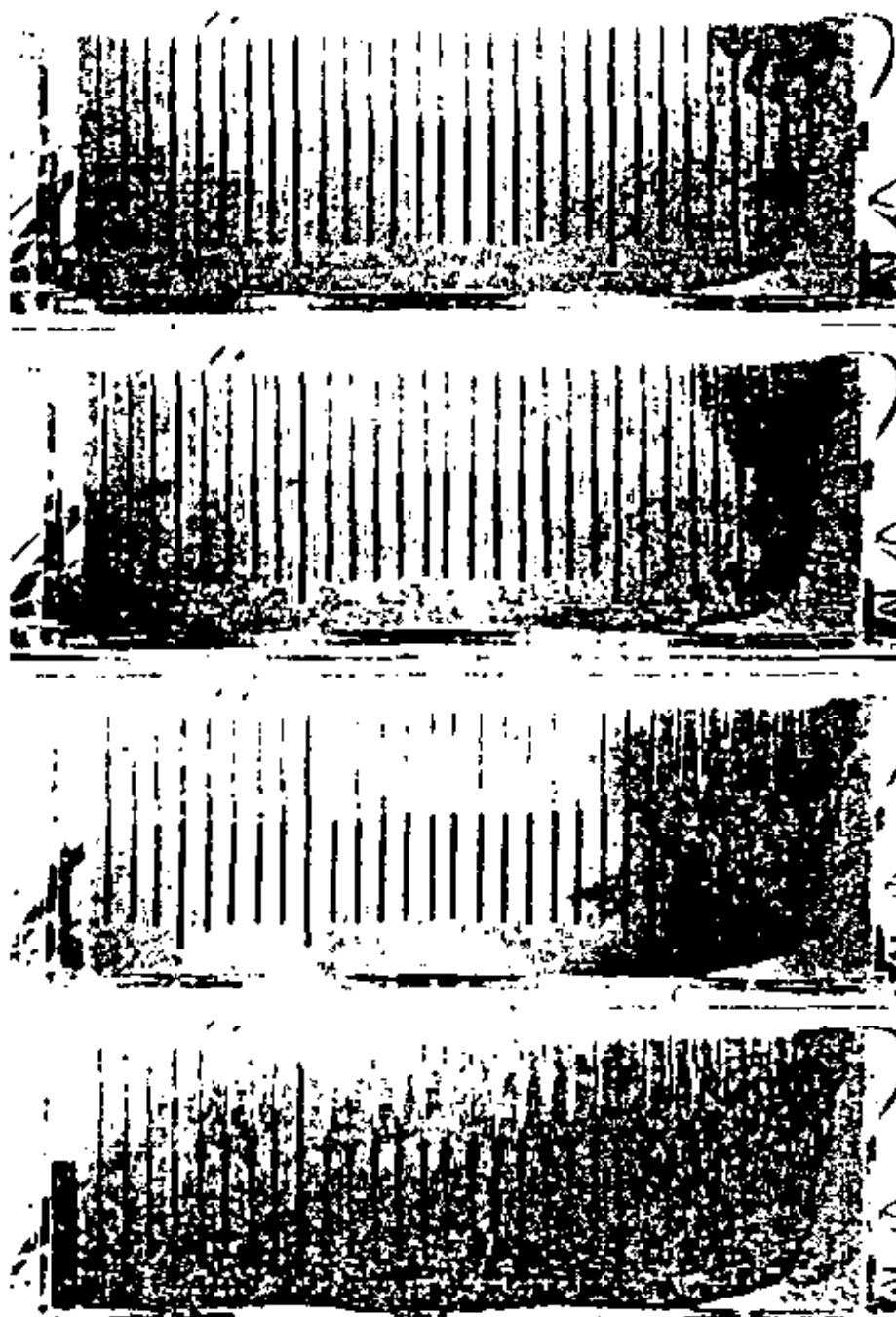
it and hence a deeper cone will result; such a situation is shown in figure 1. The most important fact illustrated by the model is shown when it is assumed that wells A and B (figure 3) are owned by different farmers. Both of the owners must realize that when either well is pumped the water level at both wells will be affected. Thus, because the subsurface aquifer along with its areas of surface water recharge and discharge is an integrated system, it must be jointly controlled

and operated by all water users if the optimum benefits of its water supply are to be gained.

REFERENCES CITED

1. de Glee, G. J. 1906. *Over grondwaterstrueringen bij waterontkalking door middel van putten*. J. Waltman, Delft, The Netherlands. 175 pp.
2. Ferris, J. G. 1949. *Groundwater*. In C. O. Wisler and E. F. Brater, *Hydrology*. John Wiley & Sons, New York, N. Y. pp. 198-272.
3. Todd, D. K. 1959. *Ground water hydrology*. John Wiley & Sons, New York, N. Y.

Figure 5. Photographic record of dark colored runoff from the simulated mountain on the right infiltrating the subsurface of the porous medium in the hydraulic model. The level of the dyed water in the observation wells shows the position of the water table. The second photograph was taken 12 minutes after the first one, the third one was taken 64 minutes after the second one, and the fourth one was taken 78 minutes after the third one.



Groundwater: Flow Toward an Effluent Stream

Abstract. *Hydrodynamic, topographic, and geologic factors control flow of groundwater toward an effluent stream. Features of such flow are illustrated by a hydraulic model that simulates the stream and surrounding consolidated rocks. Colored ink in the flow system marks progress toward the stream. Visual analysis shows that groundwater moves into the effluent stream along curvilinear flow lines. The total head of groundwater beneath the stream increases with depth.*

One of the most interesting groundwater flow-patterns in nature occurs in the vicinity of an effluent stream, a stream which is supplied by the surrounding groundwater. Legal disputes have arisen from misinterpretation of information about the flow patterns near such streams. Water levels in wells drilled along an effluent stream can be higher than the water level of the stream, and this fact has been submitted as evidence that groundwater and surface water are not connected (1). Once established as a fact in court, a decision can be obtained in some states at action taken upon the groundwater

body cannot possibly have any effect on the surface water body. Such a stand may be taken by a groundwater user to prove that pumping cannot deplete surface water. A groundwater user could similarly argue that he cannot contaminate surface water by discharging waste into his well. Results derived from a hydraulic model, analogous to the geologic setting commonly found near an effluent stream, show that such arguments in many cases may be spurious. Only by adequate definition of both the geology and hydraulics near the stream can the courts render sound judgment on such matters (2).

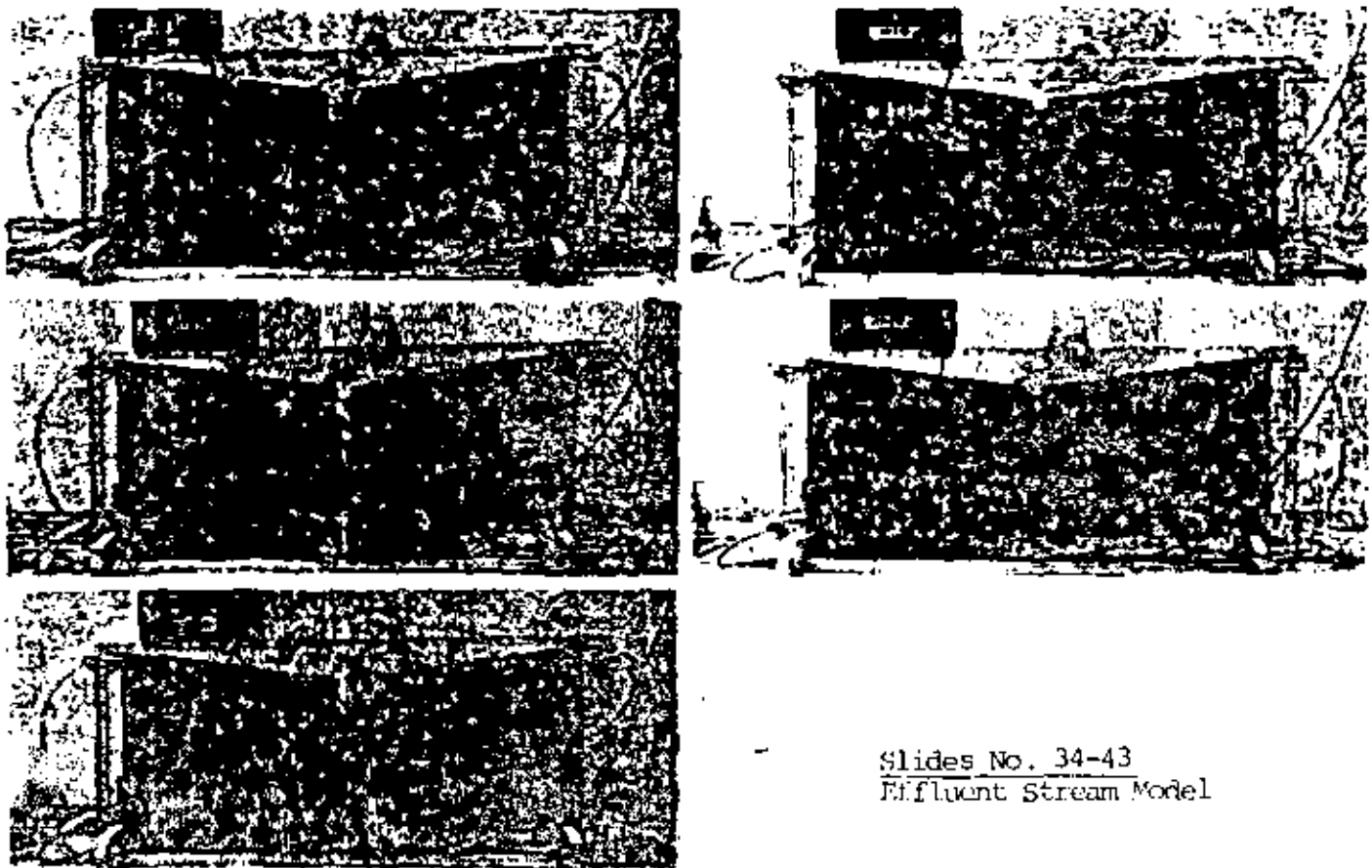
The model (Fig. 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin (3). It is 30 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high at each end and slopes down to a small channel near the center. The channel represents the cross section of the effluent stream. Ink was discharged into the model through a perforated brass tube buried in each end. The ink entering the sand progresses through it and marks the path of flow, or flow line, from each perforation. Water was recharged into both ends and discharged only from the simulated stream. The

water table nearly coincided with the rock surface on either side of the stream. Figure 1 indicates the general direction of flow at several times after the flow of ink was started.

The flow lines turn up near the center and appear to defy gravity. Although the water is definitely flowing upward topographically, it is flowing downward hydraulically in accordance with physical principles. Groundwater always moves from regions of high hydraulic head to regions of low hydraulic head.

The effluent stream may be compared with a horizontal well. In a man-made well, an area of low head is produced by pumping and the groundwater thus flows from the surrounding areas of high hydraulic head to the region of lower head near the well. The effluent stream is also an area of low head, but the head distribution about the stream is a function of the topography and rainfall which have caused a high water table to form; a region of high hydraulic head surrounding the topographically low-stream channel is thus furnished. Consequently, water moves from the adjacent high-land into the stream.

Figure 2 shows the flow diagram of the effluent stream model. Flow follows



Slides No. 34-43
Effluent Stream Model

the direction of maximum gradient as a ball takes the steepest path when rolling slowly down a hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles and thus form a conjugate system. The equipotential lines beneath the stream become horizontal as they connect points of equal hydraulic head on opposite sides of the stream. The groundwater flow which crosses these equipotentials at right angles must therefore move vertically upward in this region.

The increased potential with depth beneath the effluent stream was verified in the model. Two wells were drilled in

the stream channel and screened at different depths. The water levels in the wells rose to different heights above the level of the stream itself. The deeper of the two wells had the higher water level which indicates the higher potential at greater depth.

The model (Fig. 1) contains a homogeneous medium with an isotropic permeability which resulted in a set of flow lines following smoothly curving paths. Figure 3 shows a model of an effluent stream similar to the one in Fig. 1. The consolidated medium was sand of the same type as Fig. 1, but packed unevenly. Variations in packing caused variations in permeability, which in turn caused the tortuous paths

of the flow bands (Fig. 3). Although the model in Fig. 1 was more convenient for theoretical studies of flow, the pattern of flow near an effluent stream in nature may be much less predictable because the permeability is not generally uniform.

Comparison of the rates of movement of the flow lines (Fig. 1) shows that the flow along the base of the aquifer is much slower than at points higher in the model. This knowledge is very important in studying streams near the sea which are subject to onshore wind and salt water tides. The salt water may move up the stream during a storm and raise the water level, and thus temporarily reverse the groundwater gra-

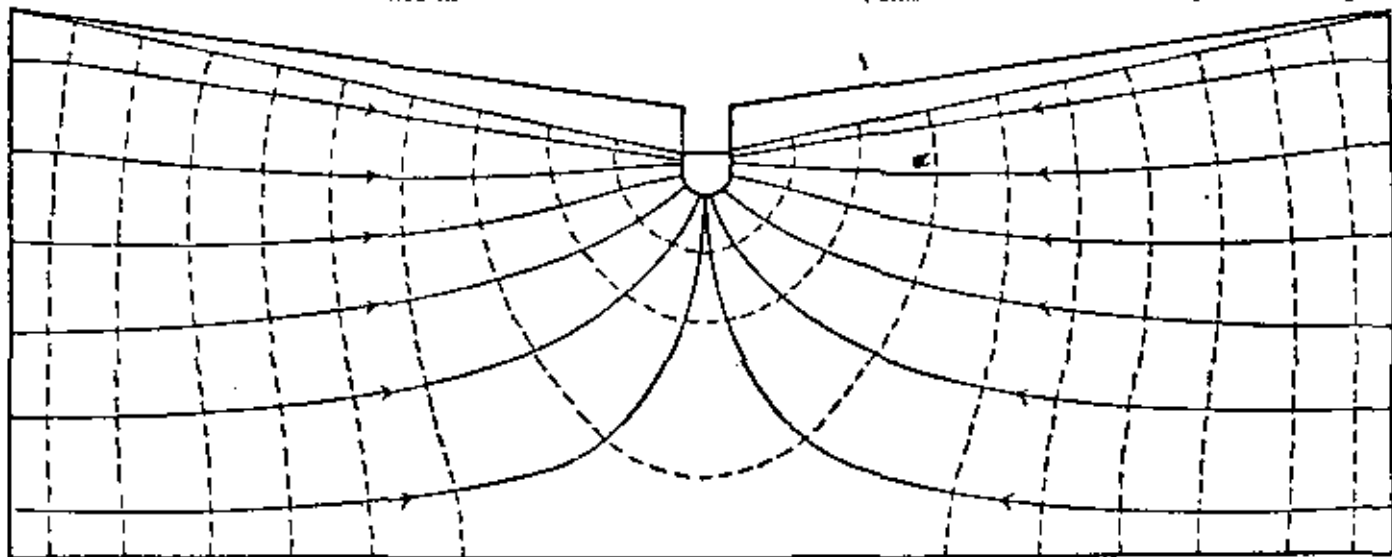


Fig. 2. Flow diagram of effluent stream model shown in Fig. 1. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines with arrows. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines and are indicated by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffices to illustrate best the general pattern (about 1/4 actual size).

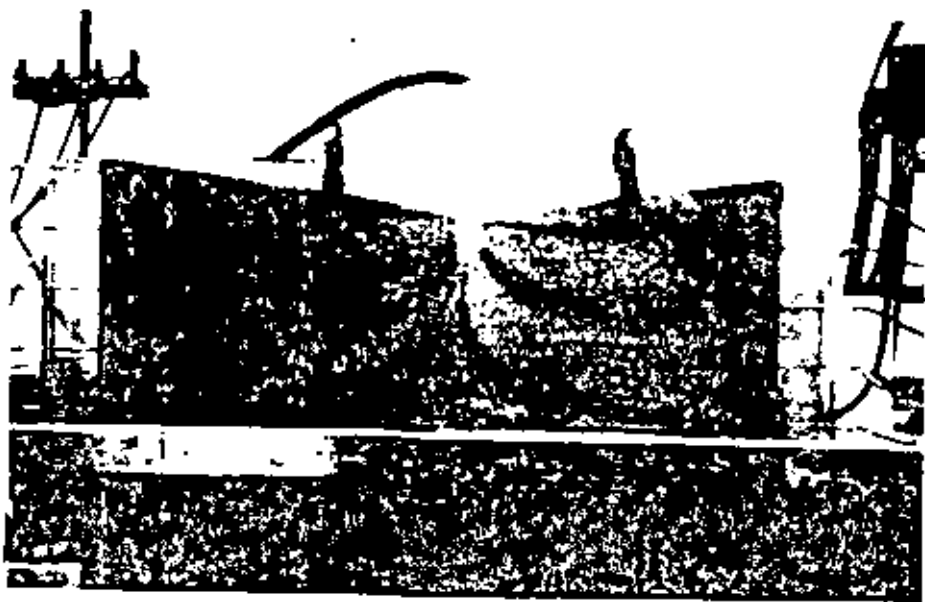


Fig. 3. Model of an effluent stream. It contains a porous medium of anisotropic permeability.

dient. During this temporary flow reversal, salt water moves from the stream into the ground water body and because of its high density may eventually sink to the bottom of the formation (4). A salt-water mound is thereby formed beneath the stream channel; this mound may have a long-lasting, detrimental effect on water-supply wells in the deep portion of the aquifer near the stream channel. Although the original groundwater gradient may be resumed soon after the stream subsides, a long time will be required to wash out all the salt by the comparatively slow movement of groundwater through the deep zone. A town's water supply can be temporarily impaired beyond use by this phenomenon, but this occurrence can be avoided if water-supply wells are placed at a safe distance from the bank of any stream subject to salt-

water tides.

JAY H. LEHR

Department of Geology, College of
Mining, University of Arizona, Tucson

References

1. D. E. Mann, thesis, Univ. of California, Berkeley, 1958.
2. C. V. Theis, *Transactions American Geophysical Union* (1941), pt. 3, pp. 734-738.
3. J. H. Lehr, thesis, Univ. of Arizona, 1962.
4. P. H. Jones et al., *U.S. Geol. Surv., Water Supply Paper 1364* (1954), pp. 287-293.

10 April 1963

Relation of Shape of Artificial Recharge Pits to Infiltration Rate

by Jay H. Lehr

REPRINTED FROM AND COPYRIGHTED AS A PART OF
JOURNAL AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION
Vol. 56, No. 6, June, 1964

however, is first vertical, after which, at some point, the direction of flow curves toward the base perimeter of the mound. This results in a more tortuous path than that taken from the inclined sides and, hence, a lower rate of recharge. (It should be

Because the rate of infiltration from the middle of such a pit is very slow, owing to the low hydraulic gradient along the circuitous path it must travel, only a very small surface area of the pit is needed to supply flow to this portion of the mound. The entire horizontal bottom area of a rectangular pit would normally be greater than was necessary to supply the flow at that point.

Experimental Procedure

In order to test this hypothesis, the author constructed a pair of two-dimensional hydraulic models (Fig. 1 and 2) analogous to the subsurface conditions surrounding recharge pits.⁴ The models consisted of watertight plexiglass cases containing a porous consolidated medium 30 in. long, 12 in. high, and 1 in. thick. The porous consolidated medium was a mixture of sand and epoxy resin (30:1 by weight) that was cast in the prefabricated case and solidified into an artificial sandstone of the desired permeability. The case was formed from $\frac{1}{2}$ -in. plexiglass with inside dimensions of $32 \times 12 \times 1$ in. The extra 2 in. in the 32-in. dimension of the case allowed space for reservoir tanks at each end.

The two models were alike in every respect except for the shape of the recharge pit centered at the top of each model. The medium in both models was identical as to permeability, porosity, and other hydrologic characteristics. The model shown in Fig. 1 had a wedge-shaped pit 6 in. wide across the top with sides 5 in. long. The model shown in Fig. 2 had a rectangular pit 2 in. deep and 6 in. wide. Both pits had a wetted perimeter of 10 in. within the porous medium, and a volume of 12 cu in.

An ink injection tube was imbedded in the porous medium along the pe-

rimeter of each pit. Perforations for the introduction of ink flow bands were located at the center of the perimeter of each pit and at 1, 2, 3, and 4 in. from the center along the perimeter, a total of nine ink outlets symmetrically placed in each model. During recharge tests, the flow discharged into the bottom of the tanks at each side of the model. Infiltration was maintained at such a rate that the water level in both pits was kept exactly at the top of the pit. Therefore, the hydraulic head difference between the recharge pit and the discharge points in the end tanks should have been the same in both models.

Results

Figure 1 shows the ink flow bands as they moved through the ground water mound beneath the wedge-shaped pit, and Fig. 2 shows the ink flow bands as they moved through the ground water mound beneath the rectangular pit. Although the configuration of the flow bands in both figures is very similar, it can be readily seen that the flow lines emanating from the bottom of the rectangular pit are more tortuous than those emanating from the sides of the wedge-shaped pit. The actual difference, however, was very slight. The average path length of the flow bands from the rectangular pit was only 3 per cent greater than that of the flow bands from the wedge-shaped pit. The rate of discharge, as expected, was also 3 per cent greater in the wedge-shaped pit.

Discussion

Although the author's hypothesis appears to have been valid, the measured difference in performance between the two pit shapes was not great

enough to establish the superiority of the wedge-shaped pit over the rectangular pit. The difference in path length due to the difference in original flow directions of water leaving pits of dissimilar shape is evidently insignificant. The greater the size of the



Fig. 1. Infiltration Paths at Various Time Intervals With Wedge-Shaped Pit

The photographs were taken at the following time intervals after the introduction of ink: (a) 0 min; (b) 1½ min; (c) 2½ min; and (d) 1½ min.

rinted out, however, that wherever the water table is contiguous with the bottom of a pit, some of the flow must move vertically downward regardless of pit slope, in order to maintain saturated flow throughout the mound.)



Fig. 2. Infiltration Paths at Various Time Intervals With Rectangular Pit

The photographs were taken at the following time intervals after the introduction of ink: (a) 0 min; (b) 1½ min; (c) 3 min; (d) 2½ min.

ground water mound in relation to the size of the recharge pit, the smaller the path length difference due to the shape of the pit. It is probable that in full-size pits in the field the path

length difference will be even less than 5 per cent. as the ratio of the size of the ground water mound to the size of the recharge pit would normally be much greater than it was in the laboratory test reported in this article.

Although it must be pointed out that the results of these experiments apply only to very small basins, and the comparison between the wedge-shaped and the rectangular basin is valid only for basins of the same wetted perimeter, the author believes that the results are of significant interest. The experiments demonstrate that, with pits of the same size and under the same hydrologic conditions, the shape of a recharge pit alone will not directly affect the potential recharge rate. Therefore, the author believes that differences in recharge rates that have been achieved between wedge-shaped and rectangular pits constructed in

hydrologically similar material can probably be ascribed to the existence of a greater horizontal than vertical permeability, causing the side area of the pits to permit infiltration at a higher rate than the bottom, or to silting, which affects the entire bottom of a rectangular pit but only the apex of a moderately steep-sided wedge-shaped pit.

References

1. TASK GROUP REPORT. Artificial Ground Water Recharge. *Jour. AWWA*, 48:493 (May 1956).
2. SUTER, M. Artificial Ground Water Recharge at Peoria, Ill. *Trans. Illinois State Acad. Sc.*, 52:96 (1959).
3. SUTER, M. High-Rate Recharge of Ground Water by Infiltration. *Jour. AWWA*, 48:355 (Apr. 1956).
4. LEHR, J. H. Ground Water Flow Models Stimulating Subsurface Conditions. *J. Geol. Education*, 11:124 (1963).

Relation of Shape of Artificial Recharge Pits to Infiltration Rate

Jay H. Lehr

A contribution to the JOURNAL by Jay H. Lehr, Asst. Prof., Dept. of Geology, Univ. of Arizona, Tucson, Ariz.

WITH the decline of ground water levels throughout the United States, artificial recharge of underground reservoirs is being more and more widely used.¹ One means of artificial recharge is the recharge pit, which is, essentially, a hole in the ground from which water infiltrates an underlying aquifer. Recharge pits have been constructed in a variety of shapes in an effort to find the optimum shape for the maximum possible recharge rate. In general, the problem of shape has been reduced to a question of whether the largest portion of the wetted area of the pit should be bottom area or side area.² The extremes are shallow rectangular pits, which have a relatively large bottom area, and wedge-shaped pits, in which side area predominates.

In previous experiments, in which the water table rose above the base of the recharge pit, water infiltrated the side area of a recharge pit at a greater rate than the bottom area.³ The factors that produced this result are not clearly understood.

Effect of Shape

In an attempt to explain this, the author theorized that greater recharge would result from a wedge-shaped pit than from a rectangular pit.

All flow originating from a recharge pit, which is at the top of a ground water mound, will ultimately arrive

at the extremities of the mound, as these extremities represent points of low hydraulic head relative to points at the top of the mound. All flow must move down the hydraulic gradient—that is, from high to low hydraulic head. The rate of flow from the top to the extremities of the mound will depend on the average path length, L , the permeability of the aquifer, P , the cross section area, A , and the hydraulic head difference, h . This is in accordance with Darcy's equation:

$$Q = \frac{h}{PLA}$$

Therefore, the inclined side area of a recharge pit will allow a faster rate of recharge than will the horizontal bottom area, because the inclined side area allows the water to follow the shortest possible path to the points of lowest hydraulic head, or the perimeter of the base of the ground water mound. The inclined side induces the shortest path because all flow must originate in a direction perpendicular to the infiltration surface of the pit (the pit being an equipotential surface). The inclination of the sides of the wedge-shaped pit can be constructed so that most of the flow is initiated on a nearly straight-line path toward the base perimeter of the mound.

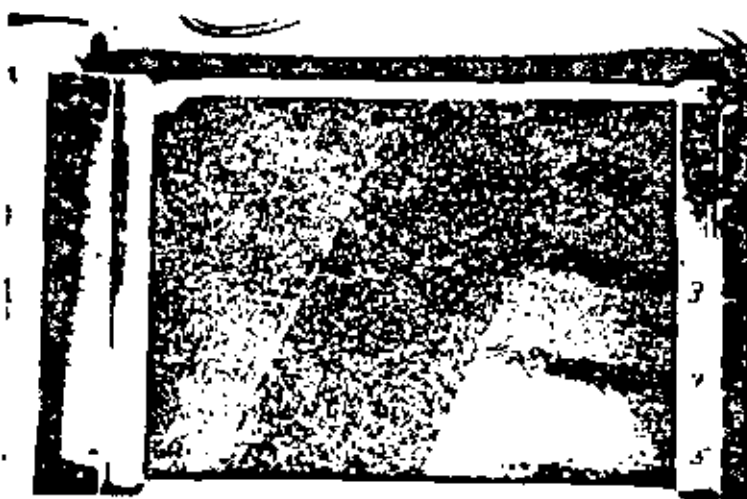
The downward path of flow from the horizontal bottom area of a pit,

REFRACTION MODEL, SLIDES 52 to 54

A



B



C



Photographic history of a horizontal refraction model. The pictures were taken after entrance of ink at times as follows: A at 6 min., B at 16 min., C at 32 min.

REFRACTION MODEL SLIDES 52 to 54

It is common in nature to find a multitude of inhomogeneties within the geologic framework of the ground water system. These variations in the geologic structure have an enormous effect on the ground water flow. When water moves through a homogeneous porous media, it can be expected to flow in nearly parallel straight line paths down the hydraulic gradient. In areas where frequent changes in lithology, and consequently permeability occur, these straight flow paths may be disrupted into an exceedingly complex tortuous pattern. It is of value to have a basic understanding of the effects of changing permeability upon ground water flow direction.

The objective of this experiment was to study the refraction of water as it flows from one medium into another medium having a different coefficient of permeability. The small horizontal model shown in the slides consist of three consolidated members. Side members have the same permeability being 1500 USGS units (gal/day/ft²/1:1 gradient) while the middle member has a permeability of 9000 USGS units. The rock units were completely saturated in a closed system and a hydraulic gradient was maintained by keeping the water level in the recharge tank at the right end of the model higher than the water level in the discharge tank at the left end of the model. The results of the experiment performed by passing ink flow bands through this model are illustrated by Slides 52 thru 54. Which show the ink

flow bands after they refracted across both the first and second interfaces.

When the law of refraction was applied to the refraction of the flow bands crossing the first and second interfaces, it was found that flow band 2, 3 and 4 obeyed the law while flow bands 1 and 5 did not obey the law. The equation for the law of refraction is

$$\frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = \frac{P_1}{P_2}$$

Where θ_1 is the angle between the flow band in the incident medium and the line normal to the interface, and where θ_2 is the angle between the same flow band in the refraction medium and the line normal to the interface. P_1 is the permeability of the incident medium, and P_2 is the permeability of the refraction medium. The following calculations illustrate the correctness of the law of refraction for flow band 3 crossing the first interface.

$$\begin{array}{lll} \theta_1 = 11^\circ & \tan \theta_1 = 0.1944 & P_1 = 1500 \\ \theta_2 = 50^\circ & \tan \theta_2 = 1.1918 & P_2 = 9000 \end{array}$$

$$\frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = .1632 = \frac{P_1}{P_2} = .1667$$

This is less than 3% error which is within the range of permissible experimental error.

Where boundary conditions interfere, as in bands No. 1 and 5 which are contiguous to the right and left boundaries of the model, the law of refraction does not hold true because the equation of continuity must first be satisfied. This law states

that in saturated flow the volume of flow leaving a given volume of media must be equalled by the volume of flow entering that same volume of media. If flow band No. 1 was allowed to refract the full amount, there would be no flow moving along the boundary, and this is not possible in saturated flow. The refraction of flow band No. 5 is physically retarded by the left impermeable boundary of the model. Both of these particular situations of flow bands 1 and 5 are ultimately controlled by the continuity equation.

The refraction of flowlines across members of contrasting permeability is extremely important to the problem of waste disposal. The highly permeable middle member in this model may represent a buried stream channel, or a brecciated fault zone which can radically change the direction of fluid flow within the ground water body. An increasingly complex spectrum of wastes are being discharged into the ground water body through disposal pits or wells. It is of the greatest importance to know the exact path that the waste will travel before it is placed in the ground. Toxic waste must not be allowed to invade and contaminate aquifers which are being used for municipal water supply, and water developers must be cautioned not to set up new well sites along the flow paths of the contaminating waste. If the projected path of toxic waste is assumed to be directly down the regional gradient, without taking into account the local variations in gradient due to formations such as buried stream channels and fault breccias, the projected flow paths may be tens of miles away from the true flow path.

© Copyright as part of the January 1964 JOURNAL WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION
Washington, D. C. 20010
Printed in U. S. A.

MODEL ANALYSIS OF GROUNDWATER FLOW AROUND AND THROUGH LENTICULAR BEDS

Jay H. Lehr

Regional groundwater flow patterns may be effectively altered by the presence of lenticular beds intersecting the general direction of flow. The manner in which these lenses can affect the normal flow has often been misunderstood by people involved in the utilization of groundwater resources. A model experiment was performed in order to study the flow patterns around and through lenses of different lithologies.

Experimental Model

A small horizontal model (1), Figure 1, 18-in. (45.7-cm) long, 12-in. (30.5-cm) wide, with an inside thickness of 1½ in. (4.1 cm) was utilized for this purpose. The model has a ½-in. (0.95-cm) plate-glass top and bottom, while the sides are sealed with opaque epoxy resin. Aluminum reservoir tanks, 3-in. (7.6-cm) deep, are attached at each end, extending out 2 in. (5.1 cm) from the model. A 12-in. (30.5-cm) strip of 1-in. (2.5-cm) aluminum angle bar is bonded to the glass top at each end so that the water levels in the reservoir tanks can be maintained above the level of the model to produce a confined flow system. The model contains porous consolidated mixtures of sand and epoxy resin, simulating sedimentary rocks, which have been formed into a pattern representing a particular geologic structure. The oblate lens shown on the right in Figure 1 has a coefficient of permeability of less than one USGS

unit (gpd/sq ft/1:1 gradient). The elliptical lens on the left has a coefficient of permeability of 10,000 USGS units, and the encompassing medium has a permeability of 2,000 USGS units.

Results

Figure 1 shows a plan view of the model as ink flow bands, emanating from ink reservoir cups attached to the right end of the model, moved through the porous consolidated medium under a small hydraulic gradient. It is interesting to note (Figure 1) that flow band No. 3 in the center bifurcated, completely wrapped around the oblate lens, then reunited into a single flow band and continued toward the second lens. Flow bands Nos. 2 and 4 were forced outward by the effect of the impermeable lens but were then attracted toward the center of the second lens because of its great permeability and large capacity for transmitting water. As the flow bands left the second lens they again spread due to the decreased transmissibility of the encompassing medium.

Discussion

Prior to the completion of this model, many persons believed that a small area down-gradient from the impermeable lens would be a dead area with no flow moving in or out. This model experiment supports the fact that there are no dead spots or stagnation zones in saturated laminar groundwater flow.

There is, however, a point of zero

Jay H. Lehr is Assistant Professor in Hydrology, University of Arizona, Tucson.

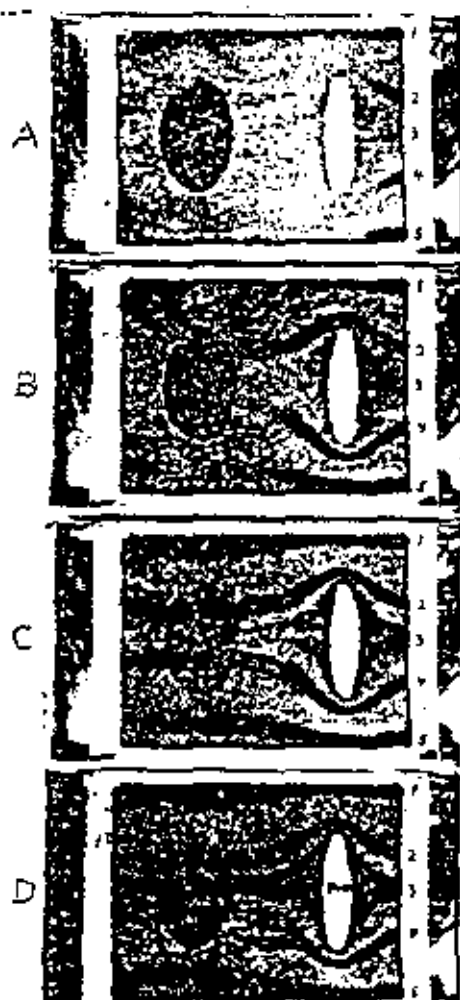


FIGURE 1.—Photographic history of the horizontal lens model. The pictures were taken at the following times after the entrance of the ink: A at 6 min; B at 18 min; C at 34 min; and D at 44 min.

velocity, or no flow, called the stagnation point, which may occur within a flow system. When flow bands bifurcate or unite around some boundary condition, such as the impermeable lens in Figure 1, or a cone of depression of a pumping well (3), there will be a point around which the flow lines, contiguous to the boundary, pivot as the direction of flow is changed. This point is called the stagnation point. It has no area or volume, but is simply an infinitesimal point. When consid-

ered in three dimensions the point becomes a series of points on a line. With the exception of these stagnation points, there is a positive velocity vector acting everywhere within the pore spaces of a saturated porous medium when a hydraulic gradient is imposed upon it. However, although all the water in the system will flow, the velocity of flow will not necessarily be constant throughout the porous medium. This can be seen in Figure 1, where all the ink bands were injected simultaneously into the model, but flow bands Nos. 1, 2, 4, and 5, at the sides of the first lens, traveled at greater velocities than band No. 3 which began directly behind the lens. In this model the water immediately down-gradient from the impermeable lens was definitely not stagnant or motionless. The water flowed very slowly from this area and was continuously replaced by water flowing from a position of higher potential in accord with the equation of continuity:

$$Q = \theta AV \dots \dots \dots (1)$$

where Q = volume rate of flow,

A = cross sectional area normal to flow,

V = velocity of flow, and

θ = porosity of porous media.

The flow diagram of the lens model appears in Figure 2. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines; these are represented by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffice to best illustrate the general pattern of flow. Flow follows the direction of maximum gradient, much the same as a ball will take the steepest path when rolling slowly down a

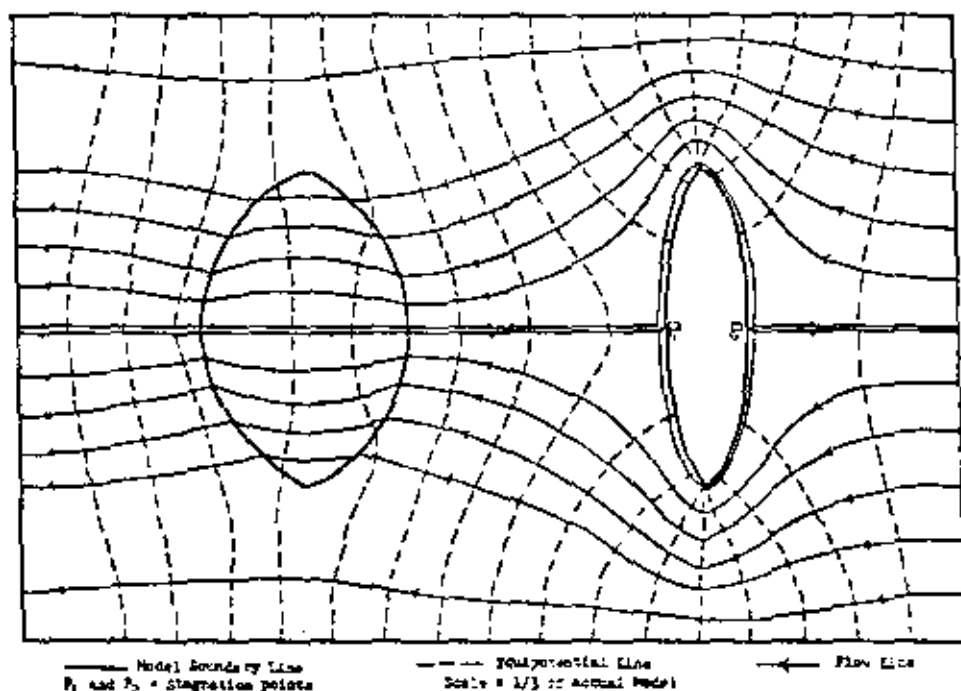


FIGURE 2.—Flow diagram of the horizontal lens model shown in Figure 1.

hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles, thus forming a conjugate system (2).

If flow lines are first drawn at equal intervals along a known equipotential line, the quantity of water flowing between any two flow lines will always be equal, assuming a unit depth, with no additions to or losses from the saturated system. If head loss between all adjacent equipotential lines is maintained constant, then the flux of water moving through every element of the net bounded by two flow lines and two equipotential lines will be equal. This system of constant density flow lines and equipotentials is utilized in the flow net in Figure 2.

The change in thickness of flow band No. 3 as it moved around the first lens is of considerable interest (Figure 1). It was a thick band, both in front of the lens and behind it but, as it rounded the corner, it was very thin. In order for this to occur in

homogeneous media, the velocity of flow must be much greater where the band is thin than where the band is thick, in order to satisfy the continuity equation (Equation 1); that is to say, when Q remains constant, V must increase as A decreases. The flow diagram of this model (Figure 2) designates these velocity variations by the changing dimensions of the flow net elements. Within a single medium, the velocity is greatest in the narrowest elements and lowest in the widest elements.

Conclusion

A great deal can be learned from this model in regard to the proper placement of wells seeking uncontaminated water. Many mistakes have been made in the placement of wells in areas of known toxic waste disposal. One common misconception is that the shadow of a low or impermeable formation, such as an igneous plug or stock down-gradient from a point of waste disposal, offers a water

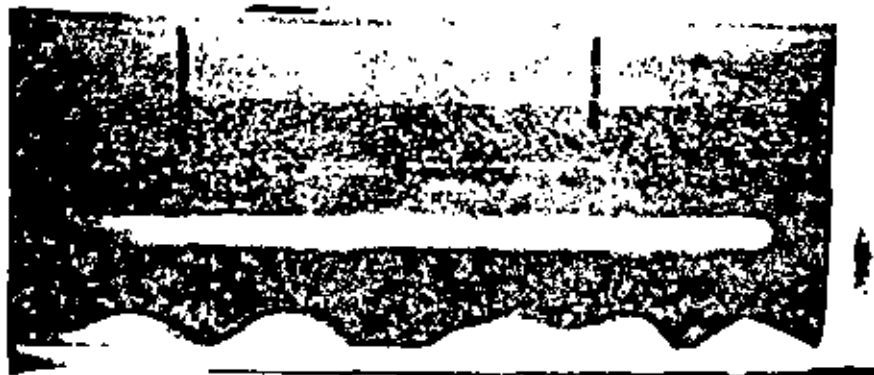
supply safe from contamination. This model indicates that this so called shadow area only offers a delay rather than an escape from the inevitable contamination. In contrast to this observation is the excellent possibility of obtaining relatively uncontaminated water at some distance to the right or left of the high permeable lens. When such a lens occurs directly down-gradient from the location of the waste disposal, it may have the effect of concentrating the waste fluid in a small cross-section of flow, leaving the area

to the sides of it uncontaminated and, therefore, capable of supplying potable well water.

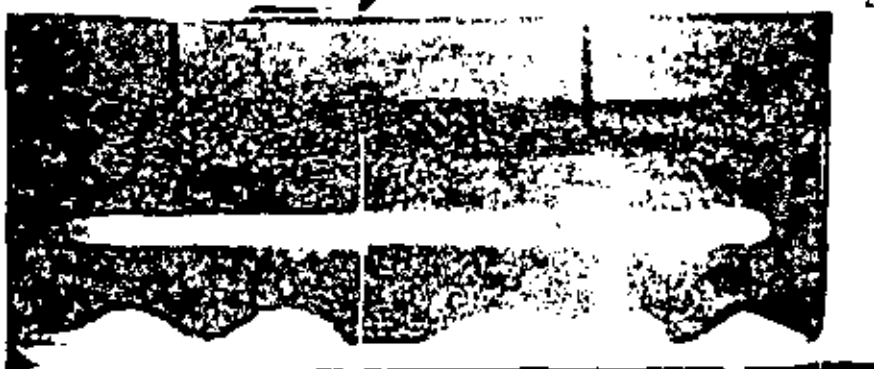
References

1. Lehr, J. H., "Empirical Studies of Laminar Flow in Porous Consolidated Media." Ph.D. Dissertation, University of Arizona, Tucson (1962).
2. Muskat, M., "The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media." McGraw-Hill Publishing Co., Inc., New York (1937).
3. Todd, D. E., "Ground Water Hydrology." John Wiley and Sons, New York (1959).

A



B



C



D



Photographic history of a large vertical layer model. The pictures were taken at the following times, after entrance of ink: A at 0 min., B at 7 min., C at 51 min. Pumping began at 52 min. D is shown at 10 min. after pumping began in the two wells.

LAYERED MODEL SLIDES 61 to 65

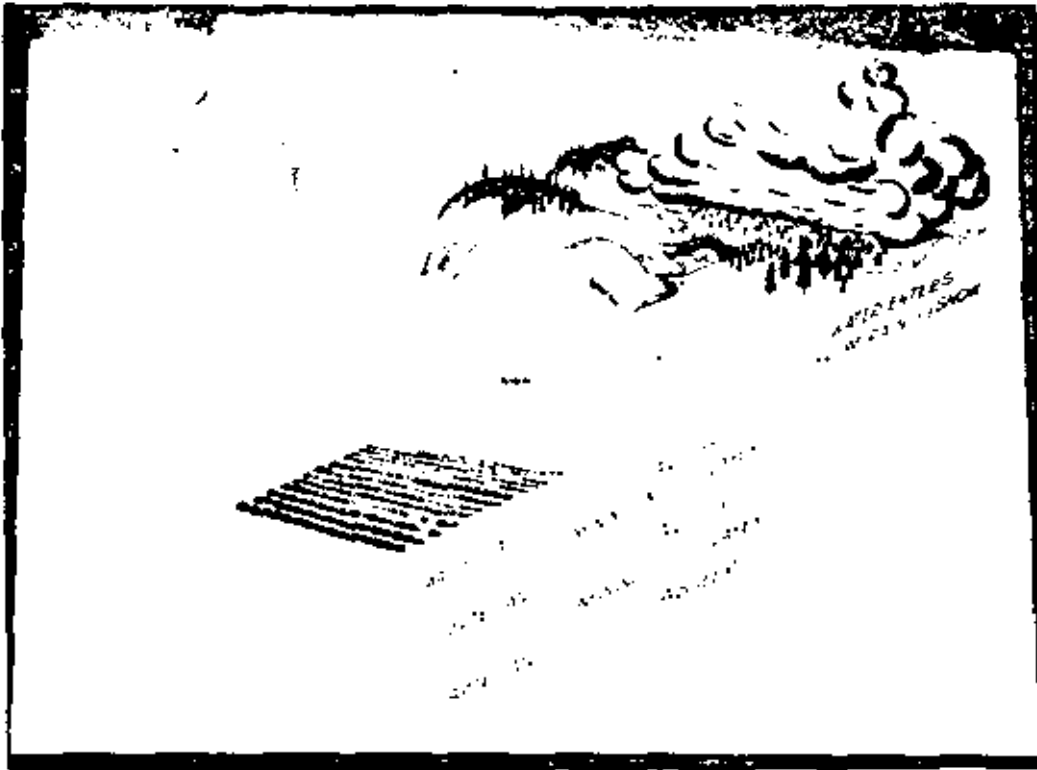
An experiment performed with a "large vertical model" is shown in slide 61. The upper layer in the model is a coarse medium having a permeability of 10,000 USGS units, the second layer has a permeability of 100 USGS units, the undulating bottom medium has a permeability of 5 USGS units, and the encompassing medium has a permeability of 2,000 USGS units. The purpose of studying this model was to learn what effect a highly permeable layer would have on partially confined water beneath a low permeable layer. This model was run both under pumping and non-pumping conditions. The model is first shown under non-pumping conditions (slides 61 thru 64) as the ink illustrating flow paths moved through the model. It is readily seen that the highly permeable layer drew a large proportion of the total flow into it because of its great capacity for transmitting water. It offered the path of least resistance and most of the flow follows this path. Beneath the low permeable layer, however, very little of the flow is affected. Most of this flow remained beneath the lower layer, although a small percentage passed through it. In slide 65 the flow bands are seen ten minutes after pumping was initiated from the two wells drilled in the highly permeable layer. The partially confined flow beneath the low permeable layer was greatly affected by the high permeable layer, and was nearly all drawn to it.

Localized deposits of highly permeable material are not often found in nature, therefore, it is common practice to artificially construct a highly permeable region around a well by means of gravel packing. This is accomplished by drilling an oversized hole and placing the well casing in the center of the hole and gravel in the remaining volume of the hole. This creates a highly permeable annular region surrounding the well, which yields an increased specific capacity.

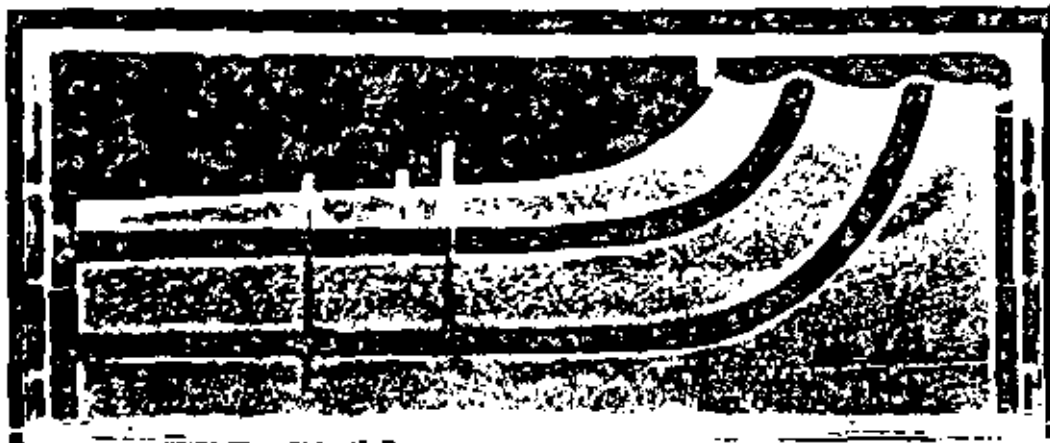
The wells, pumping from the highly permeable layer in this model utilized this layer as a well gallery which essentially increased the effective area of influence of the well. This illustration is of importance to those who are concerned with ground water development, because it indicates in this type of aquifer, the possibility of capturing deep, partially confined ground water flow through the use of well-placed shallow wells.

ARTESIAL WELL MODEL SLIDES 66 to 71

A



B



Groundwater model (Photo B) representing the classic artesian aquifer situation pictured in photograph A: Due to excessive recharge in the high outcrop area at the right, the water levels in the deep confined wells can be seen to rise above the water level in the shallow water table well.

ARTESIAL WELL MODEL SLIDES 66 TO 71

Perhaps the most interesting of all ground water phenomena is the artesian well. In order to study this phenomena the model in slide 67 was constructed to represent the classic hydro-geologic situation giving rise to the occurrence of artesian wells shown in slide 66. It closely resembles the cross section of the great Dakota sandstone which is an important artesian aquifer in the midwest. This model shows a limb of a fold which has been truncated, causing the different formations to outcrop at a high elevation. The left portion of the model represents the lowlands area lying at some distance from the uplands or mountainous region, illustrated by the right hand portion of the model. The consolidated medium within the plexiglass case is 30 inches long, 11 in. high at the extreme right and 6 in. high at the extreme left, while being 1 in. thick. Members 1 and 5 have permeabilities of 1,200 USGS units, members 2 and 4 have permeabilities of less than 1 USGS unit, while member 3 has a permeability of 10,000 USGS units. A simulated strike slip fault has been constructed in the model at the vicinity of the left well. Fault breccia occurs along the plane of the fault where it passes through members 2 and 4.

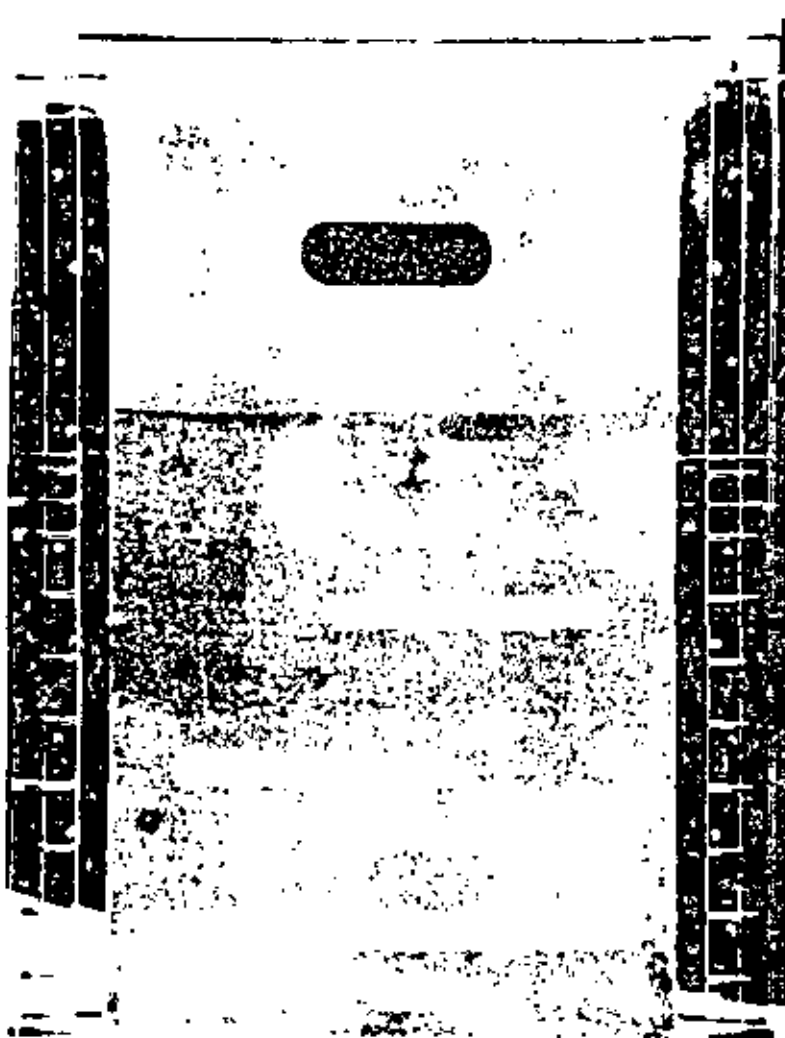
The model is recharged by two methods. Water is pumped into the right end tank and maintained at a higher level than the water in the left end tank, resulting in the flow of water through member 5. At the same time recharge by rainfall is simulated by means of a perforated recharge tube set above the high area to

the right. Under these conditions members 3 and 5 are confined aquifers, being confined by members 2 and 4, respectively. Member 1 is an unconfined formation with a free water table. The model contains three wells each being screened in only a single member. The right well A_3 is screened in member 3, the middle B, well is screened in member 1 and left well C_5 is screened in member 5.

Wells A_3 and C_5 are both artesian wells according to the following definition: An artesian well is a well within which the water from a confined aquifer rises above the bottom of the confining bed. This is due to the fact that the water level in these aquifers at their source areas are above the elevation of the aquifer at the location of the wells. This excess head differential between the source area and the well location pushes the water up the well bore to a position above the top of the aquifer. The water level will not rise up to the level of the water in the source area because some of the potential energy is transformed into work done against friction during the transmission of the water through the aquifer. The water level is higher in well A_3 than in well C_5 because well C_5 is further down gradient from the source area. The reader might notice at this time that if wells A_3 and C_5 were cut off at ground level, well A_3 would flow, but well C_5 would not. Therefore we have two artesian wells, but only one flowing well. It is a common misconception that all artesian wells must flow above the ground level, however, there is no basis for this in the standard definition of an artesian well, as previously stated.

Slide 71 shows the model after ink flow bands have been allowed to flow through its entire length. Well C₅ was being pumped at the time this picture was taken. The fault to the right of well C₅ in member 4 acted as a leak in the confining layer and allowed water to be pulled out of the upper aquifer into the lower aquifer and thence into the well. This situation results in what may be called a leaky aquifer. The more common leaky aquifer situation referred to in most of the literature is attributed to an area of the confining bed where the permeability is sufficiently high to allow water to move through it into or out of the confined aquifer when a sufficient head difference occurs between the artesian aquifer and the unconfined water table above the confining layer. This situation becomes of increasing importance when the piezometric surface of the artesian aquifer is lowered by pumping, to a position where the water table head is capable of driving large quantities of water through the confining layer.

Slides 70 and 71 also shows that the artesian flow in member 3 is leaking into member 1 through the fault in member 2. A natural ground water mound being recharged from below has been created here. A situation such as this occurring in nature would make an excellent location for shallow low capacity pumping wells.



Groundwater model, whose upper portion is a fine grained medium, with low permeability, containing a small highly permeable lens. The lower portion of the model is a coarse grained highly permeable medium containing three clay layers of low permeability. The model is operated with the upper zone unsaturated and the lower zone simulating a water table condition. When water is introduced at the top, it can be observed infiltrating the upper zone and moving downward toward the saturated groundwater body below. The development of perched water tables may be studied, as well as the confluence area between unsaturated and saturated flow at the water table.

UNSATURATED FLOW MODEL SLIDES 72 TO 77

The movement of water in the unsaturated zone differs greatly from the movement of water in the saturated zone. The model shown in Slide 77 was built for the purpose of studying these flow differences, as well as the area of confluence in which saturated and unsaturated flow come together. The model has a plexiglass case which contains a consolidated media 31 in. high, 18 in. wide, and 1/2 in. thick. The upper member of the model is a fine grained low permeable medium containing a small high permeable lens. The lower member of the model is a coarse grained high permeable medium containing three low permeable clay layers. Slides 72-77 were taken while water was being introduced at the top of the model through a perforated rain simulator tube. Prior to the infiltration of the water the model was perfectly dry, hence, the mere wetting of the medium by the clear water darkened its color making the unsaturated flow visible in the pictures without the use of ink. The water first infiltrated the top of the media and moved as a wetting front down through the fine grained upper member.

The movement in this zone is very slow and subject mainly to the capillary forces rather than gravity forces. Only when a quantity of water became very large and concentrated in a single area did movement due to gravity become predominant. This is illustrated in Slide 74 where the water collected above the high permeable lens until its weight was great enough to

pull it directly through the lens in opposition to the higher capillary forces acting around the lens.

It should be noted here that the simulated rainfall rate was so high in this experiment that some of the rejected recharge ran down the sides of the consolidated media. The capillary forces along the sides of the media pulled some of this moisture into the medium which accounts for the darkening of the medium along the entire length of its sides. Part of this runoff which did not immediately drain from the bottom of the model, also accounts for the darkening of the bottom two inches of the lower member.

Slide 74 shows the model as the unsaturated flow entered the coarse grained lower member. Notice that the movement was no longer along a wetting front propagating downward evenly throughout the model. It moved down in thin vertical streams at only a few places. This was because the capillary forces were stronger in the upper member than in the lower member. The water was held back from the lower member until the accumulated mass of water had a great enough weight to overcome the capillary forces tending to retain the water in the upper member. The water then broke through at a few points along the interface and began to stream into the lower member. The vertical stream remained thin in the lower member because of the high permeability which allowed a small area of the lower member to drain a large area of the upper member. Once a stream has broken through the interface, the same path will be followed

by the succeeding flow of water because the cohesive attraction of water molecules and the capillary attraction of the wetted tube will tend to draw the water along the already dampened path.

Eventually there was a build up of perched water tables on the three clay layers within this member. It is interesting to note the movement of some water through the clay layers in spite of its extremely low permeability, (Slide 76-77). Water will move through a clay layer in the unsaturated zone more readily than it will move through a clay layer in the saturated zone. This is true because in the unsaturated zone a large head of water can be built up on the clay which may eventually drive the water through the clay. In the saturated zone, however, the normal hydraulic gradients are so small that the resulting hydraulic heads are not adequate to drive more than a small quantity of water through the clay layers.

FAULT MODEL SLIDES 78 to 80



Groundwater model representing tilted and faulted sedimentary layers: Groundwater movement in the vicinity of a brecciated fault zone may be observed.

FAULT MODEL SLIDES 78 to 80

One of the most important structural features in the study of ground water hydrology is the fault. Faults may represent impermeable boundaries to ground water flow, or in other situations, they may represent brecciated areas of exceedingly high permeability. Slides 78 to 80 show a model simulating a normal fault, the consolidated medium is 30 in. long, 12 in. high and 1 in. thick. The members on the right side of the fault have been displaced downward from their adjoining members on the left side. The lower portion of the fault zone is occupied by a thin layer of coarse gravel simulating a fault breccia having a permeability of 9,000 USGS units. The white layers are effectively impermeable while all other members have a permeability of 1,500 to 2,500 USGS units. Slides 78 to 80 show the model, as ink flow bands are moving through it. The lower flow band was forced to move downward into the model due to the effect of the dipping impermeable member above it. When it reached the fault breccia zone most of the flow moved rapidly out of the lower confining conditions through the brecciated zone into the unconfined aquifer above. Once out of the fault zone the flow band continued through the remaining portion of the model. The fault breccia served as a natural conduit for the water, because it was the only passage open to the confined ground water flow. Notice how the flow lines converged as they passed into the fault

zone and then began to diverge as they emerged from the fault zone.

This convergence of flow lines, as well as the steepening of the hydraulic gradient at the neck of the fault zone, is caused by the geometric constriction of the aquifer. The flow lines converge of necessity into the smaller area and the hydraulic gradient steepens in response to the large volume of water which must move at the same rate through the small area of the fault zone as it did through the larger area. The permeability of the fault breccia is also a factor in determining the hydraulic gradient through it, since permeability and gradient vary inversely with one another.

When one desires to locate a well in an aquifer, he should look for large unconfined areas within the aquifer. Small confined areas offer interfering boundary conditions which result in low specific capacities. Highly convergent flow lines often infer the presence of a restricted area which can only offer a poor production potential to pumping wells. Where a highly brecciated fault zone is present in the unconfined portion of an aquifer it may effectively increase the transmissibility of that aquifer, thus offering a good source of water.

The portion of the lowest layer, downstream from the fault breccia is confined both above and below. This zone is typically thought of as containing stagnant water in a state of non-flow.

However, there cannot be any areas of non-flow beneath the free water surface within an interconnected hydrologic system upon which a hydraulic gradient exists.

The fault model discussed in this experiment is of interest to the mining industry because it indicates the mechanics by which a hydrothermal ore vein may be formed within a fault breccia. The ground water moves through the rock up gradient from the fault, and may dissolve certain minerals out of these rocks. As the water approaches the fault, the flow lines converge, thus concentrating the quantity of mineral ions in solution that pass through the rock per unit time. As the water moves up through the fault breccia it encounters a decrease in temperature in accordance with the normal geothermal gradient. The decrease in temperature may produce a state where the fluid is saturated with the dissolved minerals, thereby causing some mineral content to be precipitated out of solution and collect on the surfaces of the fault breccia. The concentrated flux of ground water containing dissolved solids, and moving through the fault zone offers a large exposure to precipitation of mineral matter which may ultimately result in a highly concentrated ore vein.

No. 6.- Resistencia y reactancia de conductores cableados de cobre en ohms/kilómetro (3 conductores por ducto)

Alambre AWG o MCM	En ducto magnético				En ducto no magnético			
	De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje		De 600 volts y 5 kV sin blindaje		De 5 kV con blindaje	
	X	R	X	R	X	R	X	R
8	0.2473	2.6600	0.2820	2.6600	0.1980	2.6600	0.2260	2.6600
8 +	0.2473	2.5780	0.2820	2.5780	0.1980	2.5780	0.2260	2.5780
6	0.2250	1.6720	0.2610	1.6720	0.1797	1.6720	0.2086	0.1672
6 +	0.2250	1.6270	0.2610	1.6270	0.1797	1.6270	0.2086	1.6270
4	0.2074	1.0530	0.2440	1.0530	0.1660	1.0530	0.1950	1.0530
4 +	0.2074	1.0230	0.2440	1.0230	0.1660	1.0230	0.1950	1.0230
2	0.1920	0.6630	0.2250	0.6630	0.1532	0.6626	0.1794	0.6626
1	0.1870	0.5250	0.2214	0.5250	0.1496	0.5250	0.1771	0.5250
1/0	0.4771	0.4200	0.2083	0.4200	0.1417	0.4166	0.1663	0.4200
2/0	0.1750	0.3350	0.2067	0.3300	0.1397	0.3313	0.1653	0.3350
3/0	0.1700	0.2640	0.1985	0.2670	0.1361	0.2510	0.1588	0.2640
4/0	0.1630	0.210	0.1912	0.2130	0.1305	0.2076	0.1528	0.2010
250	0.1624	0.1811	0.1870	0.1830	0.1300	0.1775	0.1496	0.1790
300	0.1617	0.1522	0.1850	0.1560	0.1292	0.1480	0.1480	0.1509
350	0.1610	0.1240	0.1843	0.1270	0.1289	0.1207	0.1476	0.1230
400	0.1607	0.1168	0.1797	0.1190	0.1286	0.1122	0.1440	0.0114
450	0.1575	0.1056	0.1765	0.1090	0.1260	0.0997	0.1410	0.1023
500	0.1530	0.0964	0.1725	0.0980	0.1223	0.0905	0.1381	0.0923
600	0.1519	0.0843	0.1693	0.0870	0.1217	0.0780	0.1351	0.0707
750	0.1460	0.0708	0.1630	0.0731	0.1168	0.0640	0.1299	0.0666

Los valores tabulados corresponden a la frecuencia de 60 Hertz y a 75 °C de temperatura del conductor.

* conductores sólidos. (alambre).

⊙ Conexión y Resistencia a Tierra

Valores aceptables recomendados.-

El más elaborado sistema de tierras que sea diseñado, pueda ser inadecuado, a menos que la conexión del sistema a tierra sea adecuada y tenga una resistencia baja. Por consiguiente la conexión a tierra es una de las partes más importantes de todo sistema de tierras. Esto es también la parte más difícil de diseñar y obtener.

La perfecta conexión a tierra deberá tener una resistencia con valor cero, pero esto es imposible de obtener.

Para subestaciones grandes y estaciones de generación, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de un ohm.

Para subestaciones pequeñas y plantas industriales, el valor de la resistencia a tierra no deberá exceder de 5 ohms. El NEC (National Electrical Code 1971) recomienda que la resistencia máxima no deberá exceder de 25 ohms.

La Resistividad de Diferentes Terrenos

Terreno	Resistencia (ohms) varillas de 5/8 Pulg. x 5 pies			Resistividad (ohms por cm ²)		
	Promedio	Mín.	Más.	Promedio	Mín.	Más.
Asfalto, escorias, salmuera, desechos	14	3.5	41	2,370	590	7,000
Arcilla, arcilla oscura, suelo arcilloso, tierra negra	24	2	98	4,000	340	10,000
Igual, con variaciones en las proporciones de arena y grava	93	6	800	15,800	1,020	100,000
Grava, arena, piedras, con arcilla pequeña o barro	554	35	2,700	9,400	50,000	450,000

El Efecto del Contenido de Agua o Humedad en la Resistividad del Terreno

Contenido de agua ó humedad (% del peso)	Resistividad (ohms/cm ²)	
	Terreno superior	Barra arenosa
0	>1000 x 10 ⁶	>1000 x 10 ⁶
2.5	250 000	150 000
5	165 000	43 000
10	53 000	18 500
15	19 000	10 500
20	12 000	6 300
30	6 400	4 200

El Efecto de la Temperatura en la Resistencia del Terreno (Barro arenoso con 15.2% de humedad)

Temperatura		Resistividad (ohms por cm ²)
°C	°F	
20	68	7 200
10	50	9 000
0 (agua)	32	13 200
0 (hielo)	32	30 000
-5	23	79 000
-15	14	320 000

Cálculo de la resistencia a tierra.— La resistencia a tierra puede ser calculada y / o medida.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS DE BOMBEO

- . Tipos de bombas
- . Centrífugas
- . Turbina vertical
- . Sumergible

OCTUBRE, 1980

CURSO DEL CENTRO DE EDUCACION CONTINUAFACULTAD DE INGENIERIASEMINARIO SOBRE BOMBAS SUMERGIBLESPRESENTADO POR :ING. ROBERTO FRANYUTTICONTENIDO

- 1.- Introducción
- 2.- Diseño
- 3.- Operación y Mantenimiento
- 4.- Aplicación de las bombas sumergibles
- 5.- Por qué usar bombas sumergibles ?

1.- INTRODUCCION .-

La edad "de las bombas sumergibles" tuvo su comienzo en Europa a principios de los años 20 de este siglo, cuando en Rusia se tuvo la necesidad de bombear aceite de pozos profundos. A partir de esta aplicación, se vió que este tipo de bombas podría utilizarse también en el bombeo de agua. La compañía KSB, fué una entre las pocas empresas dedicadas a la fabricación de bombas, que se dió cuenta de la importancia de este nuevo concepto y empezó a investigar una aplicación más general en la industria cuando hubiera necesidad de bombear líquidos desde grandes profundidades.

La compañía KSB concentró sus primeros esfuerzos en construir este tipo de bombas estando el motor sumergido en el agua, es decir con sus embobinados y partes rotativas totalmente sumergidas en agua. Ya que en este tiempo no se disponía de sellos mecánicos ó cuando más, de sellos con poca calidad industrial, este tipo de motor sumergido destacó como el diseño más lógico. Naturalmente que en el inicio no había resultados prácticos de alguna aplicación semejante.

La experiencia no tardó mucho en demostrar que este tipo de motor mostraba ventajas, por la rápida disipación del calor generada por el motor. El tipo del recubrimiento del alambre de embobinado, resultaba en una seria inconveniencia en cuanto a la relación del diámetro del alambre contra el diámetro del cable. Esto se notaba más significativamente en motores de baja potencia y diámetros pequeños. De manera que al principio se enfocó la fabricación a motores de potencias altas.

Esta fué la razón más sobresaliente por la cual la KSB nunca intentó fabricar motores sumergibles de capacidades pequeñas.

Durante los primeros 10 a 15 años del desarrollo de bombas sumergibles, los fabricantes encontraban barreras técnicas debido a que el aislamiento del alambre era de hule natural. Sólomente a partir del descubrimiento del hule sintético y más tarde de los materiales plásticos -- y con ellos las ventajas del alambre correctamente aislado y a prueba de agua -- empezaron los motores sumergibles a introducirse en el mercado del bombeo en pozos profundos. El peidaje hacia la fabricación de motores de alta potencia y voltaje, tales como 2300 y 6000 volts, fué sólomente una cuestión de tiempo y desarrollo.

Estos antecedentes significaron para la KSB el título como " El fabricante más experimentado en la fabricación de bombas sumergibles ". La fábrica KSB está dentro de las muy pocas compañías en el mundo que fabrican motores sumergibles con potencias mayores de 1000 HP.

El desarrollo de las bombas sumergibles en América tomó otra dirección. La bomba sumergible de 4" luchó por introducirse en el mercado de suministro de agua. No cabe duda que los fabricantes americanos con sus motores lubricados y enfriados por aceite, estuvieron a la cabeza en este campo. Durante los años 50 las bombas sumergibles de 4" fueron las que virtualmente llegaron a tener más aceptación. Durante el curso de los años 60, los motores sumergibles de 6" y 8" empezaron a competir contra las bombas tradicionales de turbina. (pozo profundo).

En ese tiempo no había ninguna razón aparente por la cual las bombas sumergibles de ese tamaño no pudieran introducirse en el mercado americano, como lo habían hecho en Europa 20 años antes. De esta manera la controversia entre la aplicación de las bombas verticales tipo turbina y las sumergibles, se ha definido más claramente. Las bombas sumergibles han adquirido tal aceptación, que el suministro de agua en la industria y el suministro municipal, raramente hecha mano de las bombas de flecha tipo turbina convencionales.

2.- D I S EÑO

2.1. Bombas sumergibles

La bomba sumergible es la adaptación de una bomba convencional de turbina de pozo profundo, que es más ó menos universalmente conocida. Sin embargo, las bombas sumergibles no están restringidas a impelentes de flujo mixto sólomente. El amplio rango de aplicaciones, que más adelante se expondrá, han definido el diseño tanto como de impulsores de flujo mixto, como de impulsores de flujo axial. En bombas más grandes de varios pasos y cuando el empuje axial es crítico para la chumacera de la bomba, se incluye la posibilidad de tener impelentes de doble succión.

2.2.1. Bombas de impelentes de flujo radial

La figura 1 muestra un arreglo típico de bombas sumergibles con impelentes de flujo mixto. La figura 2 muestra una bomba sumergible de flujo radial y pasos múltiples con doble succión. Como se puede ver de estas dos figuras, el líquido a bombear, entra, entre el cuerpo de impulsores y el cuerpo del motor.

Materias extrañas son filtradas por el filtro que se encuentra entre estas dos partes. El diseño de este tipo de bombas, normalmente es de pasos múltiples.

Las carcasas están radialmente bipartidas con el difusor integrado, ya sea por fundición ó insertado. La flecha tiene cojinetes entre cada paso de la bomba, así como en la succión y en la descarga. Los materiales de fabricación son normalmente hierro fundido ó bronce para las carcasas, bronce para el impulsor y acero inoxidable para la flecha, aunque es posible elegir otros materiales, dependiendo de la aplicación específica que se le vaya a dar a la bomba, dependiendo del líquido a bombear.

2.1.2. Bombas de flujo mixto.

El diseño general de esta bomba es semejante al de la radial antes descrito.

2.1.3. Flujo axial ó bombas de propela.

Existen dos diseños disponibles. El primer diseño es semejante al descrito anteriormente, el segundo es como el que se muestra en la figura 3 y su aplicación es generalmente para el control de inundaciones, drenaje ó semejantes, siendo las bombas hasta de 24" de diámetro.

2.2. Motores sumergibles.

El diseño básico, como se muestra en la figura 4, de los motores sumergibles permanece invariable para toda la gama de potencias. Los motores son llenados con agua potable. Sólomente se puede notar diferencias pequeñas en el diseño general del motor en sus partes de enfriamiento y en el estator.

El relleno con agua potable fué seleccionado por las siguientes razones :

El agua como enfriamiento es un excelente medio de transferencia de calor. Disipa el calor rápida y eficientemente, evita puntos aislados calientes y mantiene a los embobinados frescos. Este hecho toma más importancia cuando se trata de motores de potencias altas, donde el área de transferencia de calor es menor en relación al calor generado.

Algunos diseños de motores tienen un sistema interno auxiliar de recirculación para proveerlos de mejor enfriamiento.

En cuanto a la eficiencia se refiere, hay dos factores que influyen especialmente:

- a) El claro entre el rotor y el estator.
- b) La viscosidad del líquido que envuelve al rotor. Las pérdidas por fricción son directamente proporcionales a la viscosidad. De lo cual podemos concluir que el agua es mejor que el aceite, ya que genera menos pérdidas.

Para motores de gran tamaño en servicio continuo, el consumo de potencia es muy importante factor económico.

Por esto, las eficiencias merecen una atención muy especial.

A continuación se explican brevemente las ventajas y desventajas entre un relleno con agua y una con aceite.

LUBRICACION

El argumento de que el agua no es tan buen lubricante como el aceite, es solamente una verdad a medias. A lo que nos referimos, es que si se seleccionan los materiales adecuados, siendo esta selección el producto de la experiencia y el " Know-how ", el agua es tan buena como el aceite.

Finalmente la lubricación por agua es muy simple, ya que no requiere ni filtros, ni depósitos especiales, como sería el caso de una lubricación por aceite, además el agua necesaria para rellenar al motor es algo fácil de conseguir.

SELLOS :

El interior del motor de una bomba KSB sumergible, está relleno con agua normal de la llave. El embobinado del motor está completamente rodeado por esta agua. No es necesario ningún elemento para mantener agua fuera de este compartimiento, ya que el motor está diseñado para trabajar en estas condiciones.

Diseños con relleno de aceite dependen enteramente de un sellado perfecto para prevenir el agua del exterior entre al motor. Otros diseños hacen uso de envases de acero inoxidable para aislar el embobinado del agua. Pero - tanto el sello mecánico como el envase pueden fallar ocasionando escurrimiento del agua, estropeándose así el motor.

El motor KSB relleno con agua también incluye un sello mecánico. Su primera función sin embargo, no es la de mantener el agua fuera del motor, sino para prevenir la entrada de arena ó elementos abrasivos dentro del motor. Si el sello mecánico dejara de funcionar como originalmente previsto, el motor generalmente no pierde sus condiciones de funcionamiento, no siendo así el caso de los motores llenados con aceite.

CONTAMINACION:

Motores rellenos de aceite usados para el suministro de agua, pueden contaminar al agua que se bombea, si se tienen fallas en el sello. Pero en el caso de los motores rellenos de agua no se presenta obviamente este problema .

La carcasa del estator está maquinada internamente. El laminado del estator está hecho de lámina de metal dynamoy embutidas en la carcasa del estator. Los embobinados colocados en la laminación del estator están hechas de cobre ya sea en forma sólida ó de alambre con un aislamiento de material sintético; tal como " P V C " ó " P E ", siendo este último el más apto para temperaturas altas. Actualmente existen materiales aislantes para voltajes hasta de 6 KV.

Materiales aislantes para voltajes de 10 KV y mayores, se encuentran actualmente en desarrollo. Cabe notar que la KSB introdujo el primer motor de 6 KV.

La técnica de embobinado para motores sumergibles es también utilizada en bombas para la alimentación de calderas. Estas bombas han demostrado su confiabilidad en múltiples aplicaciones. Motores de 6 KV y con potencia de salida hasta de 3300 HP, están dentro del programa de fabricación normal. Para motores mayores de 3300 HP se requiere de aislamientos muy especiales, ya que su alimentación es de 10 KV. Este aislamiento está todavía en vías de perfeccionamiento.

Los extremos del embobinado están soportados de tal manera que no llegan a rozar con las carcacas de baleros. Baffles de hule colocados en la parte inferior de la carcasa determinan la posición de los embobinados.

Las ranuras donde se van a colocar los embobinados del estator van previstas con una laminita protectora, lo cual facilita y protege la colocación de los embobinados y a su vez ya estando en servicio el motor, se disminuye la posibilidad de que por fricción se estropee el aislamiento.

Las flechas están soportadas por dos baleros. Los bujes guías están hechos de bronce y en bombas de mayor tamaño el metal está impregnado con grafito, procurando darse en los dos casos un maquinado muy fino.

La flecha del rotor del motor soporta al laminado del rotor, siendo estas láminas de material Dynamo. El rotor contiene además barras y anillos en corto circuito. Las conexiones en corto circuito están cobrizadas. Un anillo de bronce se coloca detrás de cada anillo en corto circuito para facilitar el balanceo del rotor.

El empuje axial de la bomba está soportado por una chumacera tipo Kingsbury.

La cara del anillo de empuje está cubierta por una capa muy delgada de material sintético. El empuje admisible para este material, es de 420PSig para motores de 2 polos, ya sea de 50 ó 60 cps. y de 280 psi para motores de 4 polos igualmente de 50 y 60 cps.

Al fondo de la carcasa de chumacera se localiza un diafragma de hule. Esto tiene su razón, ya que es el compensador de expansión del agua de enfriamiento del motor y evita la formación de presiones al elevarse la temperatura del motor.

3.- HISTORIA DE SERVICIO Y MANTENIMIENTO

El número de bombas sumergibles en servicio es innumerable. Para dar un ejemplo tenemos un cliente que tiene 2000 bombas sumergibles en servicio, cuya totalidad requiere 360 MW de potencia a la entrada, que nos resulta por unidad aprox en 250 HP. Las bombas más grandes instaladas por este cliente son de 6KV de 2200 HP, y cuya velocidad de operación es de 1500 rpm. Estas quizás son las bombas sumergibles más grandes del mundo.

A través del tiempo se han logrado mejoras en el diseño de este tipo de bombas, lo cual se refleja en el servicio que llega a ser hasta de 60,000 horas por equipo. Naturalmente que la vida útil de estas bombas está dado por el líquido que se bombea, contenido en sólidos y otros factores. En este sentido las bombas sumergibles no difieren grandemente en su diseño comparadas a las llamadas de pozo profundo (tipo turbina). Como hemos visto anteriormente el motor no se ve afectado grandemente por la calidad del agua bombeada. Para citar el ejemplo del cliente antes mencionado, las bombas con motores de 6 Kv y potencias de 1100 HP, han estado en servicio por 45,000 horas. Este motor nunca ha sido reparado y todavía está en servicio. Generalmente se recomienda una revisión periódica de los motores cada 3 años, así como del aislamiento, el nivel del agua del motor, profundidad del agua en el pozo y condiciones de carga de la bomba. También se recomienda la medición del voltaje y corriente, cada 3 meses.

El historial acumulado en estas revisiones periódicas, nos informa de una manera excelente las condiciones, tanto del pozo, como del servicio propio de la bomba y nos da un lineamiento para el mantenimiento del equipo.

4.- Aplicación de las bombas sumergibles

La aplicación de las bombas sumergibles, varía desde el servicio público, hasta para usos domésticos en aprovisionamiento de agua, también en la industria y en la minería (drenaje de minas), drenaje de la tierra, desalajamiento de agua para propiciar excavaciones secas, bombeo de gasolina, aceite y gas líquido, y otros.

A continuación damos ejemplos de las aplicaciones que tienen estos equipos.

4.1. - Utilización de bombas sumergibles en la minería a campo abierto.

Para este campo de aplicación se utilizan bombas de fabricación normal así como algunas de diseño especial, ver figura 2.

Esta bomba es de doble succión con 11 pasos y trabaja a 1480 rpm. Sus condiciones de trabajo son 1000 m³/h con una carga de 350 m.

La figura 5 muestra las curvas características de la bomba con una eficiencia máxima de 80%. Una instalación típica se muestra en las figuras 6 y 7.

La bomba más grande de este tipo, nos proporciona un gasto de 1800 m³/h y una carga de 270 m.. El motor de 6 KV entrega 2150 HP. Esta bomba se muestra en las figuras 8 a 12.

4.2.- Minería bajo tierra

En las minas de carbón se utiliza este tipo de bombas para drenar el agua que se acumula en los túneles de excavación.

Dependiendo de la profundidad del nivel de la mina donde se encuentra la bomba sumergible, éstas bombearán directamente a la superficie ó a un cárcamo recolector del cual se rebombeará a la superficie. Ver figura 13.

Aquí, el agua acumulada en el 4^o piso de las minas de "REDEM" del conjunto minero " SAAR " es bombeada al 2^o piso a través de dos bombas sumergibles y de ahí nuevamente bombeada por medio de equipos convencionales hacia la superficie.

Las ventajas del drenado en minas bajo tierra utilizando bombas sumergibles en lugar de sistemas horizontales convencionales, son las siguientes:

- a).- Ahorro considerable en cuanto al personal de servicio, ya que no se necesitan cuartos ni fundamentos especiales para las bombas.
- b).- Sumergencia completa garantizada.
- c).- No hay problemas de succión.
- d).- Un sistema 100% a prueba de explosión .

La figura 14, nos muestra una bomba sumergible que bombea 260 m³/h, de agua sucia y agresiva a 220 m. Su eficiencia es de 30% y la eficiencia del motor 86%. El voltaje es de 500 y su velocidad 2935 rpm.

4.3.- Bombas sumergibles para el manejo de aceite crudo, subproductos de éste y gas líquido.

El almacenamiento subterráneo de aceite crudo, derivados del petróleo y gas líquido, cobra cada vez más importancia ya que ofrece ventajas económicas notables al compararlas con el almacenamiento tradicional en tanques, además de sus ventajas propias por su alta seguridad ya que se minimizan los peligros de explosión y contaminación ambiental.

Este tipo de almacenamiento se prefiere para productos como petróleo, aceite diesel, aceites combustibles, gasolina y gas líquido (propano y butano). Este procedimiento es utilizado por refinerías, plantas eléctricas y la industria militar. Las cavernas pueden ser minas abandonadas ó cavidades grandes hechas en minas de sal. Aunque la mayoría de este tipo de almacenes se logra por la perforación directa en roca masiva.

Este procedimiento nuevo ha tenido éxito en los países escandinavos, ya que disponen ellos de un subsuelo rocoso.

En la figura 15, vemos un arreglo típico de 4 excavaciones en una mina de sal cerca de Rustringen Alemania, Federal.

En la figura 16, se muestra una excavación directa en roca.

La figura 17, muestra un acercamiento a las bombas en esta caverna.

El aceite por tener un peso específico menor que el agua, flota sobre ésta, que es la acumulación de derrames internos de la caverna y la cual se concentra en el fondo de la misma. El nivel del agua es controlado por medio de pequeñas bombas sumergibles evitándose así su inclusión en el bombeo del aceite almacenado.

4.4. Abastecimiento de agua

La aplicación que vemos en la figura 19, es una de las tantas que tienen las bombas sumergibles. Dos bombas sumergibles elevan agua desde un lago hasta la fábrica de papel " Alexander Forest " de la división de papel de la fábrica Mackenzie Pulp. Las bombas están colocadas horizontalmente en un fundamento incluido en el suministro del equipo, a una profundidad de 20 m bajo el nivel del agua.

La fábrica KSB suministró las unidades completas. La instalación de este equipo fué realizada por un grupo de buzos.

Los datos de estas bombas son : Gasto 1800 m³/h, Carga Dinámica 70 m., a una velocidad de 1770 rpm., y potencia de 650 HP.

4.5. Bombas sumergibles para prevención de incendios.

Las bombas sumergibles se usan con frecuencia como bombas contra incendio.

Se usan mucho en los puertos navales permanentemente sumergidas. Grandes instalaciones de este tipo se encuentran en Hamburgo y Rotterdam. Las ventajas de estas bombas en estos sitios son el que no se atascan por el hielo que se forma en la superficie del agua en invierno, lo cual las hace disponibles en todo tiempo.

4.6. Estaciones Booster

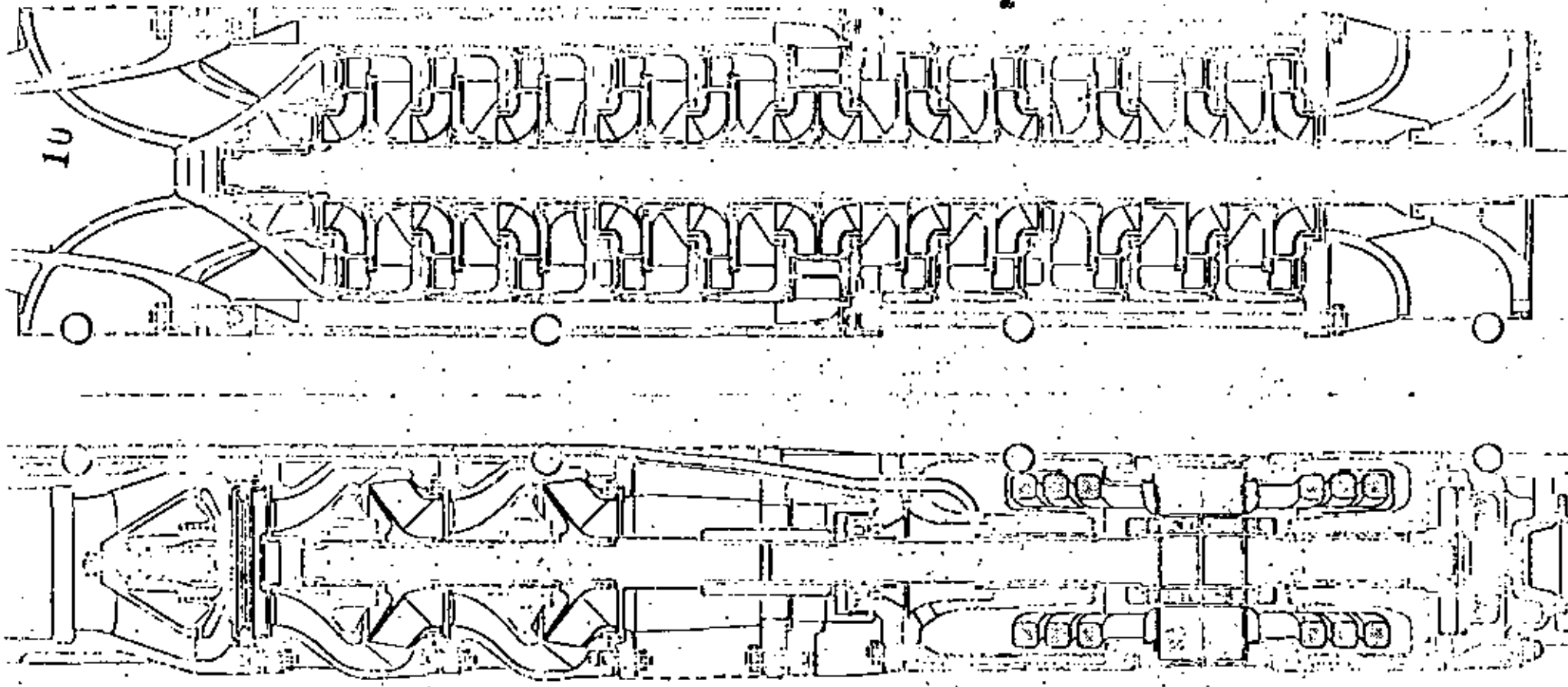
La demanda de este tipo de estaciones va en incremento. Nuestra casa matriz fabrica una diversidad de modelos de estaciones booster entre las cuales algunas van equipadas con bombas sumergibles. La figura 20 muestra 3 de estas estaciones. La presión de descarga se mantiene independiente de la presión de entrada. La ventaja de estas unidades, es que casi no necesitan mantenimiento y el nivel del ruido producido es muy bajo. Tampoco hay escurrimientos debido a juntas defectuosas ó fallas de sellos mecánicos, lo cual sucedería con una bomba común y corriente. En pocas palabras es un sistema listo para conectarse y trabajar, haciendo falta únicamente la instalación en la tubería.

5. Por qué usar bombas sumergibles ?

Vamos a resumir brevemente las ventajas de las motobombas sumergibles.

El problema que hemos querido resolver, es el de elevar agua evitándose las inconveniencias en la succión. Las bombas sumergibles nos solucionan este viejo problema de una manera óptima. Las bombas de pozo profundo han dominado el campo del bombeo desde grandes profundidades y con ello han almacenado gran experiencia en este tipo de operaciones, la cual se ha analizado para ser competitiva a la bomba sumergible. A continuación enlistamos las propiedades de la bomba sumergible que la hace elegible para la aplicación en pozos profundos :

Inversión inicial baja.
Definitivas ventajas económicas generales.
Operaciones de mantenimiento y reparación reducida.
Alto nivel de adaptabilidad.
Ahorrador de espacio en áreas muy pobladas.
Protegida contra elementos dañinos exteriores ó vandalismo, etc.
Sin problemas en la succión ó pérdida del cebado.
Adaptable aún en pozos fuera de la vertical.
Extremadamente silenciosos y libres de vibraciones.
Profundidad de instalación virtualmente sin límite, es decir el límite es la curva característica de la misma bomba.



10

Fig. 2

Fig. 1

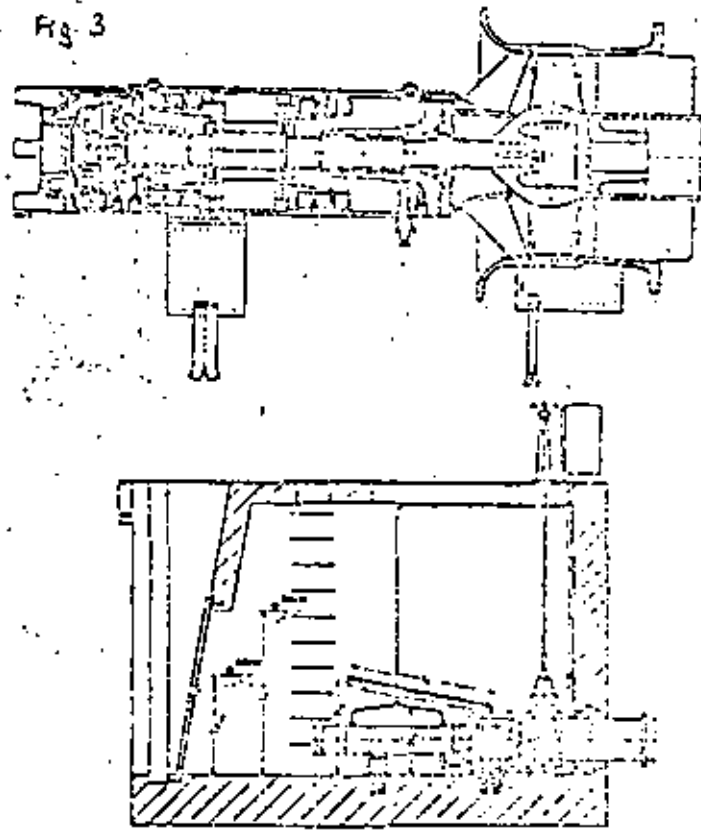
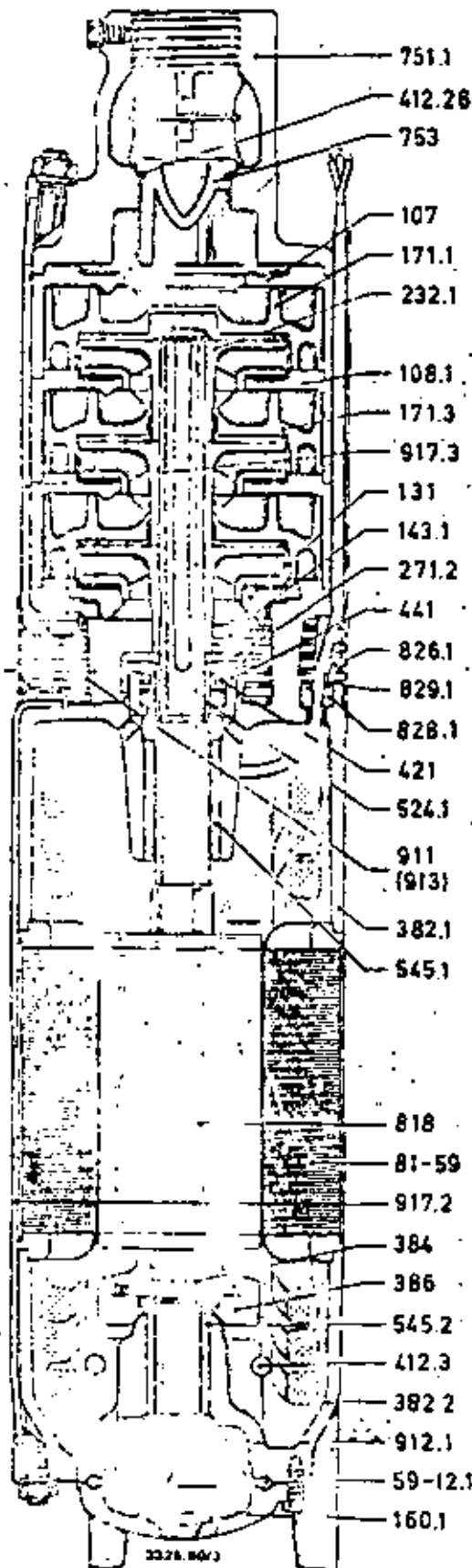


Fig. 3

Fig. 3



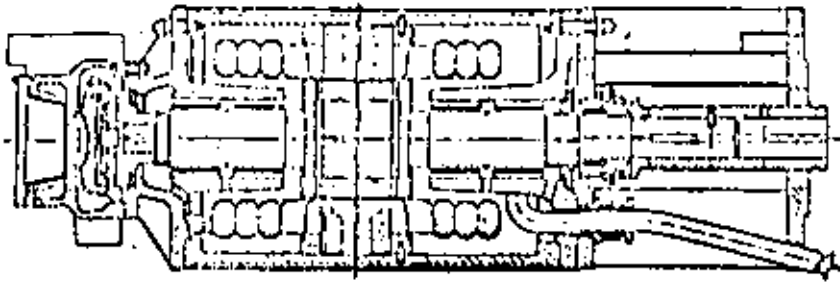
Teil Nr.	Benennung
59-12.1	Membrane
81-59	Stator
107	Druckbehälter
108.1	Stufengehäuse
131	Einlauftring
143.1	Saugstab
160.1	Deckel
171.1	Leitrad
171.2	Leitrad
232.1	Rechtslaufrad
271.2	Sandblocke
382.1	Lagerkörper
382.2	Lagerkörper
384	Axiallagersteller
386	Axiallagererring
412.28	Runddichttring
412.3	Runddichttring
421	Radialdichttring
441	Gehäuse für Wellendichtung
524.1	Wellenschutzhülse
545.1	Lagerbuchse
545.2	Lagerbuchse
751.1	Ventilgehäuse
753	Ventilkugel
818	Rotor
826.1	Kabelstößbuchse
828.1	Kabelgummiring
829.1	Kabeldruckring
911	Füllschraube
912.1	Entlüftungstopfen
913	Entlüftungsschraube
917.2	Bandanker
917.3	Bandanker

Fig. 4

Abdichtung der Gehäuseteile gegeneinander durch: Taronen.

Bei Verwendung des Apparates in einer Hauswasseranlage mit automatischer Beaufschlagung des Druckbehälters durch unter Beaufschlagventil in der Steigrohrleitung muß der Ventilkugel (753) ausgebaut werden.

Bei Ersatzteilbestellungen sind unbedingt anzugeben: Pumpentyp, Motortyp, Waage-Nummer, Benennung der Teile, Teil Nummer, Stückzahl, Versandart.



Stromart: Drehstrom 50 Hz
 Nennspannung: 6 kV
 Drehzahl: 1475 U/min
 Nennstrom: 202 A
 Nennleistung: 1500 kW
 Wirkungsgrad: 92,5 %
 Max. Durchmesser: 680 mm
 Baulänge: 3985 mm
 Gewicht: 6450 kp
 Motor wassergeföhrt, Wickelkreis kunststoffisoliert, Umkehrkühlung mittels Kühlleitrod

Bild 4

Fig. 4

Unterwassermotor

L 9.13

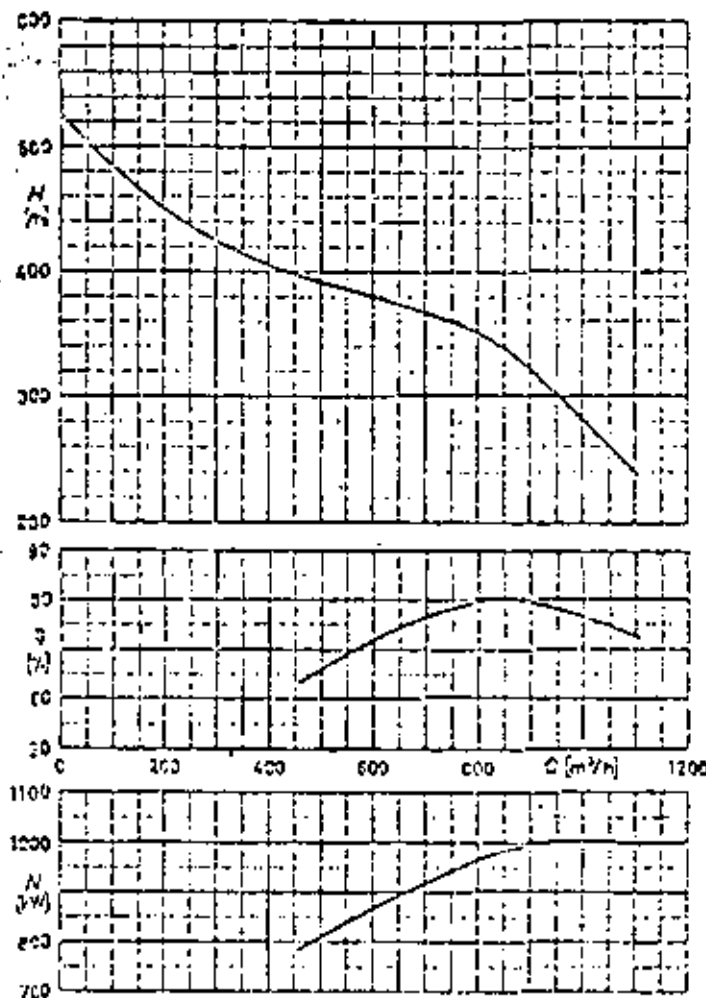


Fig. 5

INSTIT

 Kennlinie der
 DPG 554/11 $n=1400$ U/min

M 9 05

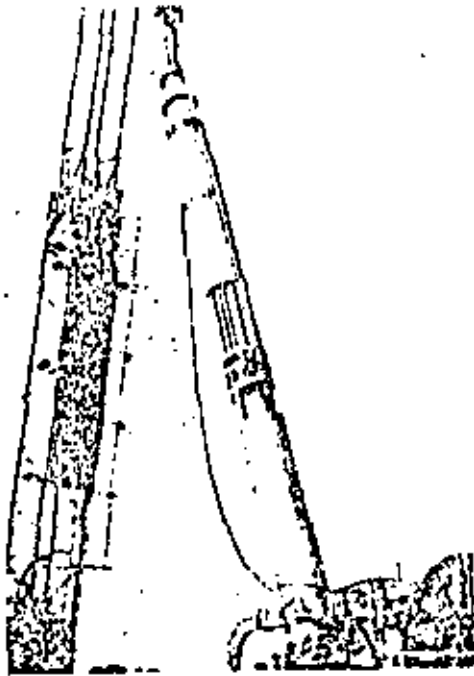


Fig. 11 a. 12

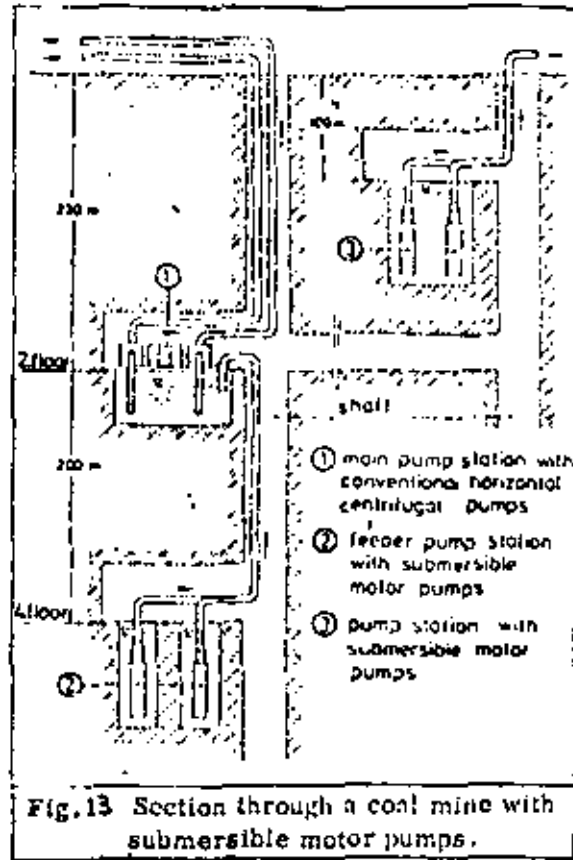


Fig. 13

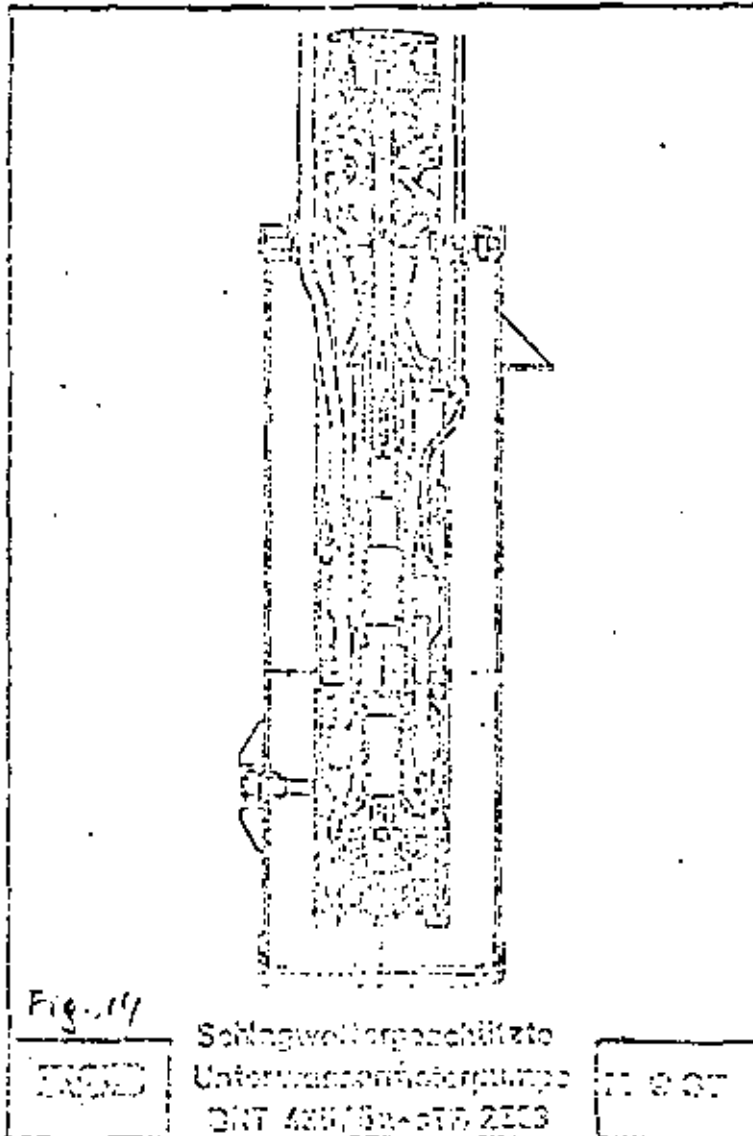


Fig. 14

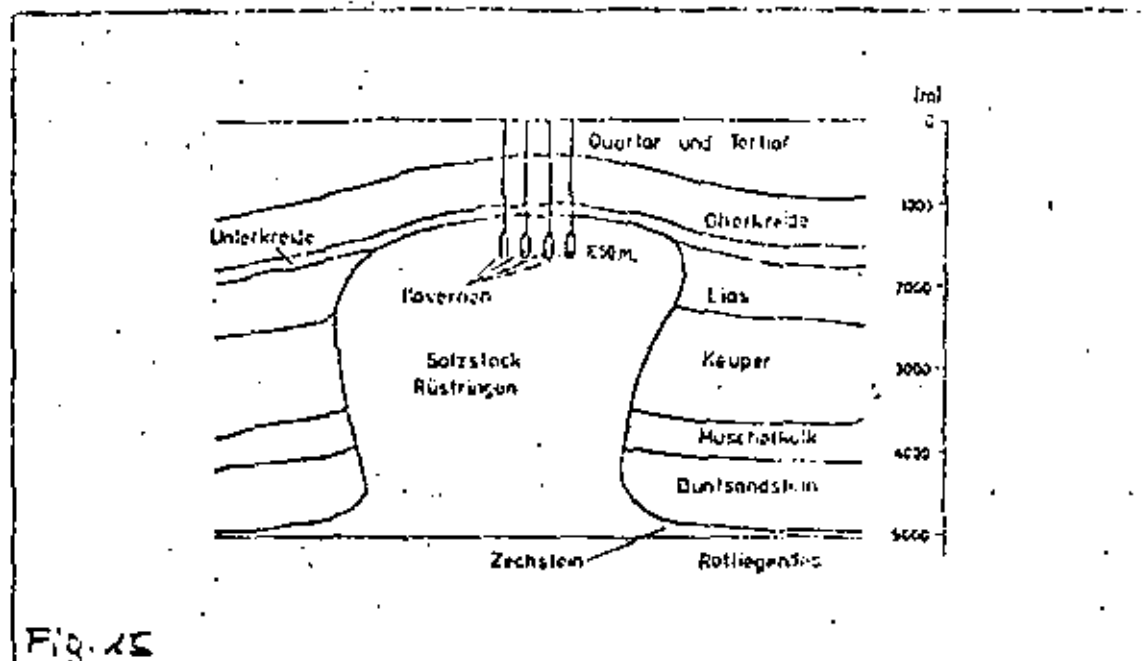


Fig. 15

KSB	Kavernenlager im Salzstock Rüstungen	M 9 11
-----	--------------------------------------	--------

Fig. 15

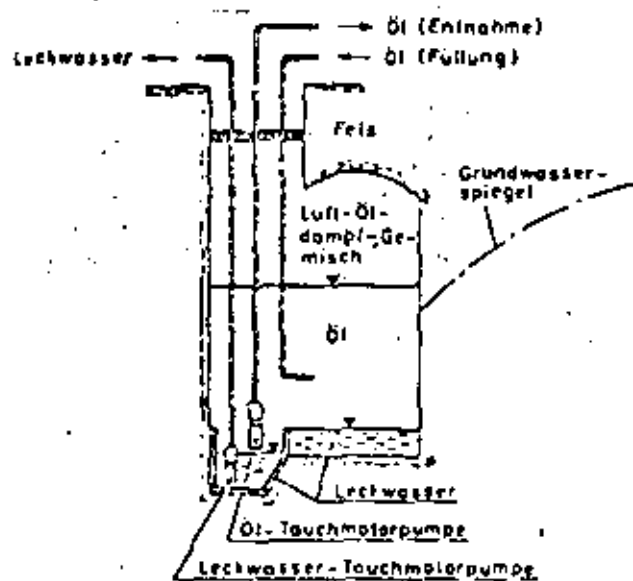


Fig. 16

KSB	Kavernenanlage mit festem Wasserbett	M 9 12
-----	--------------------------------------	--------

Fig. 16

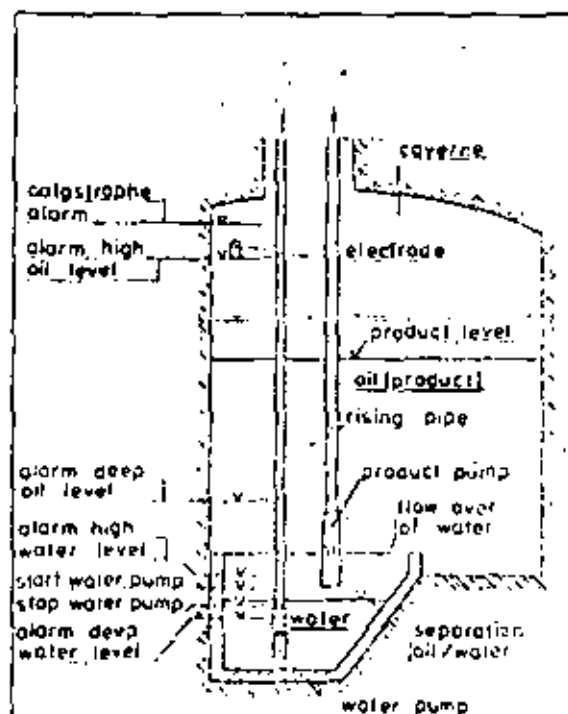


Fig. 17. Level control in a storage cavern.

Fig. 17

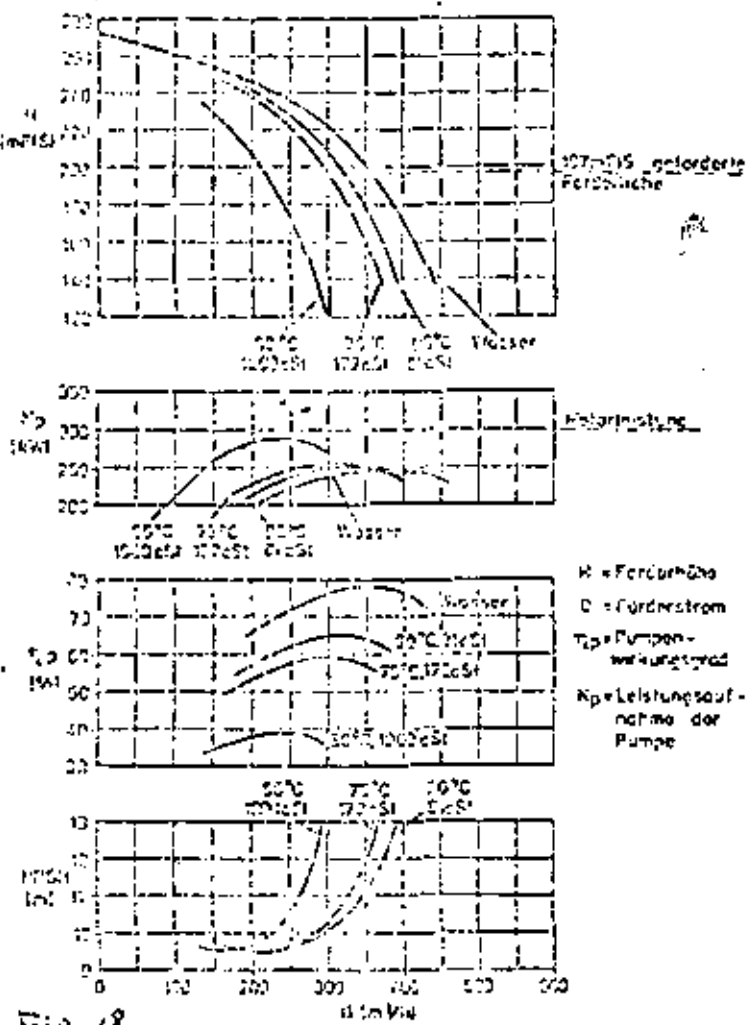


Fig. 18

107-015	DCT 466/3-VB4103	17265
---------	------------------	-------

Fig. 18



Fig. 20

Fig. 20

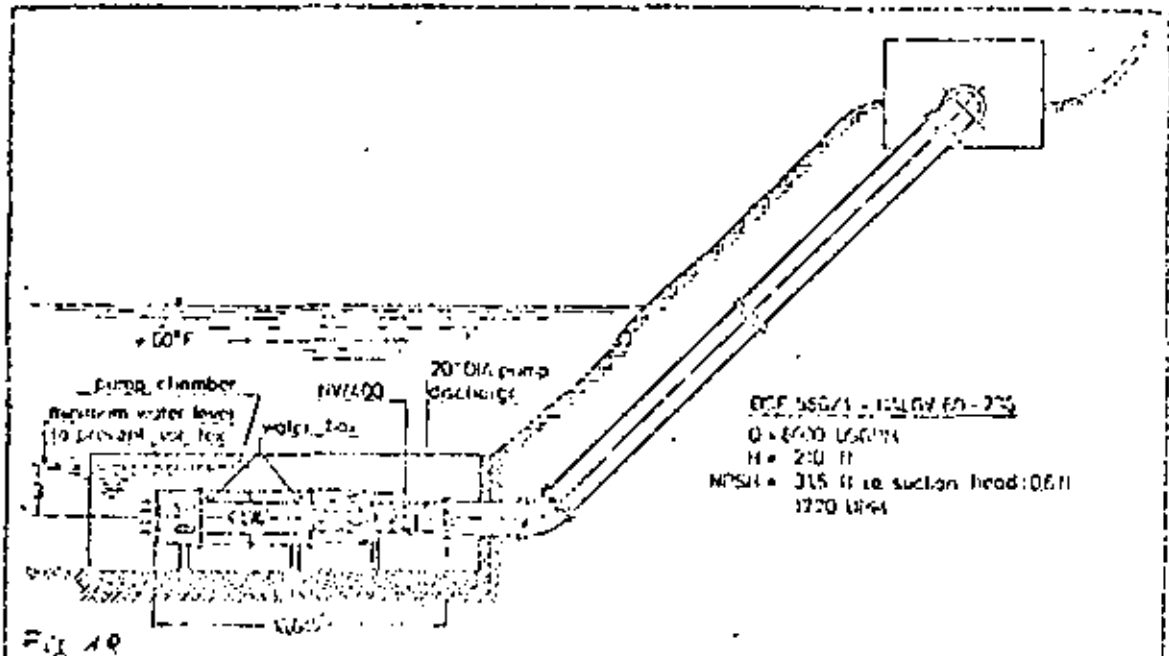
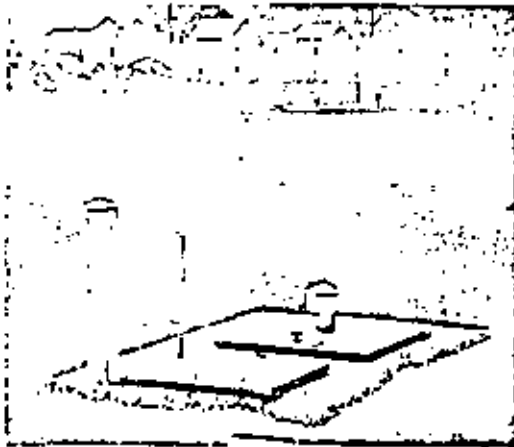


Fig. 19

107-015	Anlage Alexander Forest DCT 466/3 - UALGV 60-236	17265
---------	---	-------

Fig. 19

Motobombas sumergibles para el abastecimiento de agua potable



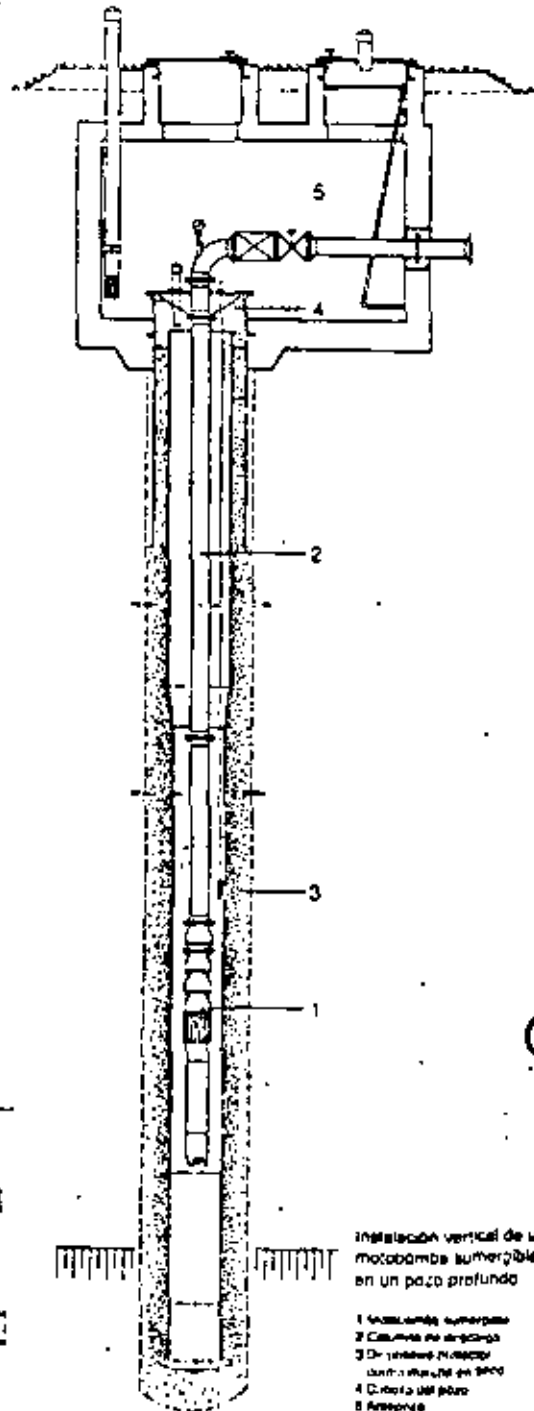
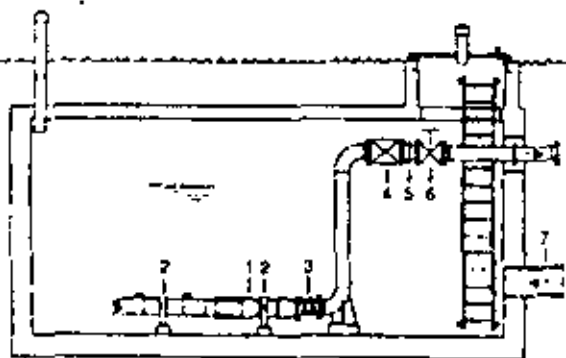
La obtención de agua es uno de los principales campos de empleo de las motobombas sumergibles. Según las características del suelo y de la veta de agua subterránea, el agua potable se bombea de diferentes profundidades:

de pozos profundos perforados o normales, de pozos o depósitos rasos poco profundos.

Las motobombas sumergibles se instalan verticalmente y en casos especiales, según el motor y la bomba, también en posición horizontal o inclinada, e impulsan el agua bien a estaciones de tratamiento o directamente a depósitos elevados o estaciones de distribución.

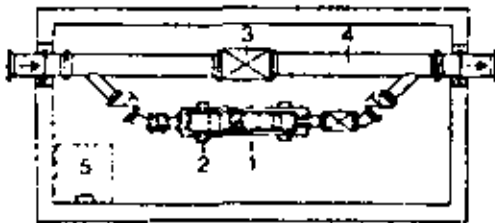
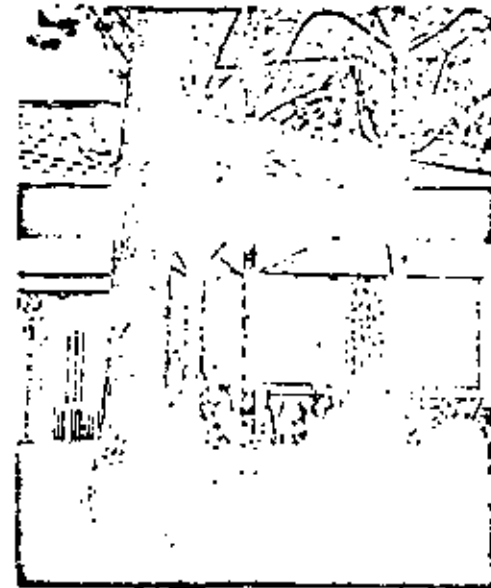
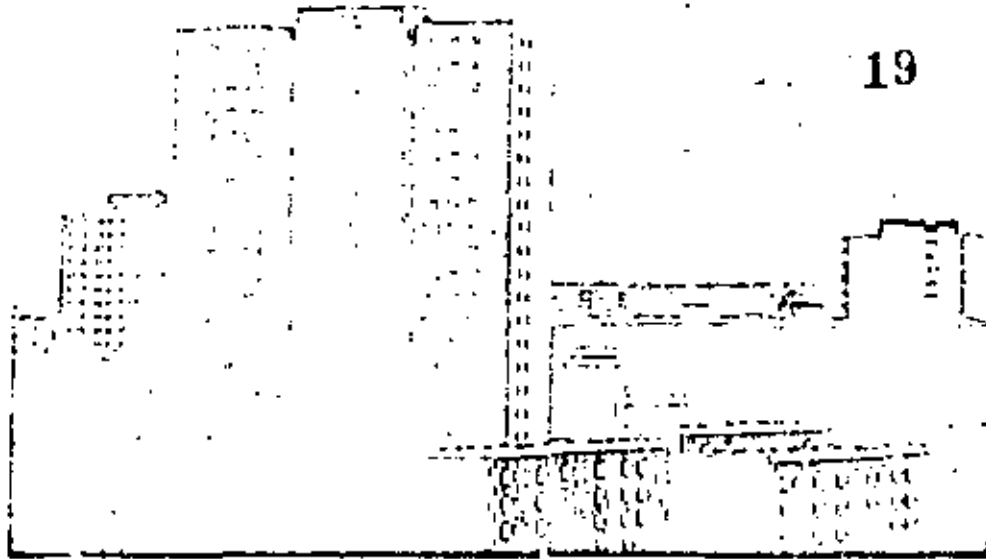
Instalación horizontal de una motobomba sumergible en un depósito raso.

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Soportes de la bomba
- 3 Pieza de compensación
- 4 Válvula de retención (flujo hacia)
- 5 Pieza de unión
- 6 Válvula de cierre
- 7 Carga



Instalación vertical de una motobomba sumergible en un pozo profundo.

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Columna de succión
- 3 Pieza de compensación
- 4 Válvula de retención (flujo hacia)
- 5 Unión
- 6 Válvula de cierre
- 7 Carga



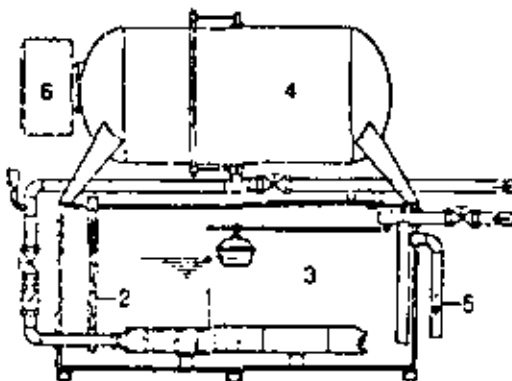
Motobomba sumergible con camisa de presión como bomba elevadora de presión paralelamente a la tubería principal de la red de distribución

- 1 Motobomba sumergible con camisa de presión (en bypass)
- 2 Soportes de la bomba
- 3 Válvula de retención (hydrostop)
- 4 Tubería de la red
- 5 Abertura para visado o montaje

Además del empleo en pozos, las motobombas sumergibles se utilizan cada día con más frecuencia como bombas para la elevación de presión.

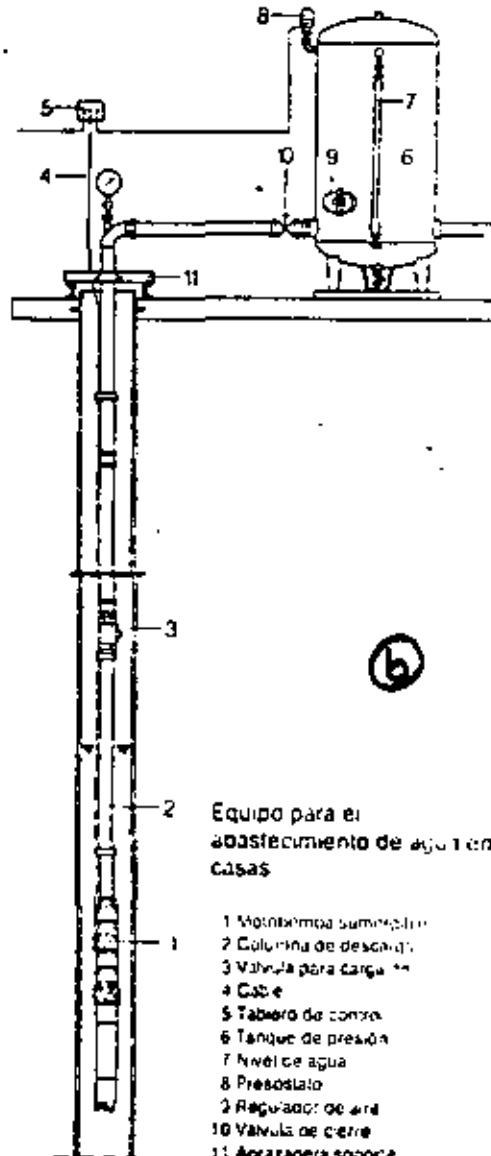
Sin grandes costos se pueden instalar horizontalmente en una camisa de presión directamente en la tubería de la red de abastecimiento o paralelamente a ella. Para la elevación de presión en edificios altos se emplean equipos compactos con motobombas sumergibles instaladas.

Si no se tiene conexión directa a la red central de abastecimiento de agua o si por motivos de economía se desea tener sistemas de abastecimiento de agua propios, entonces se emplean las motobombas sumergibles como bombas ideales para pozos profundos en conexión con un sistema automático de abastecimiento de agua. Con ellas se abastecen, por ejemplo, casas aisladas, fincas, casas de fin de semana o de cacería.



Motobombas sumergibles para la elevación de presión en equipo compacto HYAMAT UHS para conexión indirecta (según DVGW hoja W314)

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Mando por electródos
- 3 Depósito de aspiración sin presión
- 4 Tanque especial de presión
- 5 Rebosa
- 6 Tablero de mando



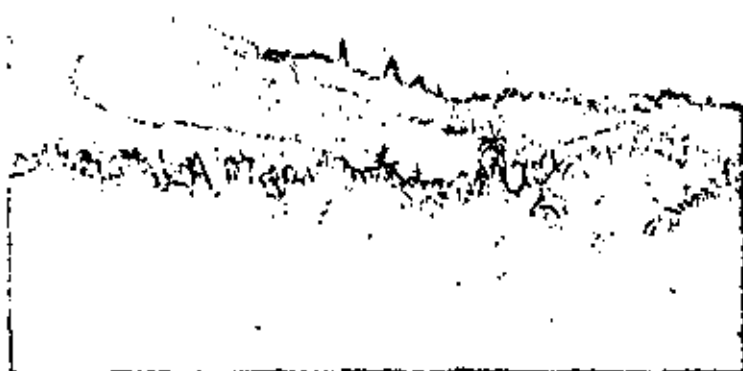
Equipo para el abastecimiento de agua en casas

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Columna de descarga
- 3 Válvula para carga en el cabe
- 4 Cabe
- 5 Tablero de control
- 6 Tanque de presión
- 7 Nivel de agua
- 8 Presostato
- 9 Regulador de aire
- 10 Válvula de cierre
- 11 Arazadora soporte

(b)

Motobombas sumergibles para el abastecimiento de aguas industriales

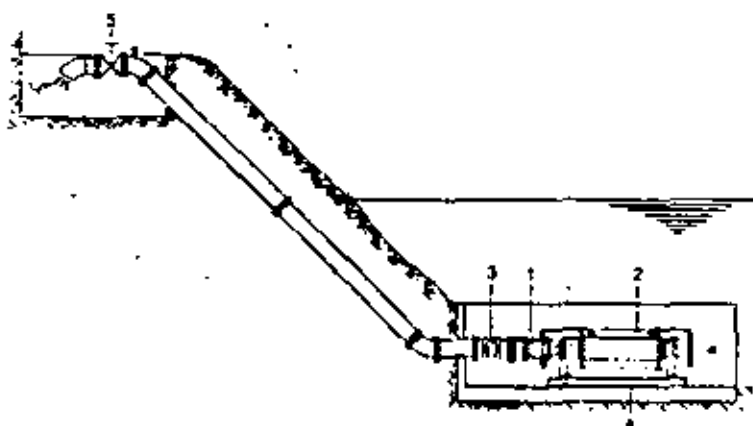
20



Si en la industria o en explotaciones agrícolas se necesitan continuamente grandes cantidades de agua como por ejemplo para riego por aspersión o si se necesita cubrir temporalmente una necesidad punta, entonces, por razones económicas, se recomienda utilizar un sistema de abastecimiento de aguas. Las motobombas sumergibles impulsan agua de pozos, lagos o ríos.

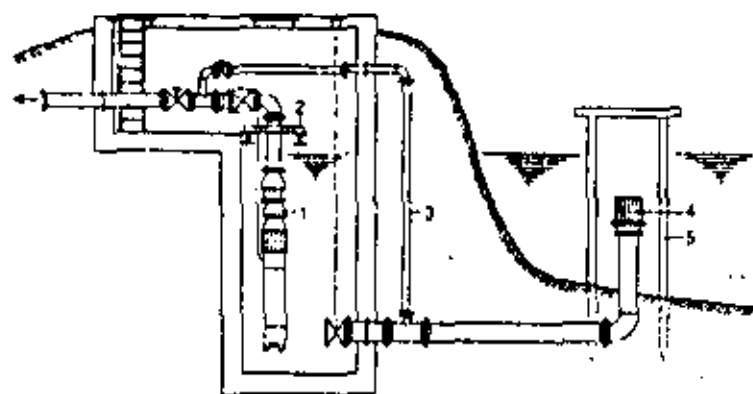
Si la presión existente en la red de abastecimiento de agua es insuficiente, entonces se utilizan equipos compactos para la elevación de presión con motobombas sumergibles instaladas como por ejemplo, para hidrantes, equipos contra incendios, equipos de perforación, equipos de lavado y equipos de acondicionamiento de aire.

También se utilizan motobombas sumergibles para surtidores y órganos de agua, ya que ellas permiten una ejecución sencilla y económica. También se utilizan con frecuencia en equipos de recirculación de agua de refrigeración.



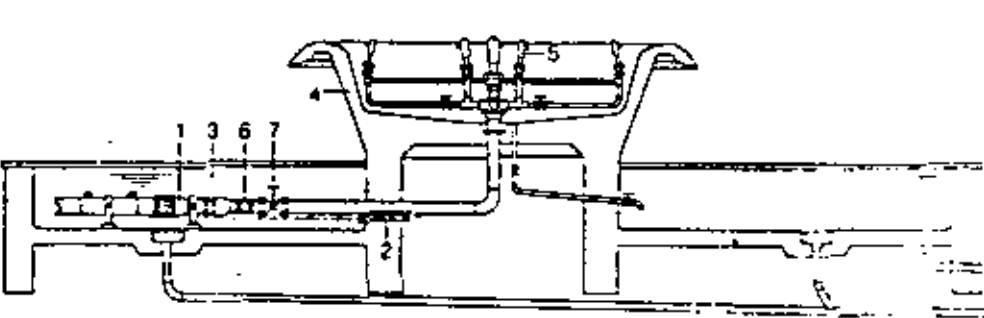
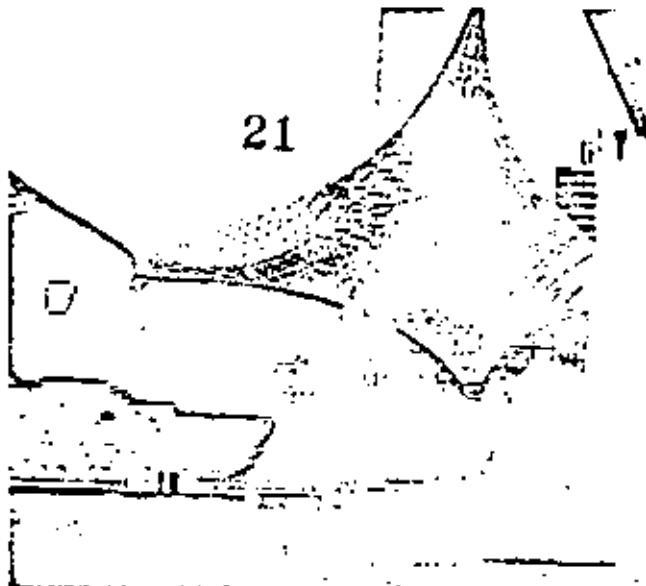
Motobombas sumergibles para la obtención de aguas superficiales de un lago.

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Tubería de aspiración
- 3 Pieza de reducción de presión
- 4 Nozzle de funcionamiento
- 5 Válvula de cierre



Toma de agua de un río.

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Abrazadera especial
- 3 Anillo a presión para el lavado
- 4 Carrete de impulsión
- 5 Escalón

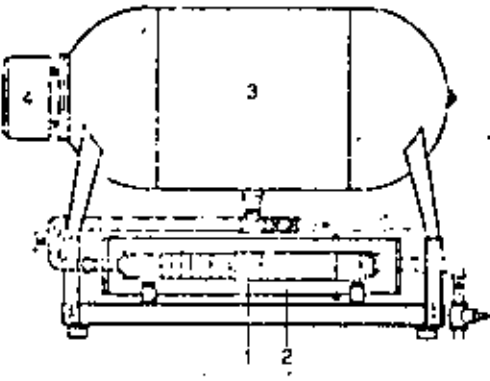


Motobomba sumergible en un surtidor

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Pasacables
- 3 Fuente rasa
- 4 Fuente del surtidor en forma de bandeja
- 5 Toberas del surtidor
- 6 Pieza de conexión
- 7 Válvula de cierre

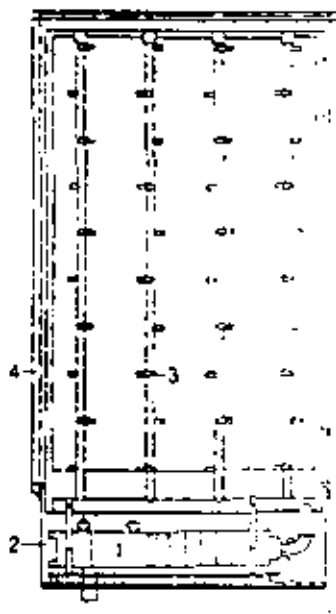
Motobomba sumergible en un armario de acondicionamiento de aire

- 1 Motobomba sumergible
- 2 Depósito de agua
- 3 Toberas excéntricas
- 4 Carcasa

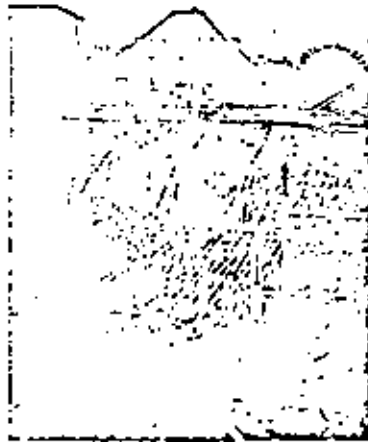


Motobombas sumergibles para la elevación de presión en un equipo compacto HYAMAT UHMS para conexión directa a la red (según DVGW hoja W314)

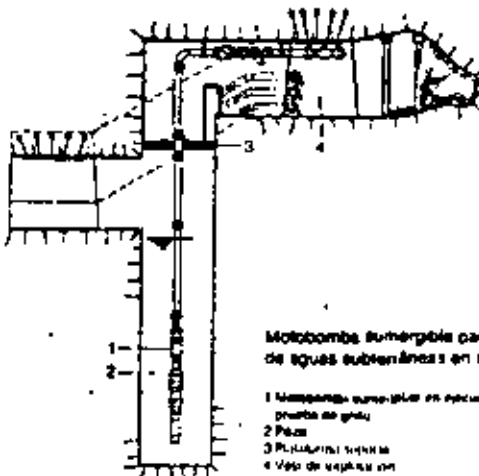
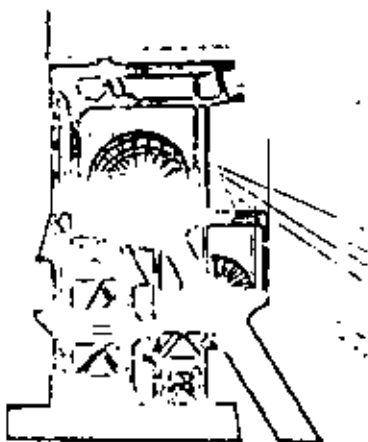
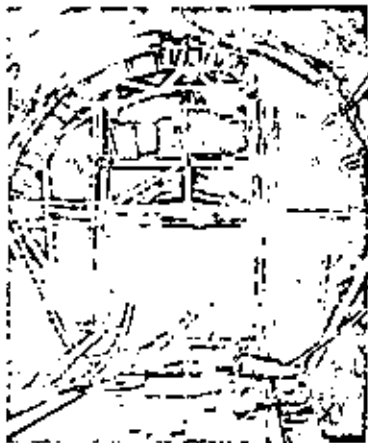
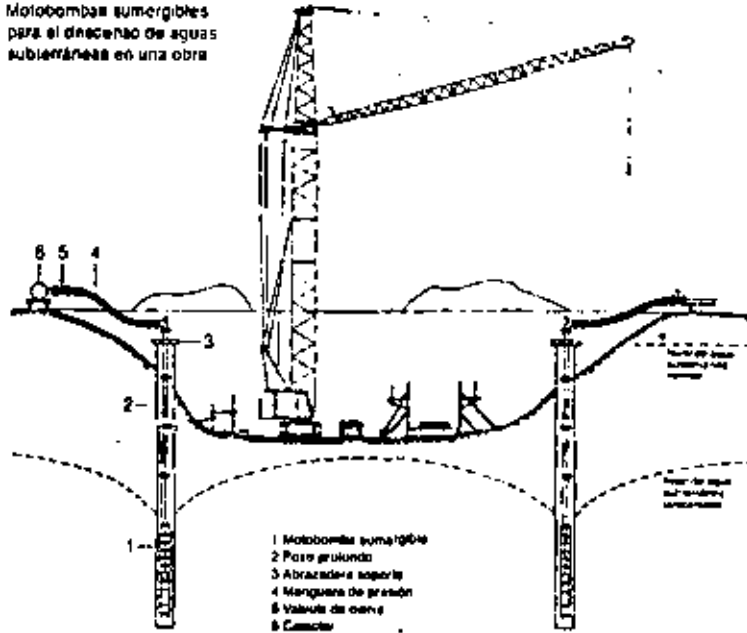
- 1 Motobombas sumergibles
- 2 Cámaras de presión
- 3 Tanque especial de presión
- 4 Tablero de control



Motobombas sumergibles para el descenso y la eliminación de aguas subterráneas

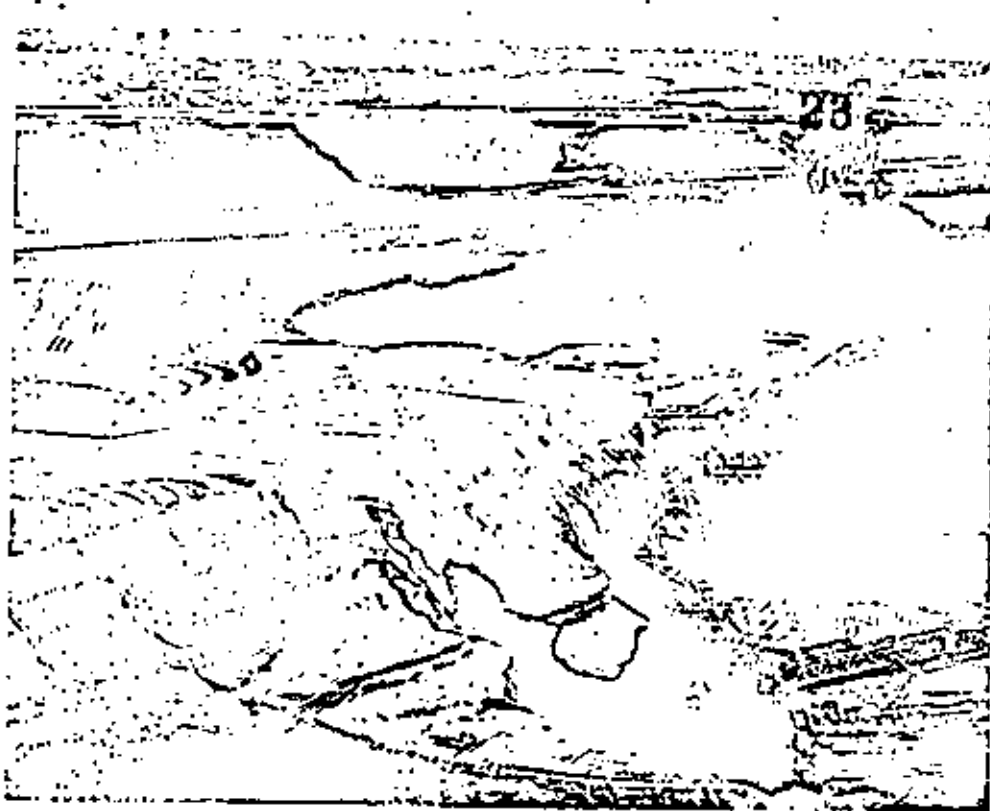


Motobombas sumergibles para el descenso de aguas subterráneas en una obra



Motobomba sumergible para la eliminación de aguas subterráneas en minas

- 1 Motobomba sumergible en ejecución
- 2 Pozo
- 3 Prolongación superior
- 4 Vaso de expansión



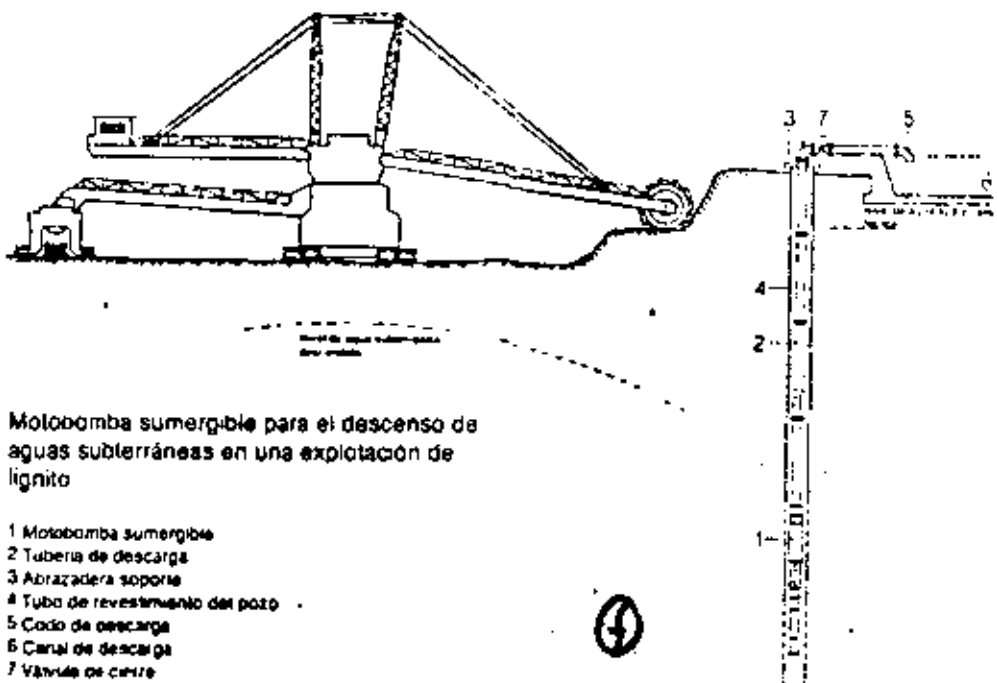
Sin motobombas sumergibles apenas se puede pensar en la posibilidad de descenso o eliminación de aguas subterráneas.

En la construcción de túneles para trenes subterráneos, para esclusas, canales y otras construcciones subterráneas se desciende el nivel de las aguas subterráneas con ayuda de motobombas sumergibles por debajo del piso de la construcción.

Las motobombas sumergibles trabajan aquí a veces bajo condiciones de servicio supremamente difíciles y con máxima seguridad de servicio y eficiencia.

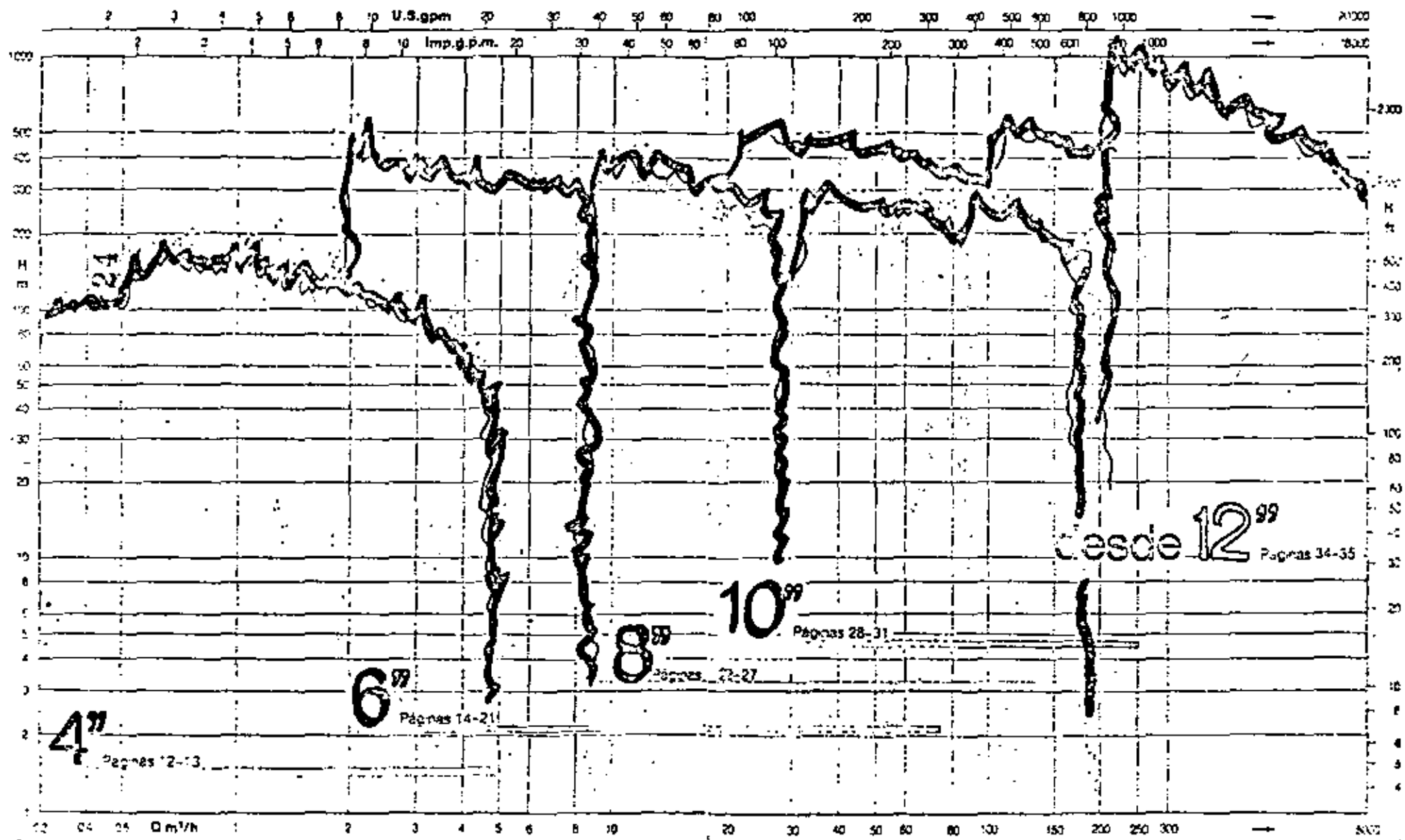
La obtención y explotación de lignito requiere que las aguas subterráneas desciendan hasta un determinado nivel mínimo de seguridad. Para ello se requieren, además de los diferentes pozos en el lugar de explotación, diferentes series de pozos por fuera de la explotación superficial, los cuales se juntan en las llamadas galerías de pozos.

Gracias a su economía, debida a la exención de mantenimiento, y a la posibilidad de control automático, se emplean las motobombas sumergibles en ejecución a prueba de grisú cada día más en minas de explotación subterránea de carbón.



Motores bombas sumergibles para 50 Hz
 presentación del programa
 de bombas

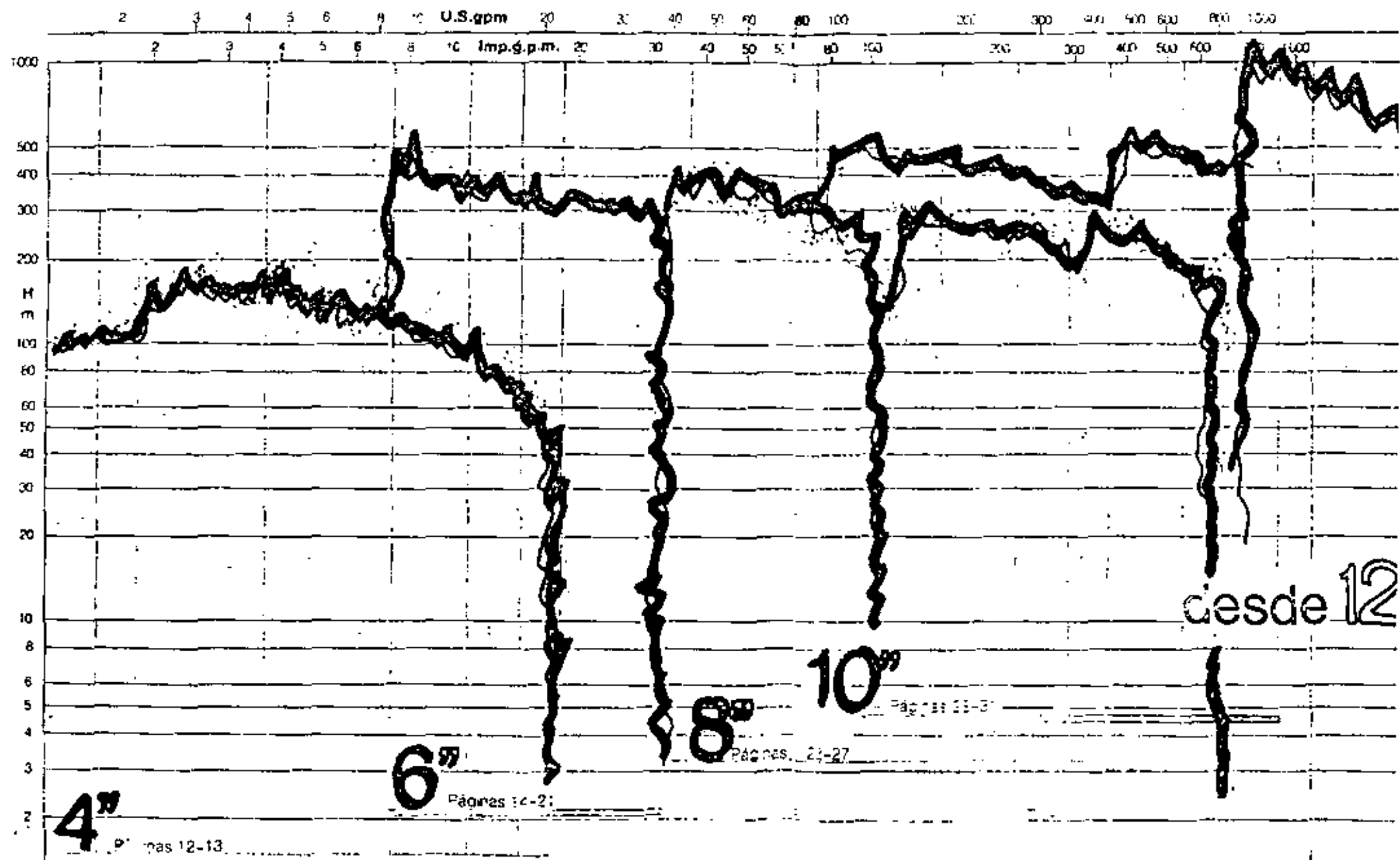
25



Motobombas sumergibles para 50 Hz

presentación del programa de bombas

25



4"

Páginas 12-13

6"

Páginas 14-21

8"

Páginas 24-27

10"

Páginas 28-31

desde 12"

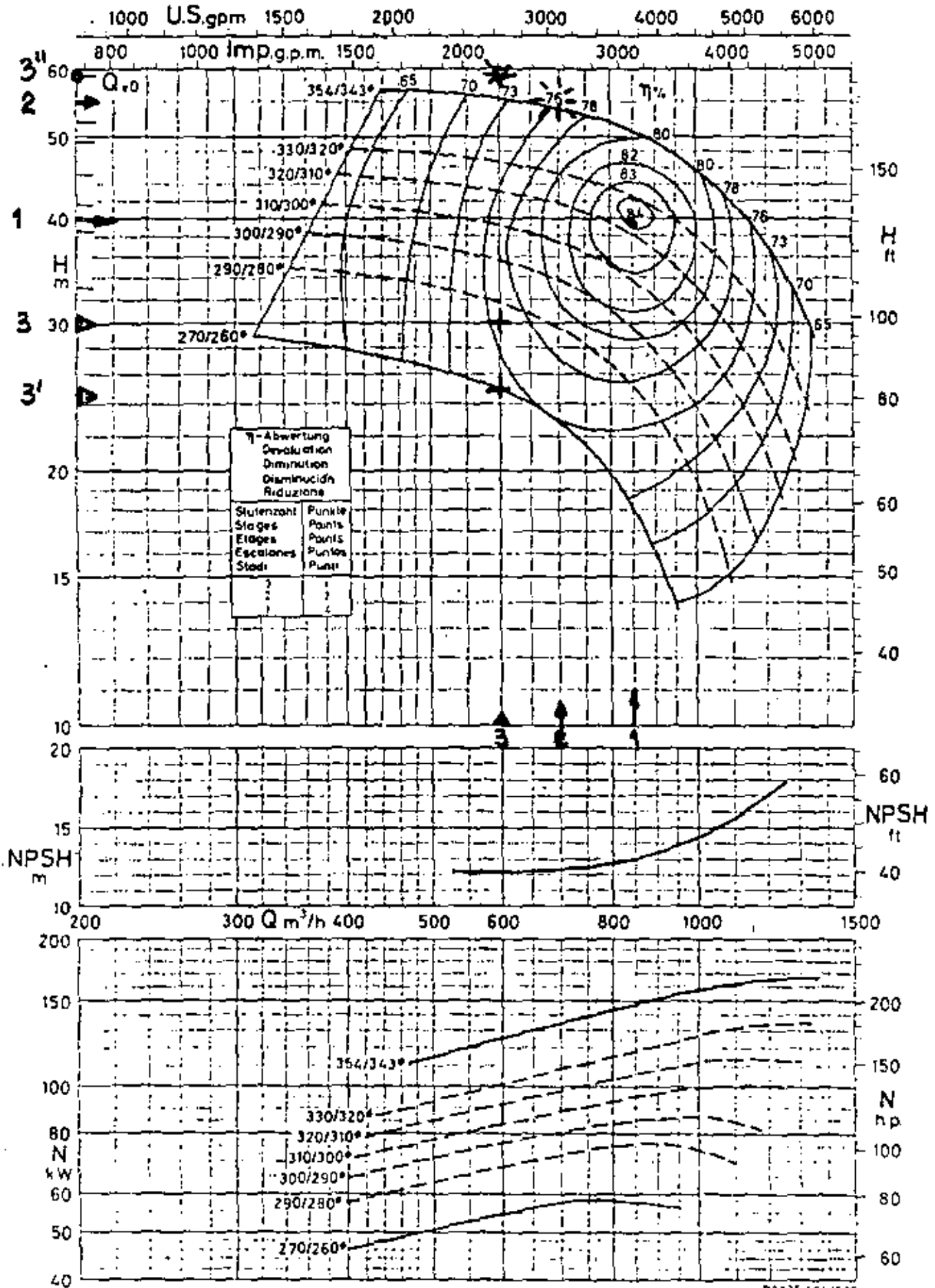
4 CRITERIOS DE EVALUACION AL ELEGIR UN EQUIPO DE
BOMBEO

- 1.- Adaptar el sistema a la bomba óptima.
- 2.- Adaptar el sistema a la bomba óptima con la elección de 2 diámetros diferentes.
- 3.- Sistema fijo, elección de bomba.
- 4.- Eliminación por el sistema fijo.

En las figuras A y B se muestran gráficamente los 4 criterios antes mencionados correspondiendo :

- 1.- Punto 1,1
- 2.- Punto 2,2
- 3.- Punto 3,3
- 4.- Punto 3,3' ; 3,3''

27

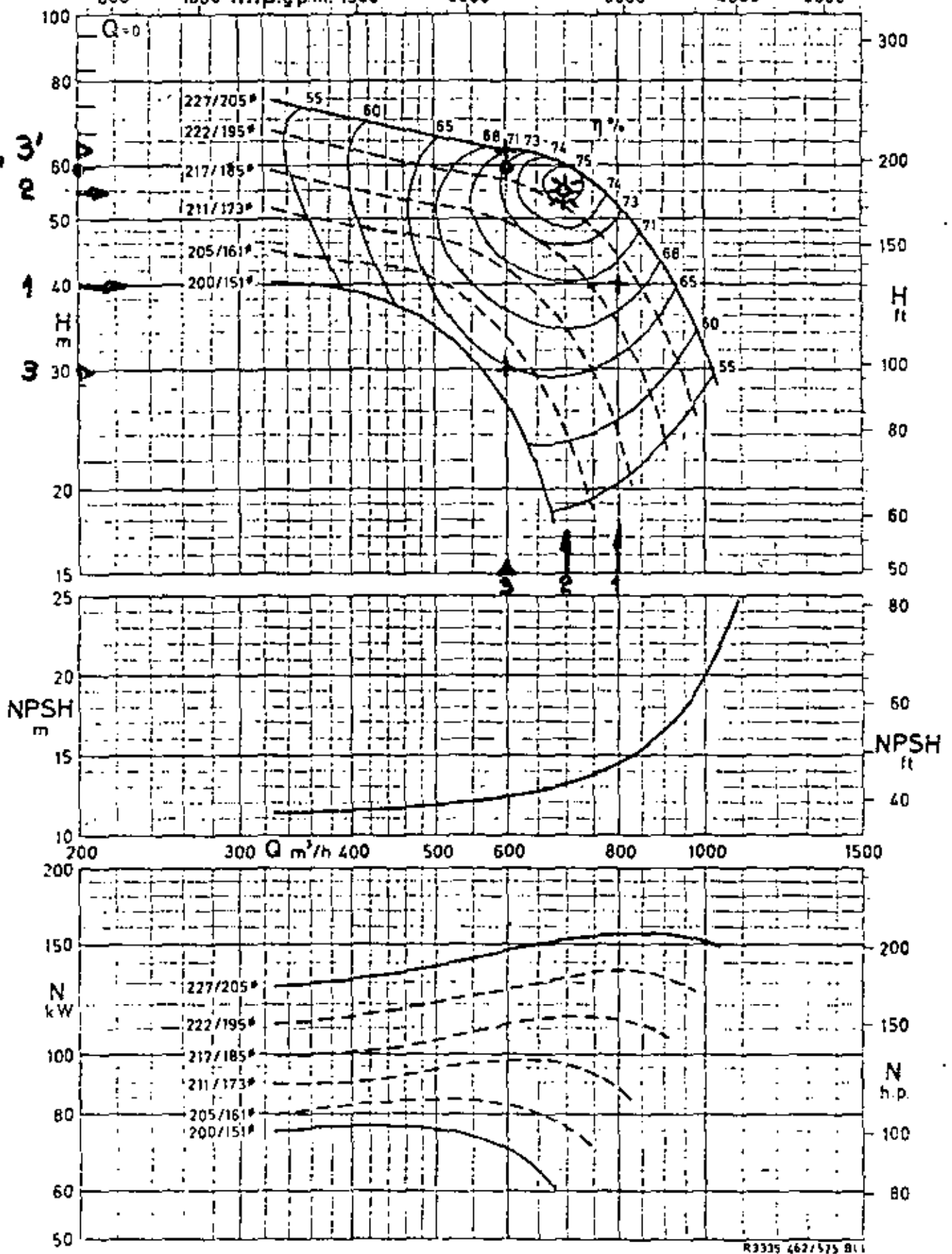


Pump single-stage - Pompe à un étage - Bomba monoescalonada - Pompe con una girante

28

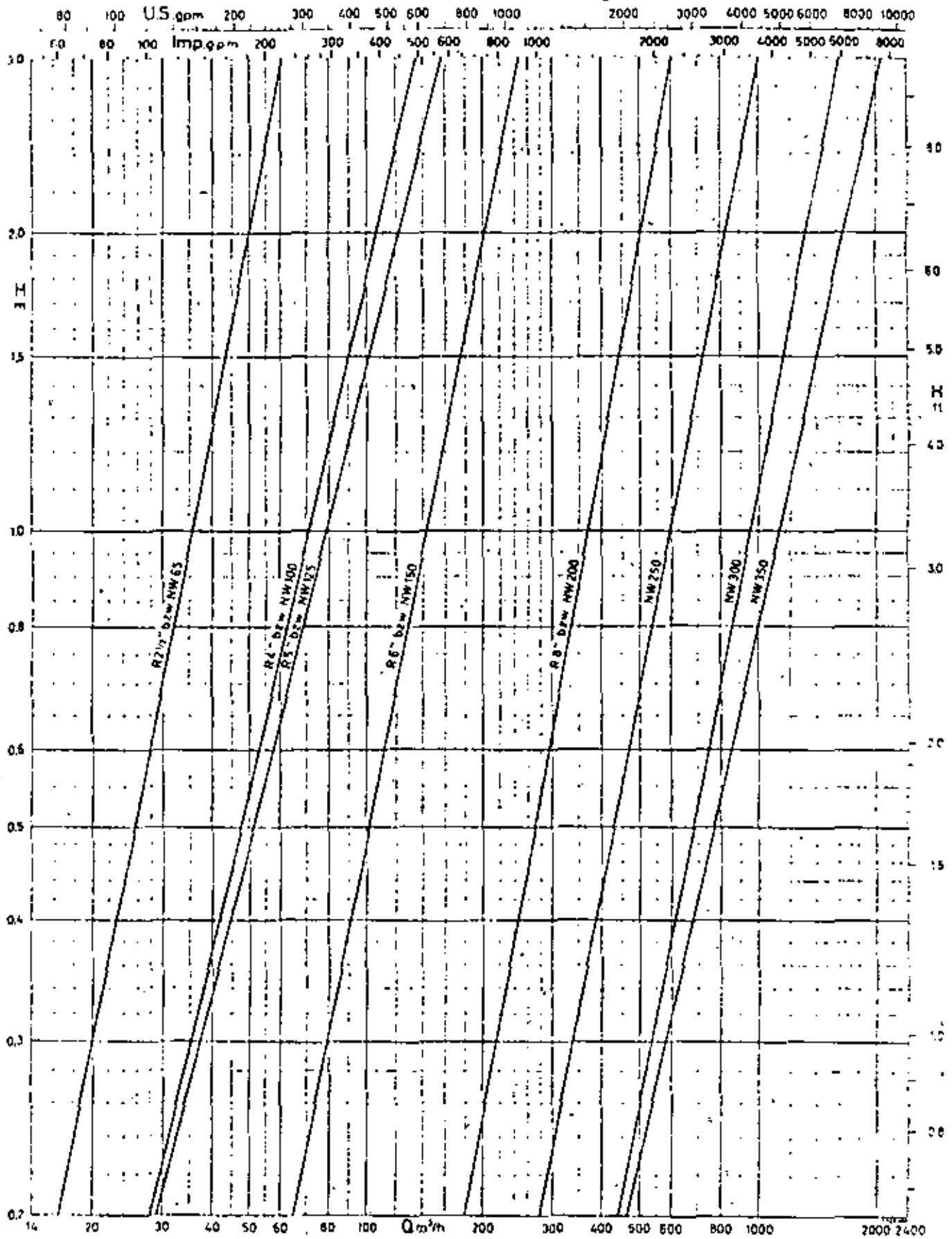
1000 U.S.gpm 1500 2000 3000 4000 5000 6000

800 1000 Imp.g.p.m. 1500 2000 3000 4000 5000



8. Widerstände in Rückschlagventilen

Resistances in the non-return valves — Pertes de charge dans les clapets de non-retour —
 Resistencias en válvulas de retención — Perdite di carico delle valvole di ritenzione





centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACIÓN DE POZOS PARA AGUA

ESTIMULACION DE POZOS

ING. JUAN JOSE ROCHA RANGEL

OCTUBRE, 1980

ESTIMULACION DE POZOS.

El término estimulación fue definido como el tratamiento mecánico, químico, físico u otro medio que cuyo propósito sea remover o reducir la resistencia al flujo del agua subterránea.

Este término fue escogido porque es el término estándar en la industria petrolera y casi todo lo que vamos a exponer se emplea o ha tenido su comienzo en los pozos petroleros. Además, los campos de abastecimiento de agua no tienen un término propio que denote estas operaciones.

Términos comparables en los pozos de agua son: desarrollo, redesarrollo, rehabilitación y reacondicionamiento.

Desarrollo generalmente significa algunos tratamientos aplicados para la terminación del pozo.

Redesarrollo es un término no muy empleado, pero significa que se efectuaron tratamientos después de algún tiempo de terminado el pozo, generalmente des-

pués que en el pozo se notó una declinación de la producción:

Algunos técnicos en agua no incluyen la reconstrucción de un pozo dentro del término estimulación, sino que solamente como se señaló el principio, son las técnicas necesarias para remover parcial o totalmente la resistencia -- del flujo de agua subterránea al pozo, sin cambiar las características constructivas.

Los trabajos de perforación por el método rotatorio en formaciones granulares siempre provocan el taponamiento de los acuíferos porque utilizan lodo para sus fines.

Una de las propiedades del lodo de perforación es la pérdida de agua. Dependiendo de la permeabilidad en la formación y de las características propias del lodo; la pérdida de agua origina que alrededor del agujero se forme una película de lodo comúnmente llamada Enjarre.

El trabajo en un buen desarrollo de pozos tendrá como primer objetivo la eliminación del enjarre -- dejado por el lodo de perforación.

El segundo objeto es incrementar la permeabilidad del acuífero en las vecindades del agujero, eliminando las partículas del lodo y productos ajenos al pozo que hayan penetrado durante su perforación, el tercer objetivo, es logra la formación de zonas de graduación de arenas, para dar el filtro adecuado y tener el pozo flu--yendo a su capacidad específica.

Existen diferentes métodos para el desarrollo de pozos de agua, nosotros veremos someramente los siguientes:

Método Mecánico.

Método Hidráulico.

Bombeo a Chorro.

Método Neumático.

Método Físico Químico..

Los cuatro métodos primeros pueden combinarse en el procedimiento físico químico.

1.- METODO MECANICO.

Agitación de las aguas del acuífero

por medio de la acción de un pistón en el interior del ademe.

Para esta operación se necesita utilizar un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe por empaques de hule o cuero, cuya finalidad es la de lograr una fuerte agitación.

La maniobra de agitación deberá iniciarse efectuando un movimiento recíprocamente al pistón, desde la parte inferior de los cedazos. Esta operación se repetirá levantando el pistón en intervalos de 10 mts. hasta la parte superior del cedazo o nivel estático del agua, si está se encuentra abajo de la parte superior del ademe ranurado o cedazo.

Muchos perforadores utilizan este procedimiento para el desarrollo de los pozos, otros al contrario, están en contra de ellos y creen que en lugar de obtener beneficios se obtienen daños.

2.- METODO HIDRAULICO.

Este método es también llamado de sobre bombeo. El agua es bombeada a alta velocidad a través de una

tubería colocada en el fondo del pozo y retornada por el ademe, su función es la de lograr una succión y hacer que el acuífero contribuya con el flujo de agua y así destapar los canales por arrastro de finos.

Una objeción para utilizar este procedimiento es el de elevar el nivel de agua hasta tener una carga hidrostática mayor que la que puede soportar el acuífero, como consecuencia, se inyectará a la formación toda la arcilla dispersa en el pozo. Aunque se varíe la profundidad de la tubería continuará inyectando el agua, introduciéndose dentro del acuífero a mayor distancia las arcillas. Posteriormente a esto, -- será demasiado difícil lograr la limpieza del pozo. Otra objeción es la cantidad de agua necesaria para lograr el bombeo.

4.- BOMBEO O CHORRO.

El bombeo o chorro de productos químicos a alta velocidad, es el método más efectivo para el desarrollo de pozos de agua.

Es relativamente simple su uso y siempre será beneficiosa su aplicación.

Este método presenta las siguientes ventajas sobre el desarrollo convencional.

Si las ranuras del cedazo se encuentran obturadas, el chiflón es correctamente ajustado para dirigir la fuerza del chorro concentrado la energía sobre una pequeña área, en esta forma, se elimina la obturación y se limpian los contornos de la formación.

Cada porción del cedazo o tubería ranurada puede ser limpiado selectivamente dando como resultado la máxima efectividad en la limpieza del ademe y de la formación.

La acción de la velocidad de los chorros, trabajando separado a través de las ranuras del ademe, agitan y arreglan las partículas de arena y de grava de la formación, los productos químicos agregados al fluido bombeado, actúan con mayor eficiencia con este método.

El movimiento ascendente y rotatorio en forma lenta de la herramienta, ocasiona que toda la superficie del cedazo quede bajo la acción vigorosa del chiflón.

Arenas finas, arcilla y limos, son lavados e introducidos en el ademe por la turbulencia creada por el chorro, a través de las ranuras abajo y arriba del punto de operación. La película de lodo formada en los bordes del agujero durante la perforación por el método convencional de rotaría, es efectivamente dispersada.

Hasta donde sea posible, es muy recomendable sobrehombear ligeramente el pozo, al mismo tiempo que la alta velocidad de los chiflones esté trabajando, quedando supeditado éste, a la medida del pozo, eficiencia del equipo u posición del nivel estático.

El equipo requerido para desarrollar un pozo por bombeo a alta velocidad consta de: una herramienta con orificios calibrados situados a 90° para crear un chiflón dentro del pozo, una bomba de alta presión, capaz de bombear hasta 1 m^3 por minuto a presiones hasta de 280 k/cm^2 ; tubería y conexiones de acero inoxidable de alta presión con juntas de rodilla (que dan flexibilidad de operación), bomba centrífuga para mezcla y tanques de almacenamiento para efectuar la mezcla de los productos químicos.

La velocidad mínima aceptable de los --
fluidos, para obtener eficiencia es de 100 pies por segundo, --
mejores resultados pueden ser esperados si se incrementa la --
velocidad de 300 pies por segundo.

Para que este método sea efectivo es de
seable efectuar limpieza con aire para sacar las partículas de
lodo en suspensión y prevenir que sean nuevamente introducidas
en la formación.

Hay un método simultáneo de estimula ---
ción de pozos por bombeo y limpieza con aire y se pueden utili
zar diferentes herramientas como la de la figura, que consiste
en dos empaques separados a más ó menos un metro, esto hace --
que se aisle la zona que va a limpiar y desarrollar.

Bombeo y extracción efectiva de los fi-
nos se logra con este tipo de empacador y las dos operaciones
se hacen simultáneamente.

Otro tipo de empacador aísla completa--
mente la zona que se va a limpiar y se inyecta aire con la tu
bería a la formación posteriormente se sifonea el pozo. Cada
segmento de la formación se estimula separadamente, estable--

ciendo así cuales intervalos son los que necesitan mayor -- tiempo de desarrollo.

Las desventajas que tiene este último método son las siguientes: cuando el nivel estático es muy profundo y el porcentaje de sumergencia es bajo, el bombeo no es práctico. Es limitante la presión del compresor a la profundidad de limpieza.

3.- METODO NEUMATICO.

Este método consiste en inyectar aire a través de una tubería de pequeño diámetro, que está abajo del nivel estático del pozo y recuperar el aire mezclado -- con agua, por una tubería de mayor diámetro.

Este procedimiento es el mas recomendado para el desarrollo de pozos de agua, porque en ningún momento existe el peligro de crear presiones hidrostáticas que inyecten finos a la formación, sino que al contrario, al obtener abatimiento en el nivel del agua, el acuífero tiende a -- fluir, cooperando a su limpieza.

Además se logra el desarrollo de todo - el acuífero variando las profundidades de la tuberías.

PROCEDIMIENTO FISICO-QUIMICO.

Consiste básicamente en la adición de dispersantes de arcillas en el agua del lavado del pozo.

La propiedad de los distintos productos agregados deberá ser la de dispersar el lodo de perforación y romper la gelatinosidad de éste. Rompiendo esta gelatinosidad, el lodo de perforación es fácilmente removido y bombeado a la superficie.

La mayoría de los productos dispersantes se mezclan con el agua del pozo y se agregan desde la superficie.

Existen productos dispersantes de arcillas que se mezclan con ácido clorhídrico, estos productos son más eficientes porque aunado a el trabajo del dispersante, el ácido por si mismo tiene propiedades dispersantes que hacen más efectiva la limpieza del pozo.

APLICACION DE HIELO SECO.

Este método es comunmente usado para la limpieza de los pozos, consiste en arrojar cargas de hielo -

seco sólido, el cual al sublimarse, aumenta grandemente su --
volúmen logrando efectuar la limpieza parcial del pozo. Este
método está cayendo rápidamente en desuso por ser poco efectiv
vo.

METODO DE APLICACION DEL NITROGENO.

Cuando la profundidad del pozo para -
aguas es grande (abajo de 300 metros) se ha utilizado con gran
éxito el uso del nitrógeno para la limpieza del pozo, se bom-
bea a través de una tubería de diámetro pequeño introducida -
hásta el fondo del pozo; el nitrógeno aumenta grandemente su
volúmen y en forma de burbujas efectúa descarga totales de -
agua, contribuyendo enérgicamente a la limpieza del pozo. |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES O NORMAS PARA LA LIMPIEZA DE POZOS EN FORMACION- NES GRANULARES.

En el desarrollo de pozos se emplean -
técnicas que se consideran rudimentarias y otras que han susti-
tuído ventajosamente a las primeras, las normas que a continúa
ción se siguen, se creen que sean los métodos más eficientes -
para el desarrollo de los pozos.

Limpiar la ranura y el acuífero con --
herramienta dispersora y bombeo a alta presión, porque los -
procedimientos hidráulicos y mecánicos, reintroducen las par-
tículas de arcilla dentro de la formación.

Emplear dispersantes de arcillas en me-
dio ácido.

Emplear aire para limpieza en pozos con
profundidades menores de 300 metros.

Emplear el nitrógeno para pozos profun-
dos abajo de 300 metros.

Finalizar la limpieza del pozo hasta --
que el agua salga perfectamente limpia.

Es necesario efectuar la limpieza de --
los pozos inmediatamente de efectuado el entubado, ya que el
lodo betonítico al quedar estático se gelatiniza y es muy --
difícil removerlo.

En formación donde se presentaron pér-
didas de lodo durante la perforación, es necesario inyectar
los dispersantes dentro de la formación, para que estas se -

pongan en contacto con el lodo y logren dispersarlo.

Efectuando pruebas piloto en los distintos dispersantes que existen en el mercado de acuerdo con el problema que se tenga que resolver y emplear el que resulte mas efectivo.

EXPLOSIVOS

Esta operación no es muy usual, aunque se ha utilizado en diversas operaciones con buenos resultados.

Es una forma especial de uso de la dinamita para producir vibraciones en el ademe. Consiste en colocar pequeñas cargas de dinamita y detonarlas en secuencia, las cuales producen movimientos vibratorios en el ademe y la formación, por las ondas generadas.

Al mismo tiempo la explosión genera gases que sacan el fluido de los pozos con energía, creando una presión de formación al agujero.

Mayores cantidades de explosivos se han utilizado para fracturar formaciones muy compactas, como arc-

niscas, granitos, fracturadas, etc., en cantidades de 100 a 600 libras de nitroglicerina al 80%.

También se han usado explosivos plásticos. Otra forma de uso de los explosivos es bombear un líquido fracturante a la formación y posteriormente detonar éstos.

TRATAMIENTOS CON ACIDO.

Tratamientos con ácido o estimulación - por acidificación de los pozos, significa un incremento valioso en la producción de agua.

El procedimiento consiste en colocar diversos tipos de ácido en contacto con la formación productora de agua. La solución disuelve parte de la formación, permitiendo su mayor flujo al aumentar el diámetro de la fractura.

Tres casos se presentan en este tipo de tratamientos, que aumente la producción y este incremento se conserve. Que el incremento decline rápidamente, que no aumente la producción.

El problema de los casos dos y tres se debe a que existe muy poca agua en el acuífero.

Falla de la producción por depósito -
subterráneos químicos contenidos en el agua. Estos depósitos
pueden ser carbonatados, depósitos de hierro, depósitos de -
arena fina y microorganismos.

Básicamente nos ocuparemos en este - -
capítulo de tratamiento con ácido para pozos nuevos que con-
tienen calizas en su formación, o pozos que han sido obtura-
dos con lodo bentónico.

Durante la construcción de pozos en ca-
liza, el recorte fino de perforación (sobre todo si se emplea
lodo) se introduce en las fracturas obturando éstas.

Cuando el fracturamiento de la formación
es grande se obtienen pérdidas de circulación de lodo, llegan-
do en algunos casos a continuar la perforación a fondo perdi-
do.

Esta circunstancia ocasiona el taponamien-
to parcial y en algunas veces total del acuífero; luego -
por lo tanto uno de los problemas más grandes de la estimula-
ción de los pozos en rocas calizas es la determinación del --

intervalo o intervalos productores.

En nuestros registros de perforación - debemos de detectar cuál es la profundidad en la cual se tuvo pérdida total de circulación.

Si no se conoce este dato se continúa - con la secuela siguiente:

A).- Con tubería de 2", de tipo producción para pozos petroleros, se bajará un empaque diseñado -- para formación geológica abierta, es decir sin ademe, an- - clándolo a una profundidad de cincuenta metros arriba de --- aquélla en que se registro la pérdida parcial del fluído de perforación.

B).- Se probará la efectividad del empa que inyectando agua a presión a través del mismo, por medio de la tubería de 2". El sellado del empaque, es correcto si se observa que la formación toma libremente el agua inyecta da sin que varíe el nivel del agua contenida en el espacio - anular entre las paredes del pozo y la tubería de inyección.

C).- Una vez comprobado que el empaque ha sellado bien, se establecerá una circulación de agua en

el espacio anular superior. Si la circulación de agua no se establece con retorno de igual caudal que el de bombeo, será debido a la presencia de zonas permeables en las formaciones geológicas arriba del empaque, en cuyo caso se procederá a -- elevar dicho empaque por tramos de cien metros, repitiendo la prueba anterior hasta ya no ocurran pérdidas de agua en el espacio anular superior, quedando así definido el intervalo del pozo en el que se encuentran las zonas permeables de las formaciones acuíferas capaces de ser explotadas. El intervalo así definido deberá sujetarse a un tratamiento de estimulación -- con ácido.

OPERACION DE INYECCION DEL ACIDO Y NITROGENO DE UN TRATAMIENTO.

Con la tubería de alta presión de 2 3/8" franca en el fondo, se efectúa una limpia con gas nitrógeno a pozo abierto provocando reacciones hidrodinámicas e impulsos explosivos de contra presiones hacia el pozo para extraer los lodos de perforación y materiales obturantes del acuífero.

Inyección a presión entre 500 y 4,000 lbs/pul² de gas nitrógeno, ácido y productos dispersores se - -

hace por medio de un empaque en el pozo para disolver y ampliar los conductos del acuífero hacia éste, extrayendo los materiales solubles removibles y obturantes que impedían la afluencia de mayores caudales de agua hacia el pozo.

Primera inyección de gas nitrógeno a presión, obligando a penetrar hacia los conductos y porciones con tenedoras de agua en las formaciones productoras, venciendo la presión hidrostática del acuífero y desalojando el agua de este hacia el interior del acuífero alrededor del pozo.

Sin disminuir ni suspender los efectos de presión en el pozo, se inyecta en seguida ácido, productos químicos, dispersores y fluidificantes que penetran en la formación productora desalojando agua y gas, hacia el interior del acuífero ampliando conductos del pozo con radios variables entre 10 y 100 metros.

Nuevamente sin variar la presión de inyectando se hace otra aplicación de gas, que ocasiona mayor penetración del ácido y productos químicos hacia la formación productora.

Se mantiene la presión por el tiempo necesario para asegurar los efectos disolventes del ácido y finalmente se cierra la válvula de inyección y se abre la de salida al pozo este tiende de inmediato a recuperar su presión hidrostática con flujo hacia el pozo que se activa y efectúa a presiones adicionales muy altas ocasionadas por la presencia del gas inyectado y del bióxido de carbono que se forma por la reacción del ácido y el carbonato de calcio de la formación acuífero

El efecto dinámico arrastra hacia la superficie fuera del acuífero y fuera del pozo los efectos de disolución del ácido, permitiendo un flujo de mayores caudales de agua hacia el pozo.

Finalmente, y nuevamente con tubería franca, se efectúa otra serie de implosiones con nitrógeno, dando como resultado que las fracturas quedan ampliadas y completamente limpias de cualquier residuo haciendo que los pozos fluyan a toda su capacidad.

El ácido clorhídrico inhibido es normalmente una solución de ácido clorhídrico en distintas concen--

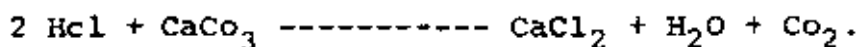
traciones según sea el problema a resolver 5%, 7.5%, 15%, 26%.

Para tratamientos en pozo de caliza en lo que se necesita estimular la formación, se emplea el 26% del caso.

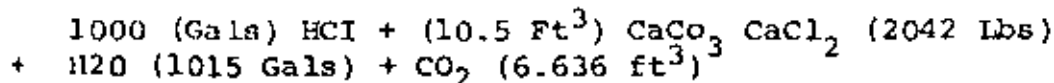
Este ácido contiene un inhibidor de corrosión y otro aditivo como surfactantes que viene de la palabra agente reductor de la tensión superficial, agentes espumantes, agentes estabilizadores etc.

Cuando el ácido clorhídrico es bombeado a la formación existe una reacción con la caliza produciendo cloruro de calcio, bióxido de carbono y agua.

Esta reacción se representa de la siguiente forma:

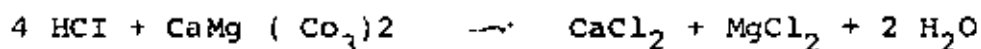


La cantidad de caliza que reacciona con el ácido es la siguiente:



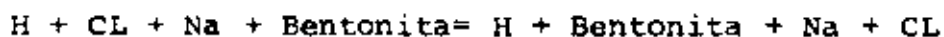
Se puede resumir que una solución de ácido clorhídrico gastado en piedra caliza se convierte en una solución de 20.5% de cloruro de calcio con peso de 9.8 lbs/galón.

CON DOLOMITA.



1000 Gals de HCl (al 15%) reaccionado con 9.6Ft³ de dolomita 1040 Lbs. de CaCl₂ + 875 Lbs. de MgCl₂ + 6636 ft³ de CO² + 333 Lbs. de agua, o sea que se convierten en 10.5% de CaCl₂ y 9% de cloruro de magnesio con peso de 9.7 lbs./galón.

La reacción entre el ácido clorhídrico, y la bentonita de sodio inhibidor tendra verificativo -- con una reducción considerable del tamaño de las partículas de acuerdo con la siguiente formula:



El inhibidor empleado para este ácido es el marflo II en proporción de 3% porque es la cantidad que mejor facilita la dispersión de las arcillas.

También la cantidad de la caliza disuel
ta por un volúmen de ácido depende de la concentración de áci
dos y del volúmen usado. Usando un ácido de mediana concentra
ción se obtuvo un máximo de desgaste en la primera hora de reac
ción.

Estas cantidades son el resultado de - -
laboratorio con carbonato de calcio puro.

ACIDO CLORHIDRICO.

PROPIEDADES FISICAS, QUIMICAS Y TOXICAS

FORMULA: HCl

El ácido clorhídrico, es un gas incoloro a la temperatura y presión ambiente, que produce humos blancos en presencia de la humedad de aire, de olor, penetrante e irritante. Es más pesado que el agua.

Es bastante soluble en agua, en la forma comercial mas común, las soluciones tienen concentraciones de alrededor de 30% en peso.

Las soluciones de ácido clorhídrico en agua, conocidas comunmente como ácido muriático, son de color claro ligeramente amarillento, de olor penetrante e irritante la densidad de la solución al 37.1 en peso es de 1.188 grs/cm³ al 15.5° (60F°). Este producto, ya sea como gas o en solución, se maneja en recipientes herméticos.

El ácido clorhídrico gaseoso no es corrosivo cuando está seco, pero rápidamente absorbe humedad y se vuelve altamente corrosivo al igual que sus soluciones acuosas. Ataca la mayoría de los metales liberando hidrógeno como producto de la reacción. Este elemento es altamente explosivo cuando se mezcla con el aire, en proporciones de 4 a 75% en volumen.

Con objeto de restaurar la permeabilidad original, se efectuarán tratamientos con ácido que limpien la formación, estos tratamientos deberán hacerse en tal forma que no causen ruptura en la formación y que por esa zona de debilidad se introduzma todo el ácido.

Lo anterior se debe a que después de perforado el pozo existe una capa de lodo en forma de cilindro -- en toda la formación productora. Si rompemos la formación el ácido se ira por esa zona fracturada perdiendo la posibilidad de usar el ácido en limpiar la totalidad del agujero.

Este sistema de tratamiento se denomina de matriz y usualmente resulta en altos incrementos en la producción.

El ácido para lodo tiene diversos nombres según los fabricantes pero es una mezcla de ácido clorhídrico, ácidos fluorhídrico, inhibidor de corrosión y surfactantes.

El ácido fluorhídrico es un ácido capaz de atacar a varios componentes de la arenisca a las arcillas - disolviendolas y dispersandolas.

El ácido clorhídrico gaseoso y sus soluciones no son inflamables, pero siempre existe el peligro de que reaccione con los metales presentes desprendiendo hidrógeno, pudiendo causar explosiones en presencia del aire.

El ácido clorhídrico, bien sea como gas o en solución, es un irritante muy energético para la piel que puede causar severas y dolorosas quemaduras, si entra en contacto con cualquier parte del cuerpo o si es ingerido. La menor concentración de ácido clorhídrico que puede percibirse mediante el olfato es de 5 ppm; a partir de 35 ppm; causa molestias a la garganta y empieza a ocasionar malestares respiratorios. Las mucosas de los ojos y las partes superiores del sistema respiratorio son especialmente susceptibles a los efectos irritantes de una atmósfera que contenga altas concentraciones de ácido clorhídrico. La máxima concentración permitida de esta sustancia para una jornada de trabajo es de 5 ppm.

TRANSPORTACION.

En carros tanque de acero, recubiertos interiormente con hule u otro material apropiado, con capaci-

dad hasta de 37850 lts (10,000 gal) para ácido de una concentración no mayor de 38% en peso. En estos carros tanque se -- pueden emplear desfogues de seguridad con discos de ruptura -- que tenga un respiradero de 3.17 mm (1/8") en el centro, 0 - disco de carbón que permitan un venteo continuo, excepto cuando están cargados con ácido clorhídrico de más de 35.21 de concentración de peso (22°Be).

El forro debe tener un espesor mínimo de 3.96 mm (5/32"), debe aplicarse estando el carro tanque perfecamente limpio por un procedimiento aprobado que garantice su adhesión. Debajo del registro se debe colocar una capa adicional del recubrimiento de 1.27cm. (1/2") de espesor y cuando - menos de 42 dm² (4.5 pies²).

Cual el ácido clorhídrico contiene acei- tes o solventes, no debe transportarse en recipientes o carro tanque recubiertos interiormente.

ETIQUETAS, LETREROS Y ADVERTENCIAS.

Todo recipiente que contenga ácido - - - clorhídrico, incluyendo carros tanque y autos tanque, debe llevar una etiqueta o cartel, donde conste del producto contenido en -

el recipiente. Igual cosa debe hacerse en el caso de los carros caja de ferrocarril que transportan el producto envasado.

RECOMENDACIONES GENERALES.

El equipo de protección personal no elimina la necesidad, al manejar el ácido clorhídrico, de respetar las reglas de seguridad que se han mencionado antes. Un trabajador que lleve el equipo adecuado puesto se encontrará protegido, pero puede exponer a otras personas que se encuentren en áreas cercanas. En todos los casos, el equipo de protección debe ser seleccionado con pleno conocimiento de las condiciones existentes y del riesgo probable. El uso correcto del equipo de protección requiere adiestramiento previo de las personas que deben utilizarlo.

Todo trabajador debe conocer la localización de las regaderas de seguridad, las fuentes de agua para lavado de ojos o las líneas de mangueras que proporcionen agua potable para irrigaciones en los ojos o para lavar cualquier parte del cuerpo que haya sido salpicada.

El personal debè estar perfectamente informado de los riesgos que implica el manejo inadecuado del ácido

clorhídrico, para que sea precavido y evite derrames, fugas e inhalación de sus vapores; debe estar bien instruido acerca de lo que conviene hacer en casos de emergencia y conocer la necesidad de proporcionar primeros auxilios en caso de contacto con el ácido o sus vapores.

Cuando haya que entrar a un tanque para su limpieza o reparación, el personal autorizado de seguridad debe determinar cuando ha sido lavado suficientemente el tanque y durante el curso del trabajo debe verificar que no haya deficiencia de oxígeno y que existan gases o vapores peligrosos, especialmente hidrógeno. Además de cumplir con las medidas de seguridad mencionadas; además de tener las siguientes precauciones:

a). El tanque o equipo debe vaciarse completamente de cualquier líquido.

b). El remanente de gas en el tanque debe ser desfogado hacia el sistema de absorción; todas las líneas que lleguen o salgan deben drenarse, desconectarse y colocarse juntas ciegas.

c). El tanque debe llenarse con agua u

otra solución recomendada y drenarse una o dos veces. Si es necesario agréguese cal o carbonato de sodio en cantidades suficientes para neutralizar cualquier residuo de ácido (si se usa carbonato de sodio, el tanque debe ventilarse perfectamente debido a la formación de bioxido de carbono) y después lavar y drenar.

Durante el tiempo que dure el trabajo debe mantenerse ventilado el interior del tanque.

TRATAMIENTOS DE ACIDO PARA FORMACIONES
GRANULARES.

(TRATAMIENTOS DE MATRIZ)

ACIDO HF

Este ácido se presenta como una solución de ácido clorhídrico, Inhibidor, surfactante y una sal de bifluoruro de amonio lo cual de una mezcla de ácido clorhídrico y fluorhídrico de baja tensión superficial.

Presenta la particularidad de disolver arcillas.

Es el ácido más comunmente usado en el país en formaciones que tienen un contenido menor del 10% de carbonatos presentes en el materiales cementante.

Mezclado con el HCl se presenta en el mercado en la forma siguiente:

3% HF con 15% HCl

6% HF con 9% HCl

3% HF con 12% HCl

Las compañías de servicio dan distintos nombres a cada producto. En el DFNE se utiliza la mezcla.

3% HF con 12% HCl

El HF se usa predominantemente en formaciones de areniscas

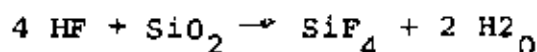
Los materiales que generalmente intervienen en la composición de las arcillas como material cementante son los siguientes: Feldepatos, Calcita, Caolinita, Illita, Montmorillonita y Clorita.

Las arcillas se encuentran depositadas en forma de canales entre los granos de arena y pueden ser atacados por el HF.

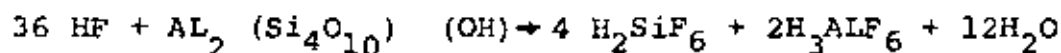
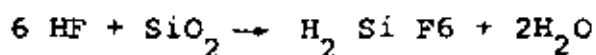
Un típico yacimiento de arenisca puede contener del 50 al

85% de bióxido de silicio (arena o cuarzo).

La reacción del HF con este componente es la siguiente:

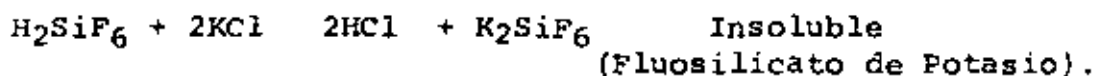
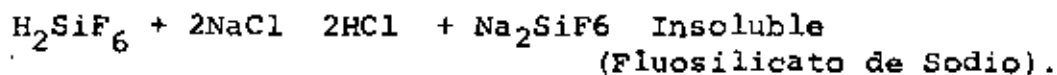


El HF reacciona con la arena, bentonita y con las arcillas de la formación en la siguiente forma:



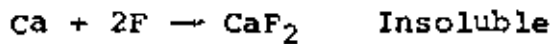
(Reacción Arcilla Primaria).

Posteriormente el $\text{H}_2 \text{ Si F}_6$ (ácido Fluorsilícico) reacciona con las sales de Sodio, Potasio y Calcio de esta manera:



Cuando el HF reacciona con la calcita es precipitado el fluoruro de calcio, compuesto insoluble que es una de las causas de la reducción de la permeabilidad.

También cuando se tiene una gran concentración de CaCO_3 y como el ácido fluorsilícico es parcialmente ionizable reaccionan con los iones de calcio en la forma siguiente:



El ácido restablece la permeabilidad - de la formación corrigiendo el daño causado por el lodo en la siguiente forma:

- 1.- Disuelve y desintegra el enjarre - original.
- 2.- Disuelve las partículas de cemento que pueden haberse filtrado en la formación, en caso de haberse utilizado cemento en alguna operación.
- 3.- Disuelve los silicatos que existan en la formación.

El uso de este tipo de ácido es muy popular en tratamientos para pozos petroleros.

TRATAMIENTOS SELECTIVOS.

Cuando se tienen dos o más intervalos - productores y se planea efectuar un tratamiento que penetre en cada una de las zonas productoras, se pueden programar tratamientos selectivos.

Este tipo de tratamientos tiene la característica de contener una mezcla de ácido y agentes obturan--

tes que bombeados por etapas llegan a bloquear el intervalo que este tomado fluido, para así inyectarlo a otro intervalo.

Programa para efectuar tratamientos selectivos.

La primera etapa consiste en bombear -- ácido clorhídrico inhibido y en la concentración requerida, esta etapa tiene como objeto remover el carbonato de calcio de la primera zona que presente debilidad a la inyección

La segunda etapa tiene como objetivo -- obturar la zona estimulada.

La tercera etapa estimulará el otro intervalo más compacto.

Se prepara una mezcla de agua con sal saturada 100%, se agrega un producto de gelatiniza esta mezcla y una substancia que a determinado tiempo rompa esa gelatina.

Posteriormente se agrega la sal en grano necesaria para obturar la formación que se estimuló.

El bombeo de esta gelatina deberá ser lento.

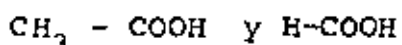
Las presiones de bombeo nos dirán si -
la obturación del primer acuífero fue efectiva.

Ya obturado el acuífero se bombea otra
mezcla de ácido igual a la primera, pero ya sin retardador.

Se cierra el pozo una hora y se abre -
para dejar salir los productos de la reacción de las substan
cias químicas con la formación.

ACIDO ACETICO Y ACIDO FORMICO

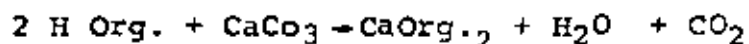
Son ácidos orgánicos debilmente ionizados de lenta reacción



generalmente se encuentran diluidos al 10% con agua para su uso en el campo. Han sido mezclados con HCl para tener una mezcla más activa.

1000 gals. de ácido acético disolverán 740 lbs. de caliza.

La reacción del ácido orgánico con la caliza es la siguiente



El uso de los ácidos orgánicos se ha incrementado últimamente porque son más fáciles de inhibir contra la corrosión a altas temperaturas (300-400°F) que el HCl. Lo mismo la velocidad de reacción es más lenta que el HCl.

El costo es lo que hace a este ácido que no sea muy popular.

ACIDO ACETICO.

Es un ácido retardado naturalmente, -- reacciona mucho mas lentamente que el ácido clorhídrico, esta propiedad ayuda a lograr penetraciones de inyección mucho mayores antes de ser empujadas hacia la superficie por el bióxido de carbono producto de la reacción.

En algunos tratamientos se bombea una -- primera etapa de ácido acético y como segunda etapa ácido clorhídrico.

ACIDOS SOLIDOS.

Están compuestos por ácido Sulfónico o Sulfámico en forma solida, para solucionar problemas de obturaciones en pozos viejos o de alto grado de incrustación.

Se vende en el mercado en forma de barras o de bolitas.

Se arrojan dentro del pozo, se deja en reposo cierto tiempo, se agita el pozo con la bomba y posteriormente se bombea el pozo hasta limpiarlo.

Acontinuación y para mayor información se presenta una tabla que contiene los tipos de ácidos más po

pulares en el mercado, los aditivos que llevan y los nombres que cada compañía tuvo a bien ponerle al lanzarlo al mercado.

TRATAMIENTOS APRESION.

La presión de acidificación en un tratamiento es el primero de los avances creados en la industria del petróleo que puede ser aplicado a los tratamientos en pozos de agua.

Tratamientos de gran volumen y alta presión de inyección tiene una correspondencia con incrementos de gran penetración del ácido dentro de las facturas.

Esta técnica es la más efectiva en tratamientos de pozos en calizas.

El fracturamiento hidráulico es una técnica probada con buenos resultados en pozos de agua pero tiene que se muy bien planeada por su alto costo.

NITROGENO

El nitrógeno es un gas inerte, su símbolo es N_2 . Peso Molecular 28.106, Densidad 1.165 gr/lt en estado líquido punto de ebullición - 196.8°C, toxicidad Nula, Combustibilidad Nula.

La característica de tener un punto de ebullición tan bajo es lo que hace a este gas manejable para

se expresa en metros.

NIVEL DE
RECUPERACION, -

Es la distancia vertical entre el brocal del pozo y el nivel libre del agua dentro de él, una vez que se ha suspendido la extracción de un caudal en la superficie; se expresa en metros.

RECUPERACION, -

Es el tiempo que tarda en estabilizarse el nivel de recuperación; se expresa en segundos ó minutos u horas.

Medición de los Niveles de Agua. - Independientemente del sistema ó método de aforo empleado para la medición del gasto de un pozo, cuando se emplean equipos mecánicos ó electromecánicos para la extracción del agua del interior del pozo, se emplean comunmente una sonda eléctrica para la medición de los niveles estático, de bombeo ó dinámico y de recuperación.

La sonda eléctrica consiste basicamente de un electrodo que se baja hasta hacer contacto con el agua mediante un cable eléctrico marcado en metros y una batería para proporcionar energía al electrodo a través de un miliampermetro (este puede ser sustituido por una señal luminosa ó sonora).

Al estar en contacto el electrodo con el agua se cierra el circuito que es señalado en la superficie a través del miliampermetro y directamente se obtiene la profundidad del nivel que es equivalente a la longitud del cable eléctrico.

Altura de Elevación. - Es la altura medida del nivel del terreno al punto en que el agua es descargada.

Altura Estática. - Es equivalente al nivel estático.

Altura de Abatimiento.- Es equivalente al abatimiento.

Altura total de Succión. - Es la suma de las alturas de elevación, estática y abatimiento (elevación y dinámica).

Sumergencia original (Hs). - Es la distancia comprendida entre el nivel ó altura estática hasta el extremo en el que el aire penetra al tubo de descarga.

Sumergencia de trabajo (Hw). - Es la distancia comprendida entre el nivel dinámico hasta el extremo en el que el aire penetra al tubo de descarga.

Presión de Partida (Ps). - Es la presión (lbs/pulg²) necesaria para iniciar el bombeo, se obtiene multiplicando la sumergencia original por 0.434 (presión por pulg². de una columna de agua a un pie de altura) más las pérdidas por fricción en el tubo de aire comprimido. -

$$Ps = 0.434 Hs + Pf$$

Presión de trabajo (Pw). - Es la presión (lbs/pulg².) requerida para sostener el bombeo.

$$Pw = 0.434 Hw + Pf$$

Porcentaje de -
sumergencia ($H\%$). - Es la relación entre la sumergencia de bombeo (H_w)
y la longitud total de la tubería.

$$H\% = \frac{H_w}{L} \times 100$$

VI.1. - METODOS DE AFORO

Para medir la capacidad de producción de un pozo existen diferentes sistemas ó métodos, que pueden aplicarse de acuerdo a la información que se pretenda obtener.

Existe un método de aforo no preciso que permite durante los trabajos de perforación, definir la conveniencia de continuar y terminar el pozo, cuando éste se encuentre localizado en zonas geohidrológicamente desfavorables, este sistema es:

- 1).- Cuchareo.

Los Sistemas de aforo empleados para determinar en forma adecuada y con mayor precisión las características hidráulicas del pozo, cuando los trabajos de perforación y desarrollo se han terminado y se requiere obtener la información necesaria para la Selección del Equipo de Bombeo son:

- 2).- Método de Cubicación
- 3).- Método de Escuadra
- 4).- Medidor de Orificio
- 5).- Medidor de Flujo
- 6).- Medidor de Canal
- 7).- Medición en pozos brotantes.

Para la correcta selección del método de aforo adecuado, es necesario conocerlos, por lo que a continuación se describe cada uno de ellos.

1). - Método de Cuchareo. - Es útil en aquellos casos en que se tiene duda sobre la posibilidad de obtener producción de un pozo, debido a encontrarse localizado en zonas geohidrológicamente desfavorables, por tenerse resultados negativos en el Registro Eléctrico ó en las muestras obtenidas durante la perforación y se efectúan preferentemente antes de colocar el ademe en el pozo.

Se emplea una cuchara de las utilizadas en los equipos de perforación tipo percusión para desalojar los cortes de los materiales perforados del fondo del pozo. Esta puede ser del tipo de bisagra ó de dardo y se deberá medir la capacidad de la misma. (Fig. 1)

La prueba consiste en medir el nivel del agua mediante una sonda eléctrica, introducir la cuchara en el pozo abajo del nivel del agua, llenarla y extraerla, se repite esta operación en 4 ó 5 ocasiones y se toma la siguiente información:

- a). - Nivel del agua al iniciar
- b). - Volúmen total extraído
- c). - Tiempo efectivo empleado en la prueba.
- d). - Nivel del agua al terminar.

Dividiendo el volúmen total extraído entre el tiempo efectivo empleado en la prueba, se obtiene el gasto y la diferencia de niveles proporciona el abatimiento. Del resultado de ésta prueba se podrá determinar.

a) - Si se abate totalmente el pozo, no será conveniente proseguir la terminación del mismo ó se estudiará la posibilidad de profundizarlo.

CUCHARA



DARDO



BISAGRA



FIGURA No. 1

- b) - Si el gasto obtenido y su abatimiento es suficiente para tomar la decisión de proseguir ó no los trabajos de perforación.
- c) - Si no existe abatimiento, continuar con los trabajos de terminación del pozo.
- 2). - Método de Cubicación. - Este procedimiento es aplicable en aquellos pozos de producción baja, con gastos comprendidos hasta 2 l. p. s. y se emplea el siguiente equipo:

Equipos de Bombeo. - Para la extracción del agua del interior del pozo es conveniente la utilización de un guimbalete, el cual consiste básicamente en una bomba de desplazamiento directo, integrada por un cilindro con dos válvulas check, unido a una varilla mediante la cual desde la superficie se le proporciona un movimiento ascendente y descendente, que permite descargar un volúmen equivalente al suyo. (Fig. 2)

El movimiento ascendente y descendente de la varilla se proporciona mediante el empleo de un balancín, el cual es accionado por un motor de combustión interna (puede ser eléctrico).

El gasto en la superficie se mide mediante el empleo de un tambor de 200 litros de capacidad ó similar y tomando el tiempo de llenado del mismo.

Los niveles del agua estático y dinámico, se miden empleando una sonda eléctrica.

Para la elaboración de la curva de aforo se deberán tomar los siguientes datos:

LECTURA N. E. = 40 m.

R. P. M.	N. B. (m)	Vol. Calibrado (Hs)	Tiempo seg.	Gasto lps
500	75	200	350	0.5
600	90	200	300	0.6
700	127	200	200	1.0

Para la elaboración de la Curva Gasto-Nivel de Bombeo, se seguirá el mismo procedimiento descrito en el Método de Orificio Calibrado.

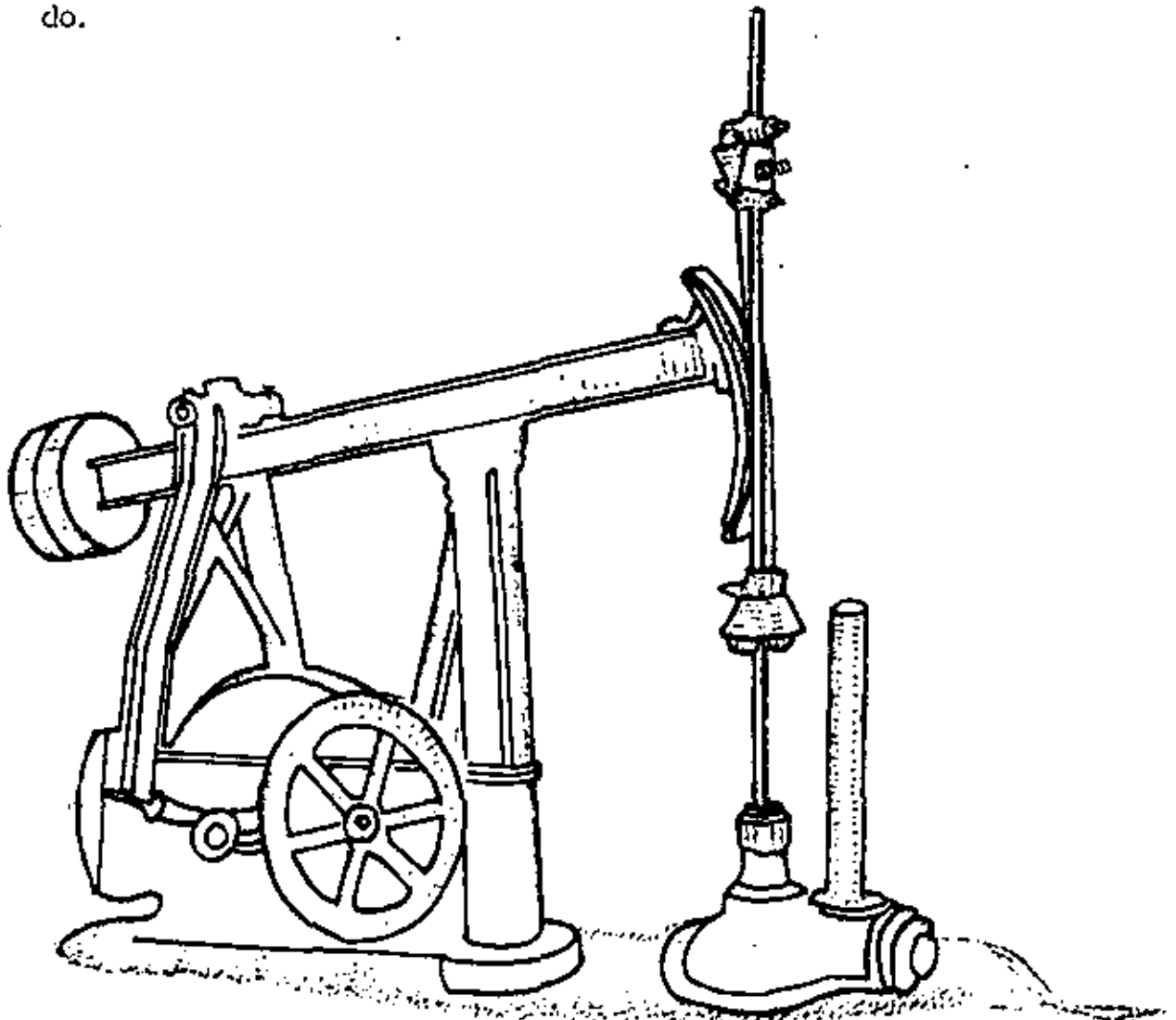


FIGURA No. 2

Puede emplearse para la extracción del agua del pozo, el bombeo inyectando aire comprimido, requiriéndose para tal operación el siguiente equipo.

Un compresor, una línea para descargar el agua del pozo y una línea para inyectar el aire, este sistema tiene dos variantes que a continuación se detallan:

1a. Variante. - El tubo de inyección del aire se introduce dentro del tubo de descarga del agua. (Fig. 3)

2a. Variante. - El tubo de inyección del aire se introduce fuera del tubo de descarga del agua. (Fig. 4)

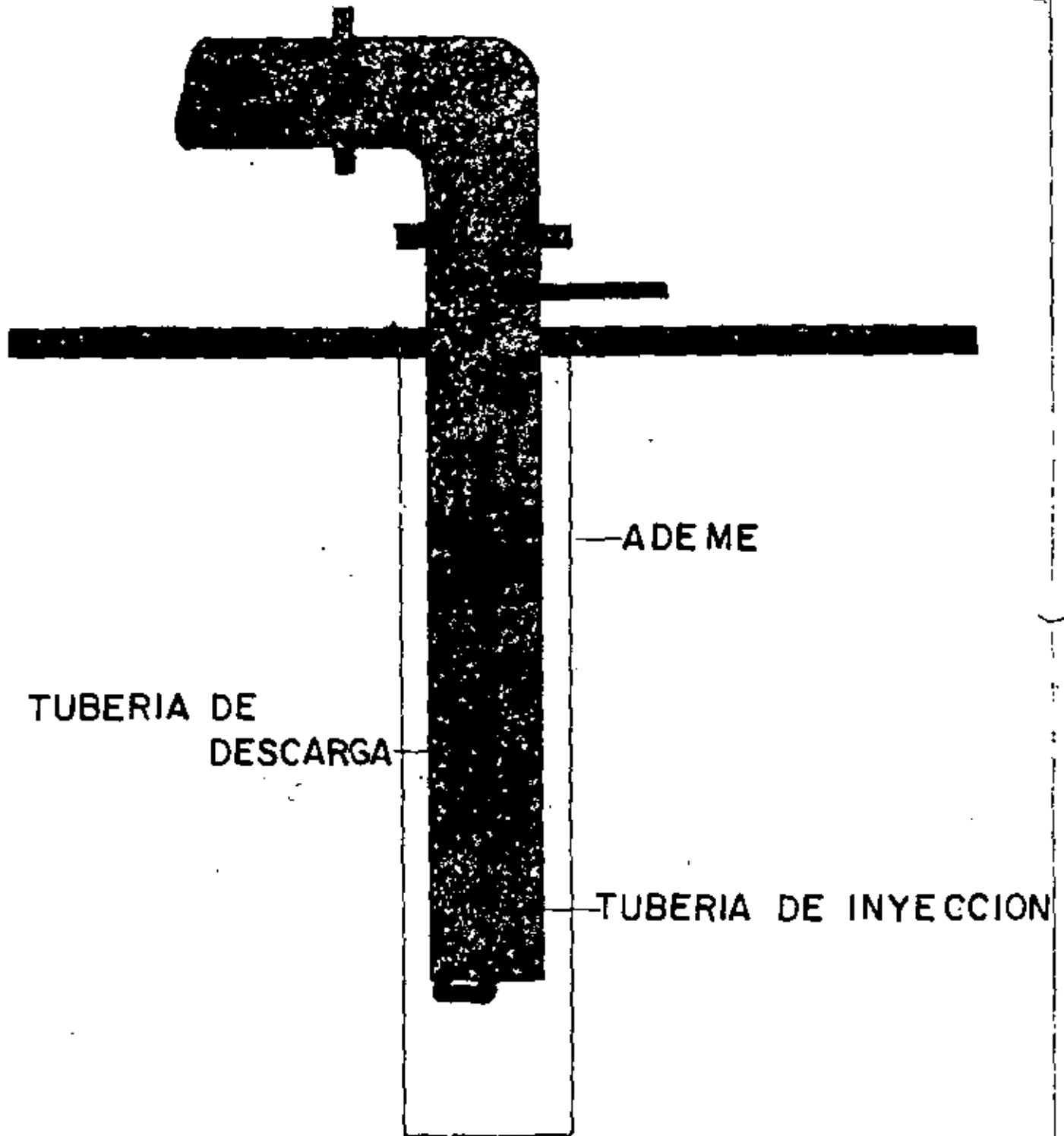
En ambos casos la inyección del aire en el interior del pozo provoca una columna de mezcla de aire - agua, que es más ligera que la columna de agua situada afuera del tubo.

La diferencia de peso entre ambas columnas provoca un desequilibrio que expulsa la columna de mezcla aire - agua por ser más ligera. Al sostener la inyección de aire se provoca la expulsión de agua en forma intermitente.

El agua descargada en la superficie, se mide como en el caso anterior por cubicación empleando uno ó más tambores de 200 litros.

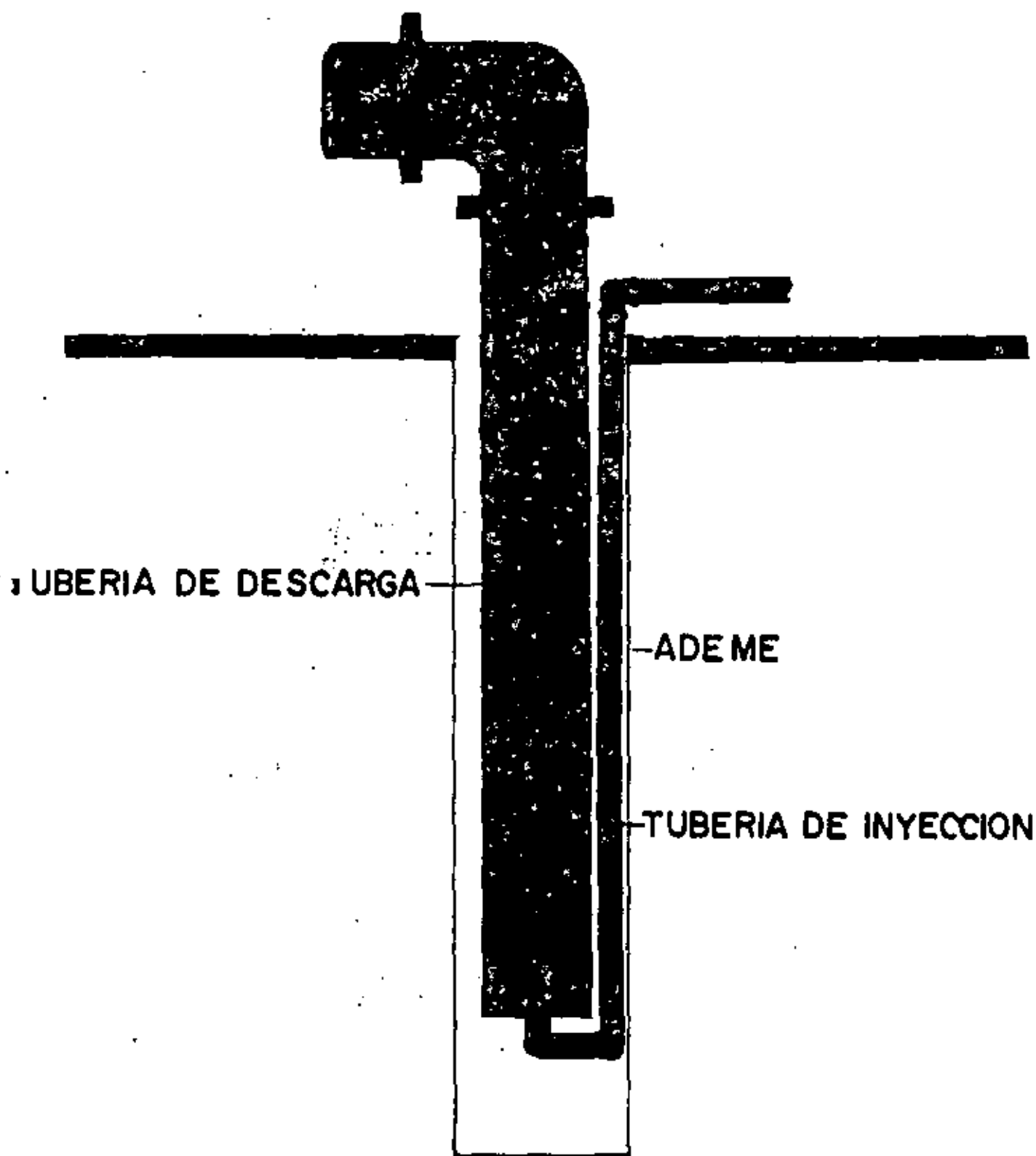
Si el gasto es mayor de 5 lps., se debe emplear para su medición, recipientes de mayor capacidad (presa de lodos, camión tanque etc.).

Para la selección de la capacidad de compresor, diámetros y longitudes de las líneas de inyección y de descarga, se anexan tablas.



SIFONEO POR AIRE

FIGURA No. 3



SIFONONEO POR AIRE

CAPACIDADES EMPLEANDO SISTEMA CON TUBERIA EXTERIOR						
Diámetro Mínimo del Pozo	DIAMETRO DE TUBOS		CAPACIDAD - GPM			
	Tubo de Descar ga de agua	Tubo de Aire	SUMERGENCIA			
			70%	60%	50%	40%
3	1	3/8	10-17	8-12	7-11	6-10
3.1/2	1.1/4	3/8	16-24	11-18	10-15	8-12
4	1.1/2	1/2	20-36	16-28	12-21	10-19
5	2	3/4	33-65	26-55	20-40	18-35
6	2.1/2	1	60-100	50-85	36-85	32-55
6	3	1	90-130	78-120	55-100	50-95
6	3.1/2	1	120-250	110-180	90-150	80-130
8	4	1.1/4	200-235	160-250	130-200	120-180
8	4.1/2	1.1/2	250-475	200-375	170-275	155-225
10	5	1.1/2	300-600	275-475	200-375	180-300
10	6	2	500-900	450-775	350-575	280-500

CAPACIDADES EMPLEANDO TUBERIA INTERIOR.

Diámetro Mínimo del Pozo.	Diámetro de Tubos		Capacidad - G P M .			
	Tubo de Descarga de Agua	Tubo de Aire	S u m e r g e n c i a .			
			70%	60%	50%	40%
1. 1/4	3/8		13 - 22	10 - 16	9 - 14	8 - 13
1. 1/2	3/8		18 - 28	13 - 22	10 - 17	9 - 15
2	1/2		30 - 56	25 - 46	18 - 33	16 - 30
2. 1/2	3/4		40 - 80	34 - 70	26 - 50	21 - 43
3	1		75 - 105	64 - 100	48 - 82	41 - 75
3. 1/2	1		105 - 210	95 - 155	80 - 130	70 - 110
4	1. 1/4		160 - 270	135 - 200	105 - 160	100 - 150
4. 1/2	1. 1/2		200 - 390	170 - 300	140 - 230	130 - 190
5	1. 1/2		260 - 510	220 - 400	175 - 300	160 - 250
6	2		425 - 775	380 - 660	300 - 500	250 - 425
7	2		500 - 1000	450 - 850	400 - 700	325 - 580
8	2		800 - 1300	700 - 1200	600 - 1000	500 - 780
10	2. 1/2		1200 - 2000	1050 - 1800	900 - 1550	700 - 1250

CAPACIDAD DE AIRE NECESARIO PARA BOMBEAR 1 GALON DE AGUA.

Fórmula

$$Q = \frac{H1}{C \cdot \log. 10 \frac{HW + 34}{34}} \quad (\text{ft}^3)$$

Donde:

H1 = Altura de succión.....ft

HW = Sumergencia de bombeo....ft

C = Constante - Tabla abajo

Sumergible	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%
Constante C Tubería interior	330	322	306	285	262	238	214	185	162
Constante C Tubería exterior	366	358	348	335	318	296	272	246	216

PIES CUBICOS DE AIRE LIBRE PARA ELEVAR 1 GALON DE AGUA-PRESION
DE TRABAJO PARA SUMERGENCIA DE 25% a 50%

Altura total- de suc- ción - en pies	RAZON DE SUMERGENCIA							
	25% 1/3 a 1		33% 1/2 a 1		43% 3/4 a 1		50% 1 a 1	
	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presion Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo	Aire Libre PC	Presión Trabajo
20								
30								
40								
50								
60								
80								
100								
120								
140								
160								
180							0.761	81
200							0.807	90
250							0.916	113
300					1,302	101	1,021	135
350					1,422	118	1,121	158
400					1,545	135	1,221	180
450					1,658	152	1,319	202
500			2,580	113	1,773	169	1,411	225
550			2,738	124	1,882	187	1,504	247
600			2,879	135	1,992	202		
650			3,025	146	2,100	220		
700	3,910	105	3,168	157	2,205	236		
750	4,065	113	3,302	169				
800	4,220	120	3,445	180				
850	4,385	128	3,581	191				
900	4,535	135	3,712	202				
950	4,670	142						
1000	4,840	150						

Para la medición de gastos mayores de 10 lps., usualmente se emplean los métodos de Escuadra, Orificio, Medidor de Flujo y Canal, - para la aplicación de cualquiera de estos métodos, es necesario contar con un flujo de agua constante en la superficie, el cual generalmente es proporcionado mediante el empleo de una bomba turbina tipo vertical accionada - por motor de combustión interna.

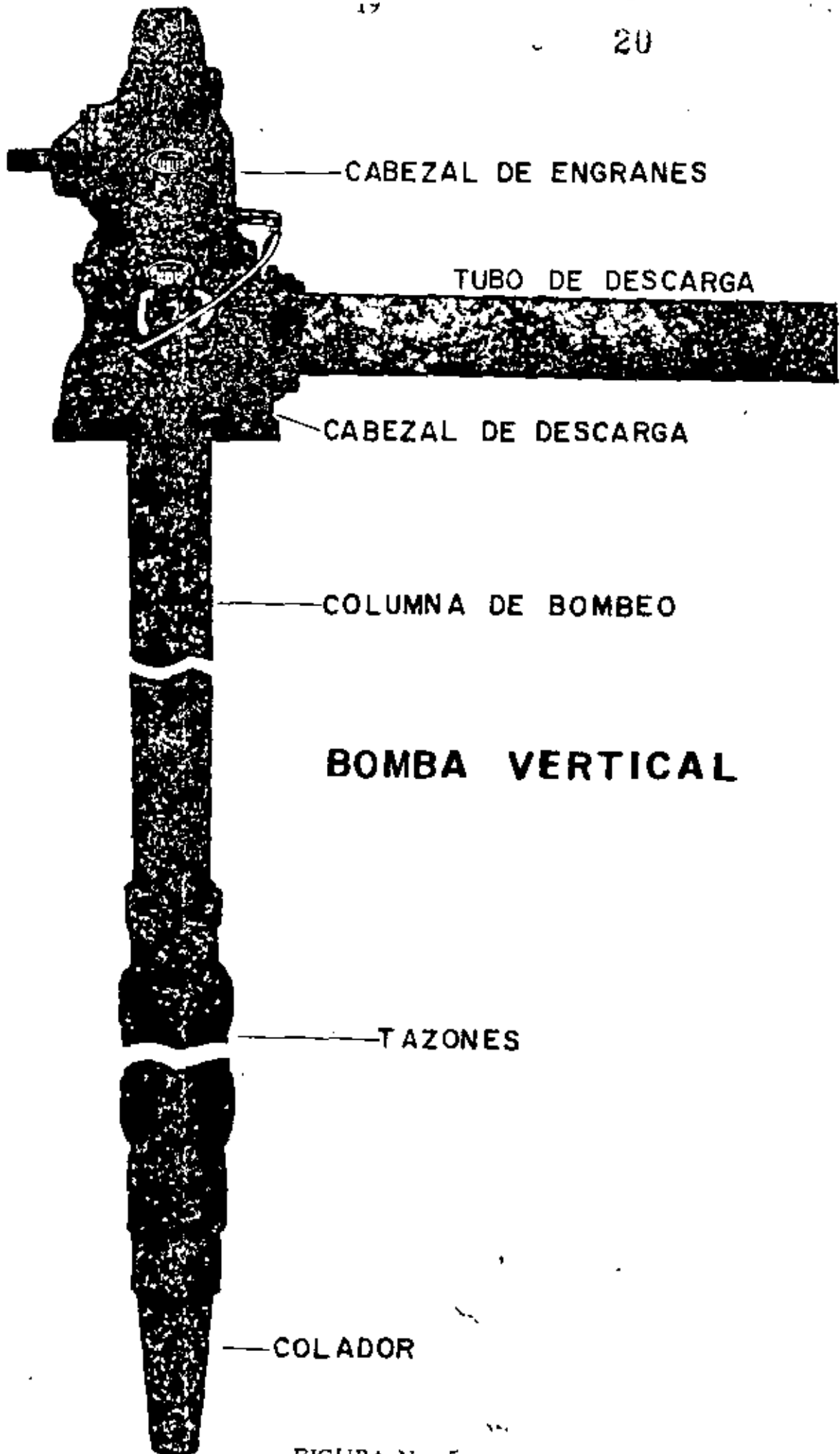
Este Equipo de Bombeo está integrado principalmente por -

Cuerpo de Tazones y Colador: Está formado por uno ó más pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor, el cual al girar proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente paso ó a la columna de bombeo.

Los impulsores pueden ser del tipo cerrado ó semi-abierto; generalmente en el primer paso se coloca un tubo de succión y un colador, este último tiene como finalidad el proteger los impulsores del pozo de -- ciertos sólidos en suspensión.

Columna de Bombeo: Puede ser lubricada por agua ó por aceite, en el primer caso consta de tubería de bombeo ó descarga y flecha para proporcionar movimiento a los impulsores, en el segundo caso consta de tubería de bombeo ó descarga, cubreflecha y flecha, entre estas dos últimas se coloca el aceite para su lubricación.

Cabezal de Descarga: Su función es la de sostener la columna de bombeo y los tazones, proporcionar la base de apoyo al cabezal de engranes y - cambiar la dirección del flujo del agua.



BOMBA VERTICAL

FIGURA No. 5

Cabezal de Engranés: Aloja en su interior dos engranes que pueden ser de dimensiones iguales ó diferentes, los cuales se encuentran acoplados a flechas que se conectan a la flecha de la bomba y a la flecha motriz (flecha cardán) proveniente del motor.

Motor: Se emplean motores de combustión interna, con capacidades -- que varían de acuerdo a la potencia que se demande en función del Gasto y el Nivel de Bombeo máximo que se pretendan obtener.

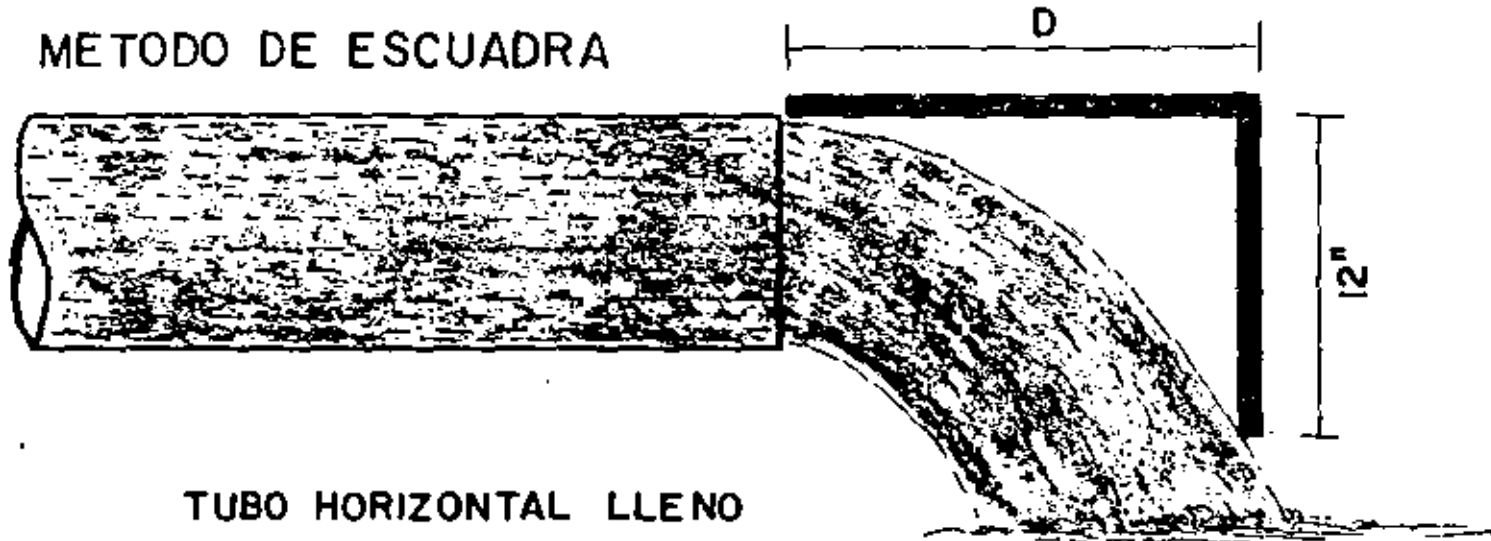
Tubo de Descarga: Se conecta al cabezal de descarga, normalmente tiene 3.05 m(10') de longitud.

3). - Método de Escuadra. - Este método permite medir gastos aproximados en descargas a tubo lleno ó parcialmente lleno; su aplicación es -- sencilla y consiste en tener un tubo de descarga acoplado al cabezal de la bomba con una longitud no menor de 1.50 m. (3') para sostener un flujo laminar en su interior y descarga libre en su extremo.

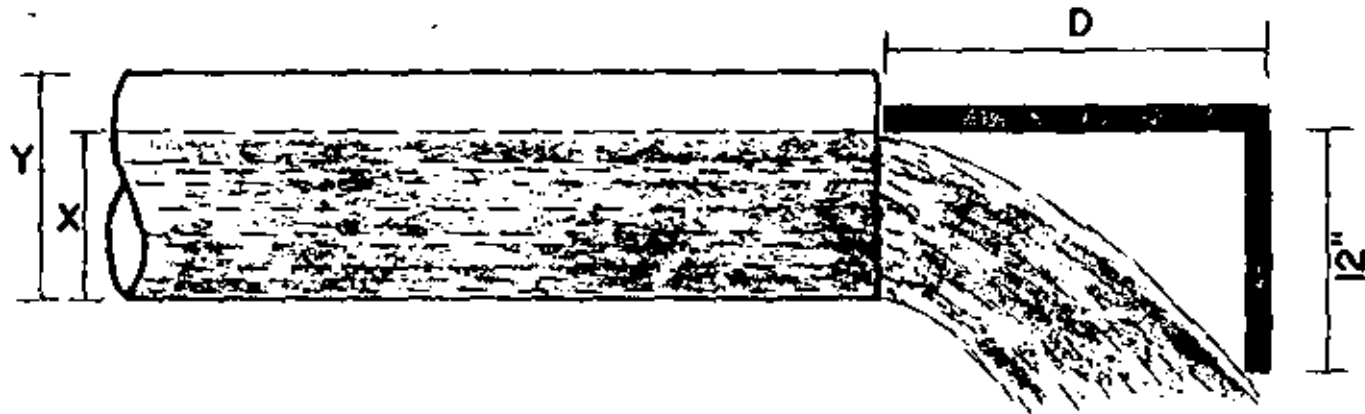
Cuando se tiene el tubo de descarga lleno y se desea conocer el gasto aproximado, se hace necesario conocer la distancia horizontal D -- la cual se mide como lo indica la Fig. 6 y con este valor se entra en las tablas que se anexan, interpolando con el dato del tubo de descarga y se obtendrá directamente el gasto correspondiente.

Cuando la descarga sea a tubo parcialmente lleno, el procedimiento es igual al anterior, excepto en la forma de medir la distancia D la cual se efectuará de acuerdo a la Fig. 6 correspondiente.

METODO DE ESCUADRA



TUBO HORIZONTAL LLENO



TUBO HORIZONTAL PARCIALMENTE LLENO

FIGURA No. f

En este caso para obtener el gasto real será necesario obtener el valor de la relación $\frac{x}{y}$ en la que x es el tirante del agua en el interior del tubo de descarga, y es el diámetro interior, con este dato interpolado en la tabla correspondiente se obtiene un valor en por ciento (%).

Con el valor de D y la tabla a tubo lleno se obtiene el gasto que multiplicado por el valor de por ciento antes obtenido se tiene el gasto real (corregido).

El aforo consiste en medir el nivel estático y obtener a diferentes velocidades del motor (es conveniente a cada 100 rpm) las siguientes lecturas.

- a). - Nivel de Bombeo.
- b). - Distancias horizontales D como se indica en la Figura.
- c). - Velocidad del motor (rpm).

La información recabada se tabulará de la siguiente forma:

R. P. M.	N. B. (m)	Distancia D(cm)	Gasto l. p. s.
1 200	11.00	34	33.8
1 300	13.20	40	39.7
1 400	14.60	44	43.7
1 500	16.80	48	47.7
1 600	19.20	52	51.7
1 700	21.10	56	55.6
1 800	23.40	58	57.6
1 900	25.00	62	61.6
2 000	25.30	66	65.6

La gráfica de Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación se -

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
20	1.6	2.5	3.6	5.0	6.5	8.2	10.1	12.3	14.6	19.9
22	1.8	2.8	4.0	5.5	7.2	9.0	11.1	13.5	16.1	21.9
24	2.0	3.0	4.4	6.0	7.8	9.8	12.2	14.7	17.5	23.8
26	2.1	3.3	4.7	6.5	8.5	10.7	13.2	16.0	19.0	25.8
28	2.3	3.5	5.1	7.0	9.1	11.5	14.2	17.2	20.4	27.8
30	2.5	3.8	5.4	7.5	9.8	12.3	15.2	18.4	21.9	29.8
32	2.6	4.1	5.8	8.0	10.4	13.1	16.2	19.6	23.4	31.8
34	2.8	4.3	6.2	8.4	11.1	13.9	17.6	20.9	24.8	33.8
36	3.0	4.6	6.5	8.9	11.7	14.8	18.2	22.1	26.3	35.8
38	3.1	4.8	6.9	9.4	12.4	15.6	19.3	23.3	27.8	37.8
40	3.3	5.1	7.3	9.9	13.0	16.4	20.3	24.5	29.2	39.7
42	3.4	5.3	7.6	10.4	13.7	17.2	21.3	25.8	30.7	41.7
44	3.6	5.6	8.0	10.9	14.3	18.0	22.3	27.0	32.1	43.7
46	3.8	5.8	8.3	11.4	15.0	18.9	23.3	28.2	33.6	45.7
48	3.9	6.1	8.7	11.9	15.6	19.7	24.3	29.4	35.1	47.7
50	4.1	6.3	9.1	12.4	16.3	20.5	25.3	30.7	36.5	49.7
52	4.3	6.6	9.4	12.9	16.9	21.3	26.3	31.9	38.0	51.7
54	4.4	6.8	9.8	13.4	17.6	22.1	27.4	33.1	39.4	53.7
56	4.6	7.1	10.2	13.9	18.2	23.0	28.4	34.4	40.0	55.6
58	4.8	7.3	10.5	14.4	18.9	23.8	29.4	35.6	42.4	57.6
60	4.9	7.6	10.9	14.9	19.5	24.6	30.4	36.8	43.8	59.6
62	5.1	7.9	11.2	15.4	20.2	25.4	31.4	38.0	45.3	61.6
64	5.2	8.1	11.6	15.9	20.8	26.2	32.4	39.3	46.7	63.9
66	5.4	8.4	12.0	16.4	21.5	27.1	33.4	40.5	48.2	65.6
68	5.6	8.6	12.3	16.9	22.1	27.9	34.5	41.7	49.7	67.6
70	5.7	8.9	12.7	17.4	22.8	28.7	35.5	42.9	51.1	69.6
72	5.9	9.1	13.1	17.9	23.4	29.5	36.5	44.2	52.6	71.5
74	6.1	9.4	13.4	18.4	24.1	30.3	37.5	45.4	54.0	73.5
76	6.2	9.6	13.8	18.9	24.7	31.2	38.5	46.6	55.5	75.5
78	6.4	9.9	14.1	19.4	25.4	32.0	39.5	47.9	57.0	77.5

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
20	26.0	32.9	40.6	49.1	58.6	68.6	79.5	91.4	103.6
22	28.6	36.2	44.6	54.0	64.5	75.4	87.4	100.6	114.0
24	31.2	39.5	48.7	59.0	70.3	82.3	95.4	109.7	124.4
26	33.8	42.8	52.8	63.9	76.2	89.1	103.3	118.8	134.7
28	36.4	46.0	56.8	68.8	82.1	96.0	111.3	128.0	145.1
30	39.0	49.3	60.9	73.7	87.9	102.8	119.2	137.1	155.4
32	41.6	52.6	64.9	78.6	93.8	109.7	127.2	146.3	165.8
34	44.2	55.9	69.0	83.5	99.7	116.5	135.1	155.4	176.2
36	46.8	59.2	73.1	88.4	105.5	123.4	143.1	164.5	186.5
38	49.4	62.5	77.1	93.4	111.4	130.3	151.0	173.7	196.9
40	52.0	65.8	81.2	98.3	117.2	137.1	159.0	182.8	207.3
42	54.6	69.1	85.2	103.2	123.1	144.0	166.9	192.0	217.6
44	57.2	72.4	89.3	108.1	129.0	150.8	174.9	201.1	228.0
46	59.8	75.6	93.4	113.0	134.8	157.7	182.8	210.2	238.4
48	62.4	78.9	97.4	117.9	140.7	164.5	190.8	219.4	248.7
50	65.0	82.2	101.5	122.8	146.6	171.4	198.7	228.5	259.1
52	67.6	85.5	105.5	127.7	152.4	178.3	206.7	237.7	269.4
54	70.2	88.8	109.6	132.7	158.3	185.1	214.6	246.8	279.8
56	72.7	92.1	113.6	137.6	164.1	192.0	222.6	256.0	290.2
58	75.3	95.4	117.7	142.5	170.0	198.8	230.5	265.1	300.5
60	77.9	98.7	121.8	147.4	175.9	205.7	238.5	274.2	310.9
62	80.5	102.0	125.8	152.3	181.7	212.5	246.4	283.4	321.3
64	83.1	105.2	129.9	157.2	187.6	219.4	254.4	292.5	331.6
66	85.7	108.5	133.9	162.1	193.5	226.2	262.3	301.7	342.0
68	88.3	111.8	138.0	167.1	199.3	233.1	270.3	310.8	352.3
70	90.9	115.1	142.1	172.0	205.2	240.0	278.2	319.9	362.7
72	93.5	118.4	146.1	176.9	211.0	246.8	286.2	329.1	373.1
74	96.1	121.7	150.2	181.8	216.9	253.7	294.1	338.2	383.4
76	98.7	125.0	154.2	186.7	222.8	260.5	302.1	347.4	393.8
78	101.3	128.3	158.3	191.6	228.6	267.4	310.0	356.5	404.2

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	2"	2 1/2"	3"	3 1/2"	4"	4 1/2"	5"	5 1/2"	6"	7"
80	6.6	10.1	14.5	19.9	26.0	32.8	40.5	49.1	58.4	79.5
82	6.7	10.4	14.9	20.4	26.7	33.6	41.5	50.3	59.9	81.5
84	6.9	10.6	15.2	20.9	27.3	34.4	42.6	51.5	61.3	83.5
86	7.1	10.9	15.6	21.4	28.0	35.3	43.6	52.8	62.8	85.4
88	7.2	11.1	16.0	21.9	28.6	36.1	44.6	54.0	64.3	87.4
90	7.4	11.4	16.3	22.4	29.3	36.9	45.6	55.2	65.7	89.4
92	7.5	11.7	16.7	22.9	29.9	37.7	46.6	56.4	67.2	91.4
94	7.7	11.9	17.0	23.3	30.6	38.5	47.6	57.7	68.6	93.4
96	7.9	12.2	17.4	23.8	31.2	39.4	48.6	58.9	70.1	95.4
98	8.0	12.4	17.8	24.3	31.9	40.2	49.7	60.1	71.6	97.4
100	8.2	12.7	18.1	24.8	32.5	41.0	50.7	61.4	73.0	99.4
102	8.4	12.9	18.5	25.3	33.2	41.8	51.7	62.6	74.5	101.4
104	8.5	13.2	18.9	25.8	33.8	42.6	52.7	63.8	76.0	103.4
	8.7	13.4	19.2	26.3	34.5	43.4	53.7	65.0	77.4	105.4
	8.9	13.7	19.6	26.8	35.1	44.3	54.7	66.3	78.9	107.4
110	9.0	13.9	19.9	27.3	35.8	45.1	55.7	67.5	80.3	109.4
112	9.2	14.1	20.3	27.8	36.4	45.9	56.8	68.7	81.8	111.4
114	9.3	14.4	20.7	28.3	37.1	46.7	57.8	69.9	83.3	113.4
116	9.5	14.7	21.0	28.8	37.7	47.5	58.8	71.2	84.7	115.4
118	9.7	15.0	21.4	29.3	38.4	48.4	59.8	72.4	86.2	117.4
120	9.8	15.2	21.8	29.8	39.0	49.2	60.8	73.6	87.6	119.4
122	10.0	15.5	22.1	30.3	39.7	50.0	61.8	74.8	89.1	121.4
124	10.2	15.7	22.5	30.8	40.3	50.8	62.8	76.1	90.6	123.4
126	10.3	16.0	22.8	31.3	41.0	51.6	63.8	77.3	92.0	125.4
128	10.5	16.2	23.2	31.8	41.7	52.5	64.9	78.5	93.5	127.4
130	10.7	16.5	23.6	32.3	42.3	53.3	65.9	79.8	95.0	129.4
132	10.8	16.7	23.9	32.8	43.0	54.1	66.9	81.0	96.4	131.4
134	11.0	17.0	24.3	33.3	43.6	54.9	67.9	82.2	97.9	133.4
136	11.2	17.2	24.7	33.8	44.3	55.7	68.9	83.4	99.3	135.4
138	11.3	17.5	25.0	34.3	44.9	56.6	69.9	84.7	100.8	137.4
140	11.5	17.7	25.4	34.8	45.6	57.4	70.9	85.9	102.2	139.4

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES CON DESCARGA COMPLETA

Diámetro del tubo en pulgadas dist. horizontal en cms. en lts/seg.

Dist. Htal.	8"	9"	10"	11"	12"	13"	14"	15"	16"
80	103.9	131.6	162.4	196.5	234.5	274.2	318.0	365.6	414.5
82	106.5	134.8	166.4	201.4	240.4	281.1	325.9	374.8	424.9
84	109.1	138.1	170.5	206.4	246.2	287.9	333.8	383.9	435.3
86	111.7	141.4	174.5	211.3	252.1	294.8	341.8	393.1	445.6
88	114.3	144.7	178.6	216.2	257.9	301.7	349.7	402.2	456.0
90	116.9	148.0	182.6	221.1	263.8	308.5	357.7	411.4	466.3
92	119.5	151.3	186.7	226.0	269.7	315.4	365.6	420.5	476.7
94	122.1	154.6	190.8	230.9	275.5	322.2	373.6	429.6	487.1
96	124.7	157.9	194.8	235.8	281.4	329.1	381.5	438.8	497.4
98	127.3	161.2	198.9	240.8	287.2	335.9	389.5	447.9	507.8
100	129.9	164.4	202.9	245.7	293.1	342.8	397.4	457.1	518.2
102	132.5	167.7	207.0	250.6	299.0	349.6	405.4	466.2	528.5
	135.1	171.0	211.1	255.5	304.8	356.5	413.3	475.3	538.9
	137.7	174.3	215.1	260.4	310.7	363.4	421.3	484.5	549.2
108	140.3	177.6	219.2	265.3	316.6	370.2	429.2	493.6	559.6
110	142.9	180.9	223.2	270.2	322.4	377.1	437.2	502.8	570.0
112	145.5	184.2	227.3	275.2	328.3	383.9	445.1	511.9	580.3
114	148.1	187.5	231.4	280.1	334.1	390.8	453.1	521.0	590.7
116	150.7	190.8	235.4	285.0	340.0	397.6	461.0	530.2	601.1
118	153.3	194.0	239.5	289.9	345.9	404.5	469.0	539.3	611.4
120	155.9	197.3	243.5	294.8	351.7	411.3	476.9	548.5	621.8
122	158.5	200.6	247.6	299.7	357.6	418.2	484.9	557.6	632.2
124	161.1	203.9	251.6	304.6	363.5	425.1	492.8	566.8	642.5
126	163.7	207.2	255.7	309.5	369.3	431.9	500.8	575.9	652.9
128	166.3	210.5	259.8	314.5	375.1	438.8	508.7	585.0	663.2
130	168.9	213.8	263.8	319.4	381.0	445.6	516.7	594.2	673.6
132	171.5	217.1	267.9	324.3	386.9	452.5	524.6	603.3	684.0
134	174.1	220.3	271.9	329.2	392.8	459.4	532.5	612.5	694.3
136	176.7	223.6	276.0	334.1	398.6	466.2	540.5	621.6	704.7
138	179.3	226.9	280.1	339.0	404.5	473.1	548.5	630.7	715.1
140	181.9	230.2	284.1	343.9	410.4	480.0	556.0	639.9	725.4

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES

TUBOS DESCARGANDO PARCIALMENTE LLENOS

x/y	%	x/y	%	x/y	%	x/y	%
0.01	0.17	0.27	21.79	0.53	53.82	0.79	84.73
0.02	0.47	0.28	22.92	0.54	55.09	0.80	85.77
0.03	0.88	0.29	24.06	0.55	56.35	0.81	86.77
0.04	1.34	0.30	25.24	0.56	57.63	0.82	87.76
0.05	1.87	0.31	26.41	0.57	58.89	0.83	88.73
0.06	2.44	0.32	27.59	0.58	60.13	0.84	89.67
0.07	3.08	0.33	28.78	0.59	61.40	0.85	90.59
0.08	3.74	0.34	29.98	0.60	62.64	0.86	91.49
0.09	4.46	0.35	31.19	0.61	63.89	0.87	92.36
0.10	5.21	0.36	32.42	0.62	65.13	0.88	93.20
0.11	5.98	0.37	33.64	0.63	66.36	0.89	94.02
0.12	6.80	0.38	34.87	0.64	67.58	0.90	94.79
0.13	7.64	0.39	36.11	0.65	68.81	0.91	95.54
0.14	8.51	0.40	37.36	0.66	70.02	0.92	96.26
0.15	9.41	0.41	38.60	0.67	71.22	0.93	97.30
0.16	10.33	0.42	39.85	0.68	72.41	0.94	97.56
0.17	11.27	0.43	41.11	0.69	73.59	0.95	98.13
0.18	12.24	0.44	42.37	0.70	74.76	0.96	98.66
0.19	13.23	0.45	43.65	0.71	75.94	0.97	99.12
0.20	14.23	0.46	44.91	0.72	77.08	0.98	99.52
0.21	15.27	0.47	46.18	0.73	78.21	0.99	99.83
0.22	16.31	0.48	47.45	0.74	79.34	1.00	100.00
0.23	17.38	0.49	48.73	0.75	80.44		
0.24	18.45	0.50	50.00	0.76	81.54		
0.25	19.54	0.51	51.27	0.77	82.62		
0.26	20.66	0.52	52.55	0.78	83.69		

describirán en el Método de Orificio Calibrado.

4). - Método de Orificio Calibrado. - Es el método más preciso y más comúnmente empleado para determinar el gasto de producción de un pozo, tiene las ventajas que el equipo empleado es compacto y de fácil instalación y consta principalmente de:

- a). - Un tubo con una longitud no menor de 1.22 m(48"), conectado al cabezal de descarga en uno de sus extremos y en el otro deberá permitir la conexión de un porta orificio. A una distancia no menor de 61 cms. (24") del extremo libre, deberá contar con una perforación que permita conectar un piezómetro como se indica en la Figura. 7.
- b). - Un porta orificios que permita con facilidad intercambiar orificios de diferente medida.
- c). - Orificios de diferentes diámetros interiores.
- d). - Un flexómetro.

Para obtener las mayores ventajas de éste método se deberá tomar en consideración:

- a). - El tubo de descarga deberá estar en posición horizontal y la descarga completamente libre.
- b). - Los bordes de los orificios biselados preferentemente a 45° con el borde del filo en dirección aguas arriba.

METODO DE ORIFICIO CALIBRADO

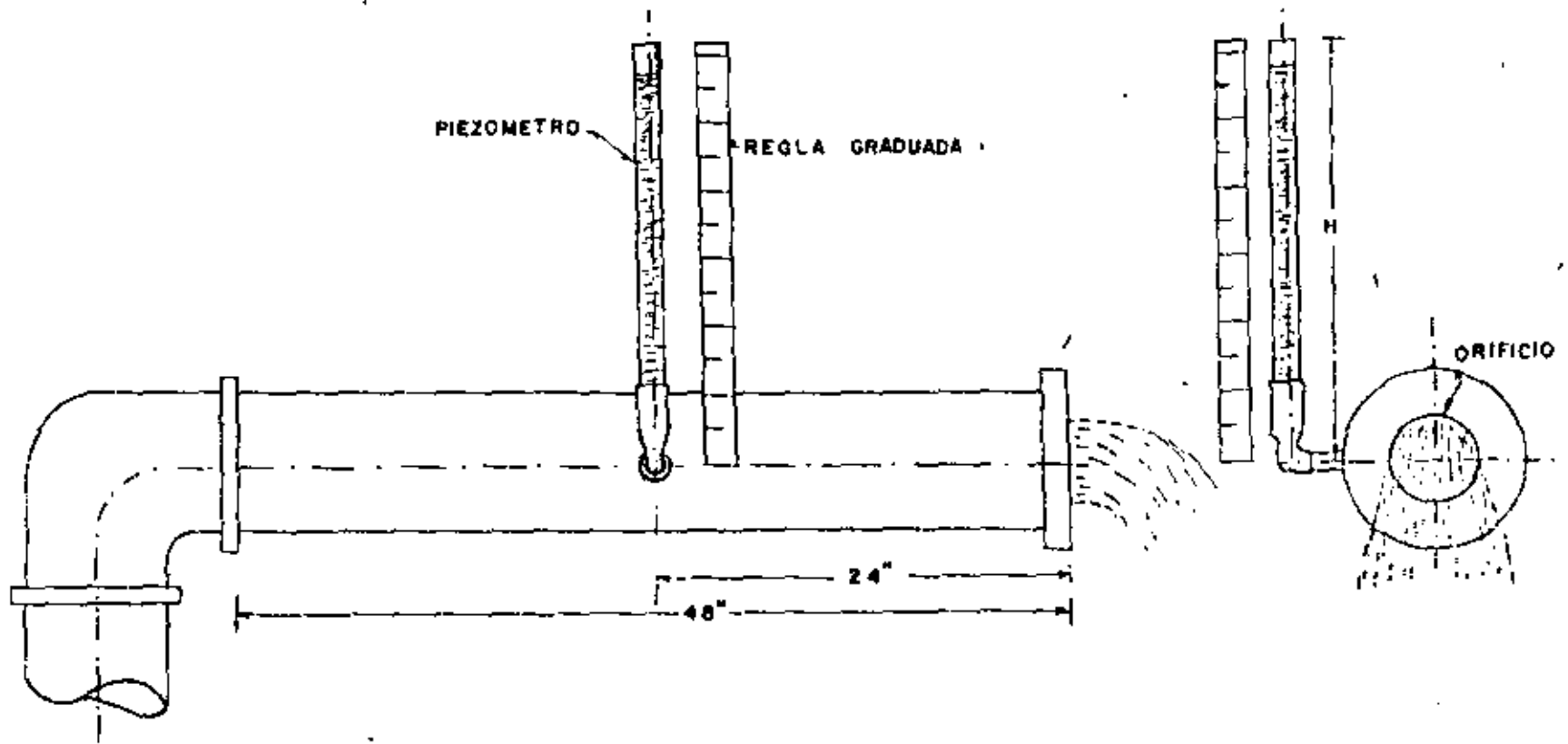


FIGURA No. 7

- c). - El orificio siempre deberá trabajar completamente lleno.
- d). - El diámetro del orificio deberá estar comprendido entre $1/2$ a $3/4$ el diámetro del tubo de descarga.
- e). - El piezómetro deberá quedar libre de burbujas y no sobresalir de la superficie interior del tubo de descarga.

Para obtener el gasto mediante la aplicación de este método, se deberán seguir los siguientes pasos:

- a). - Medir el Nivel Estático.
- b). - Medir el Nivel de Bombeo.
- c). - Medir la altura del agua del interior del piezómetro, como se indica en la Fig. 7 en cms.
- d). - Seleccionar la tabla que comprenda para el diámetro del tubo de descarga y de orificio empleados e interpolando en ella con la altura piezométrica obtener el gasto en l. p. s.

El aforo de un pozo se efectúa tomando la información anterior a diferentes velocidades (rpm) del motor, se recomienda variar esta, en escalones de 100 en 100 rpm. y tabularlas de la siguiente manera:

R. P. M.	Tiempo Hrs.	N.B. m	H. cms	Diámetro (")		Gasto (lps)
				Orificio	Descarga	
1 200	2	11.00	34	6	8	35.90
1 300	2	13.20	43	6	8	40.36
1 400	2	14.60	55	6	8	45.65
1 500	2	16.80	64	6	8	49.25
1 600	2	19.20	72	6	8	52.23
1 700	2	21.10	86	6	8	57.09
1 800	2	23.40	95	6	8	60.00
1 900	2	25.00	109	6	8	64.27
2 000	2	25.30	115	6	8	66.00

Con los datos de la tabla anterior se elaboran las curvas de la Figs. 8 y 9.

Interpretación de la Gráfica. - Se podrá observar que se han trazado dos curvas, una de Gasto-Tiempo y otra de nivel de bombeo tiempo, en ambos casos el tiempo es el medido entre cada cambio de velocidad del motor (variación rpm), para el presente ejemplo se conservo la velocidad del motor en cada cambio durante dos horas.

Para seleccionar el punto más adecuado de explotación del pozo, se escoge aquel en el que la separación entre ambas curvas sea menor.

Para el caso que nos ocupa es para un gasto de 66.00 lps, con un nivel de bombeo de 25.30 m.

CURVA GASTO — NIVEL DE BOMBEO

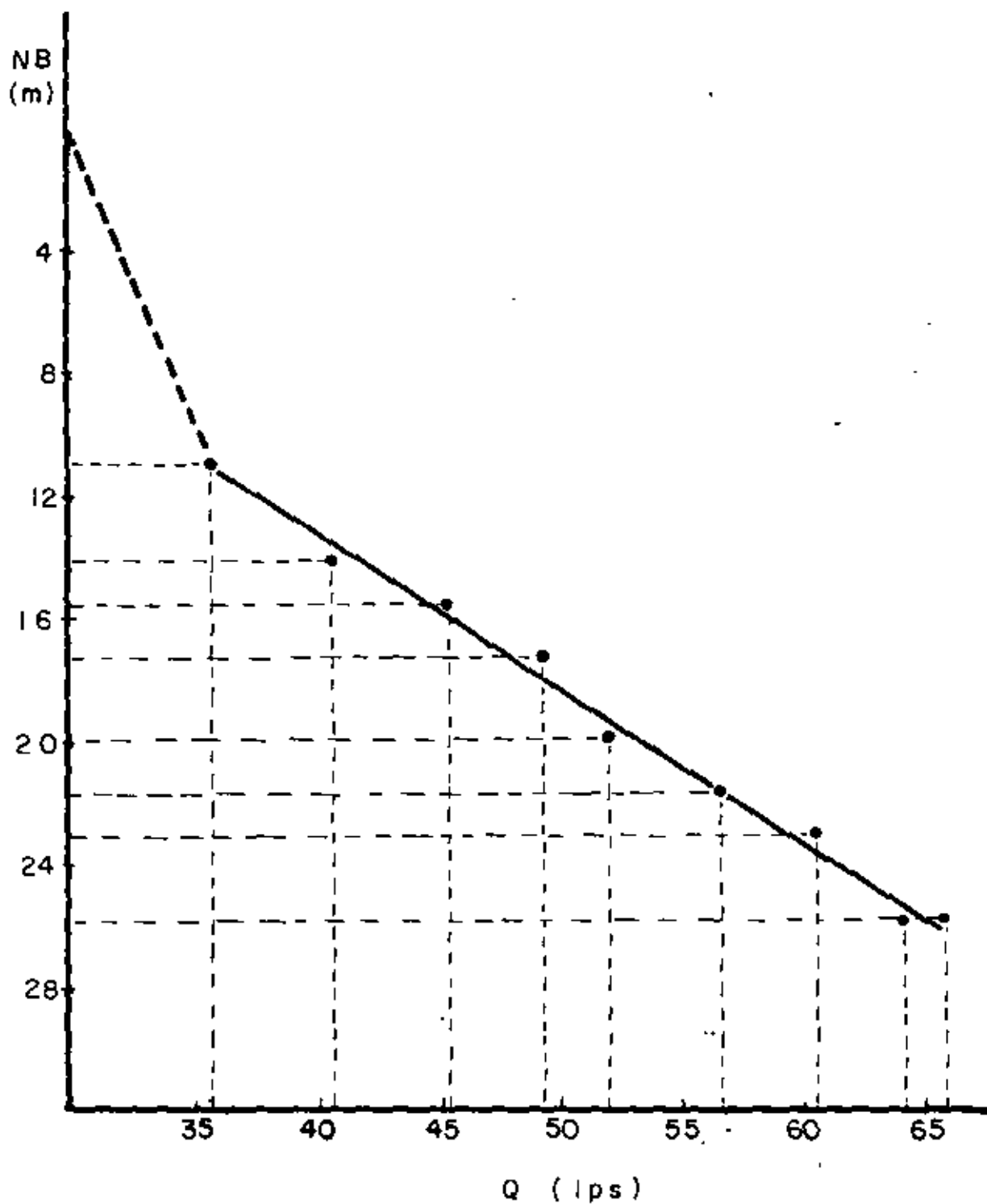


FIGURA No. 8

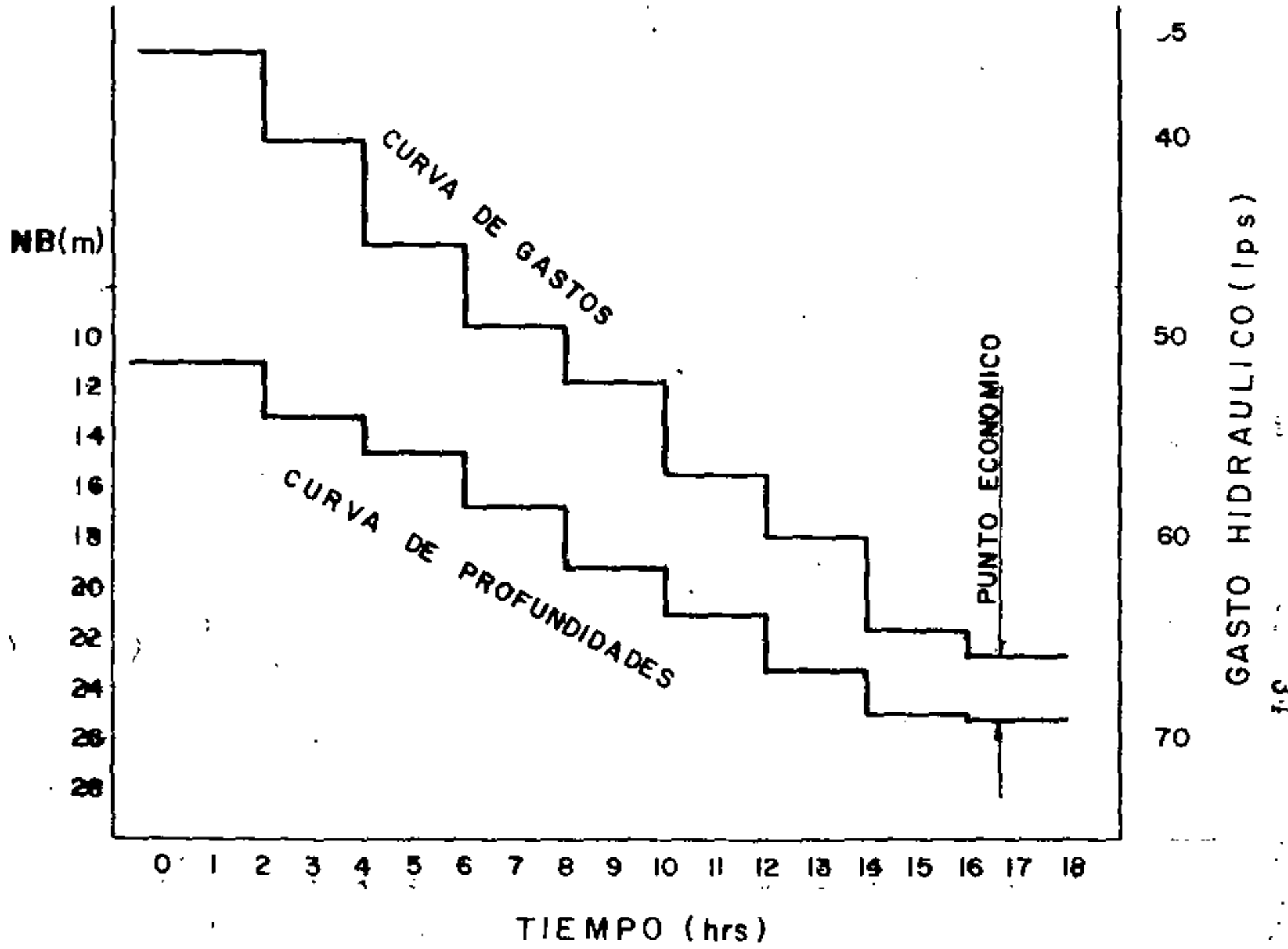


FIGURA No. 9

Como se podrá apreciar no se alcanzó a determinar el gasto real del acuffero por falta de capacidad del equipo de bombeo.

En la Fig. 10 - 11 se presenta un ejemplo de un pozo en que si se obtuvo la capacidad máxima del mismo y para el cual el punto de explotación es para un gasto de 16.3 lps, con un nivel de bombeo de --- 64.00 m.

Recuperación. - Cuando se efectúa el bombeo de un pozo, el nivel estático medido al iniciar la prueba, generalmente no equivale al tomado una vez que el bombeo ha terminado, siendo necesario tomar el --- tiempo de estabilización del nivel, el cual puede tener una recuperación total ó parcial.

Inmediatamente al terminar el bombeo, se toma el nivel estático y a partir de este momento sucesivamente se continuarán las lecturas del nivel a intervalos no mayores de 20 segundos, si la recuperación es inmediata ó mayores si ésta es lenta. El tiempo máximo medido de recuperación si no es completo no deberá exceder las veinticuatro horas.

Entre los equipos de bombeo de uso menor frecuente para ser empleados en el aforo de pozos se encuentra la bomba sumergible, la cual está constituida (Fig. 12) principalmente por:

Bomba-Motor. - Están unidos por el cuerpo de succión, que constituye la entrada de agua, protegida por un colador de lámina.

CURVA GASTO-NIVEL DE BOMBEO

N.B(m)

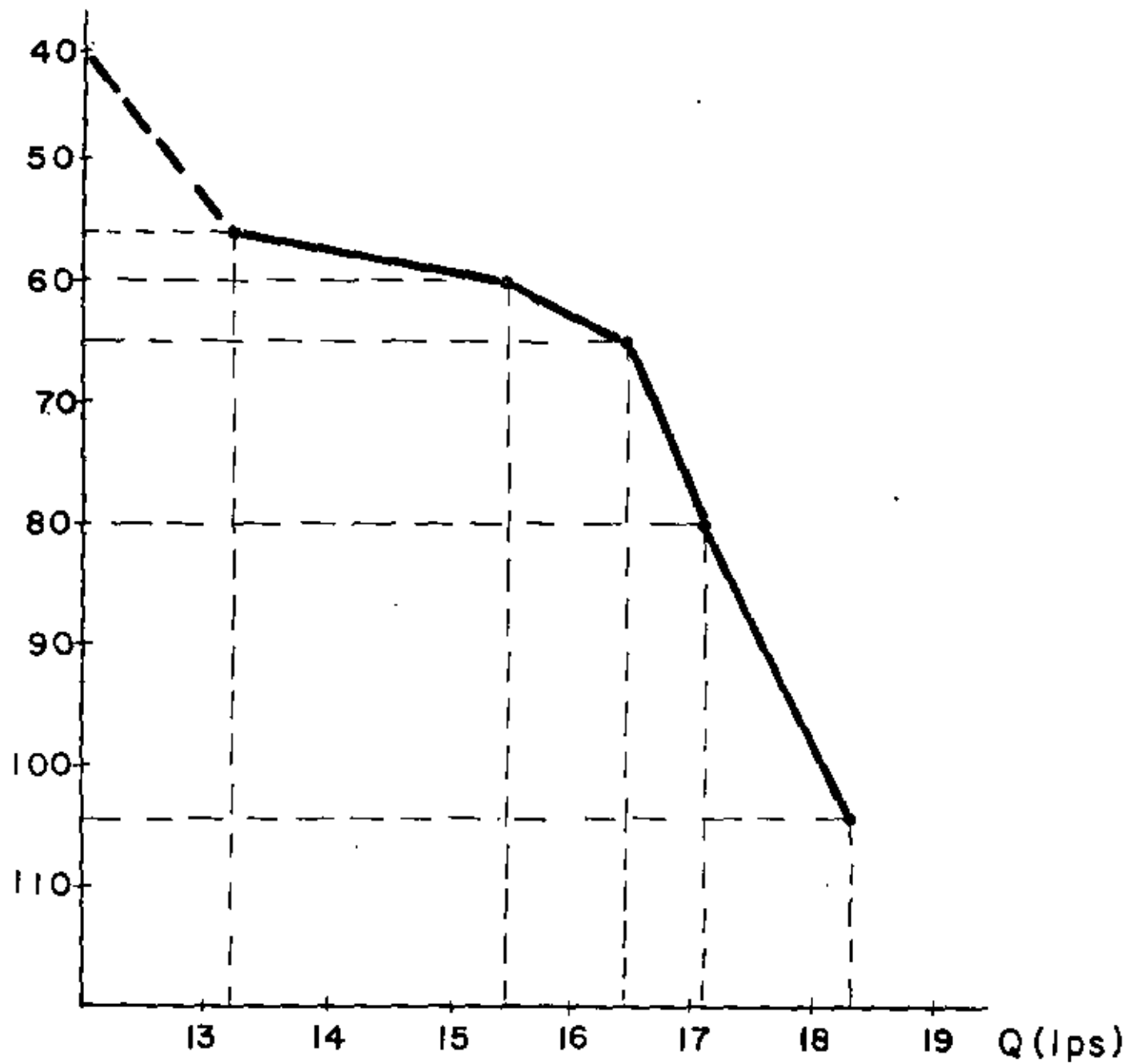


FIGURA No. 10

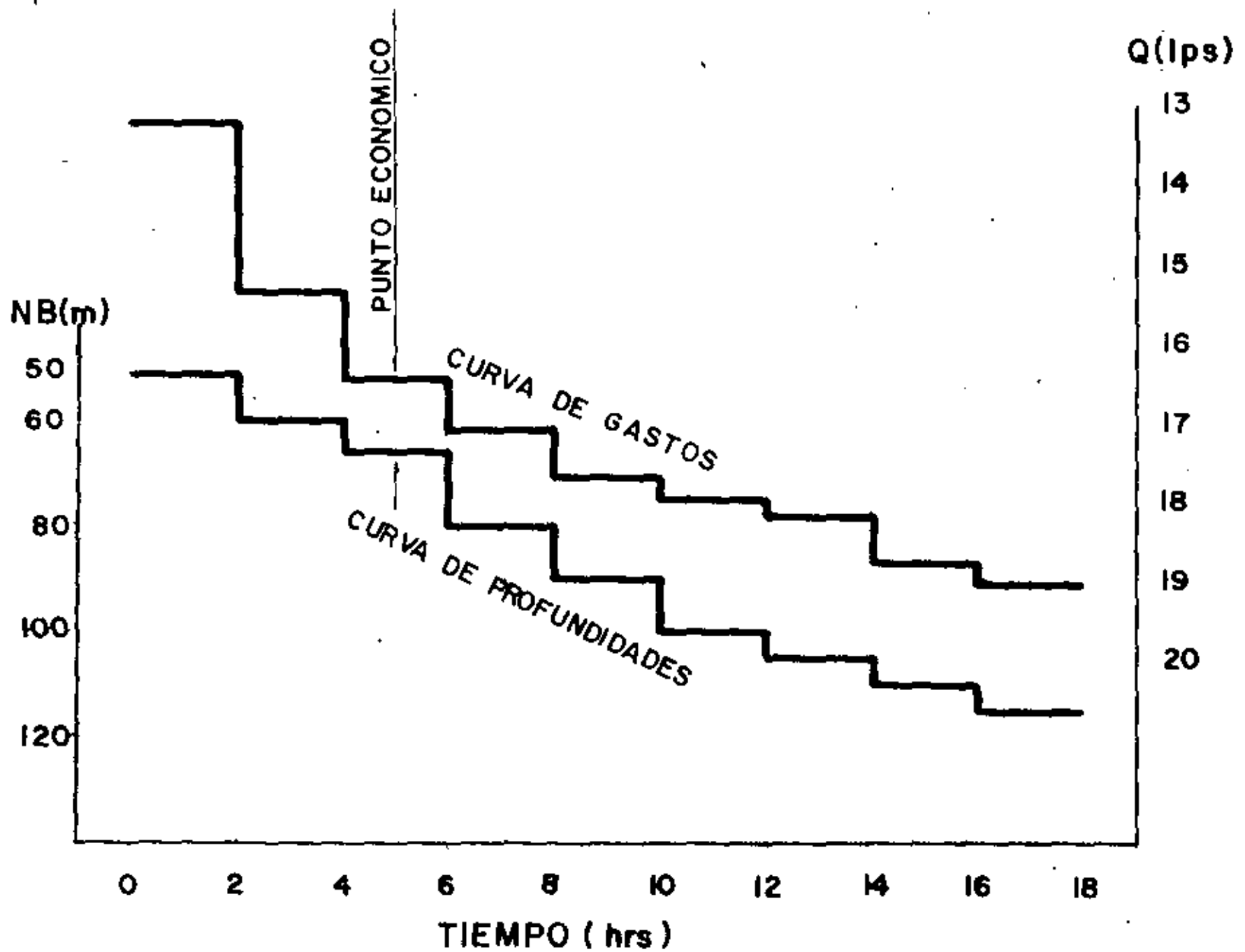


FIGURA No. 11

37

La bomba está formada por uno ó varios pasos, integrados cada uno de ellos por una cámara ó carcasa que aloja en su interior un impulsor, el cual al girar proporciona energía al agua permitiendo su expulsión al siguiente pozo ó a la tubería de descarga, en ésta se encuentra instalada una válvula check vertical con cuerda.

El motor es eléctrico, para operar a 3 600 rpm, con devanado de cobre aislado a prueba de agua, es del tipo de rotor en corto circuito y opera con una carga de agua en su interior, independiente del agua del pozo para lubricar chumaceras y refrigerar las bobinas.

Tubería de Descarga. - Conduce el agua de la bomba a la superficie, está integrada por tramos de tubería, unidos por cople y cuerda.

El empleo de los equipos de bombeo tipo sumergible en el aforo de pozos reúne las siguientes desventajas:

- a). - No contar con líneas alimentadoras de energía (electricidad) en el sitio de los trabajos.
- b). - Depender para su empleo de plantas de luz, limitando la potencia de los motores a la capacidad de las plantas y consecuentemente a bombear gastos reducidos.
- c). - No ser posible variar la velocidad del motor, por ser ésta constante (no se cuenta con facilidad con reductores de velocidad).

BOMBA SUMERGIBLE

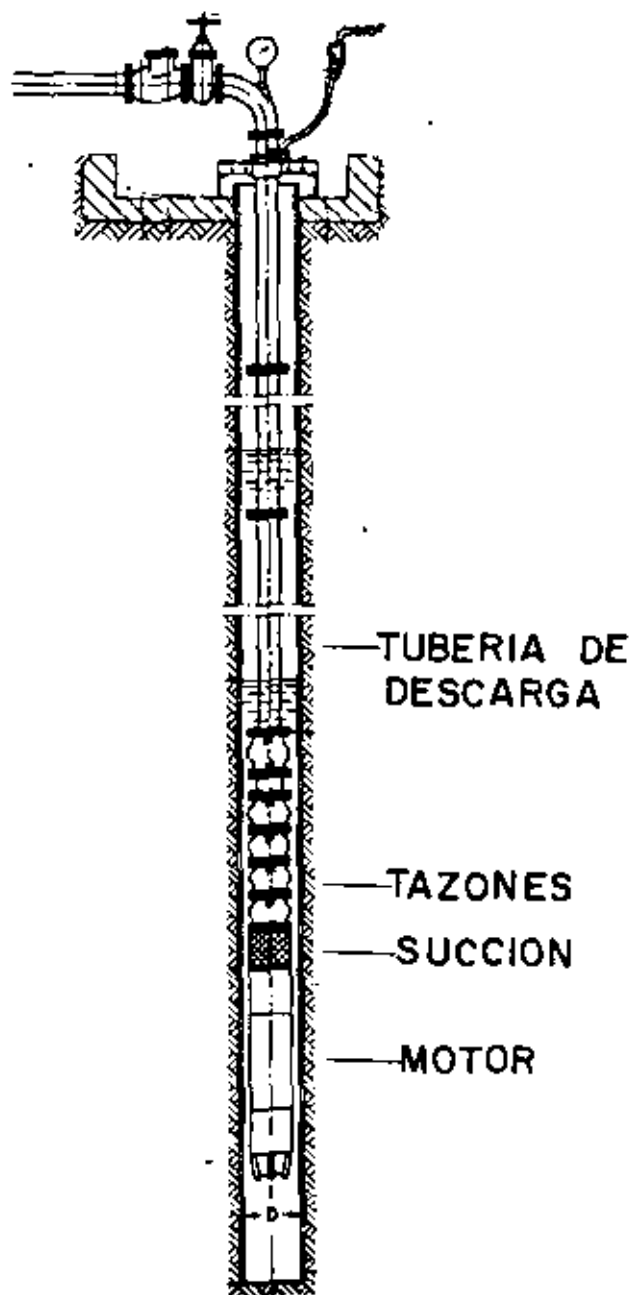


FIGURA No. 12

Para estar en condiciones de obtener variaciones de gasto y niveles de bombeo y efectuar el aforo del pozo, se instala en la descarga en la superficie una válvula que permita variar las condiciones mencionadas.

AFORO DE TUBOS HORIZONTALES METODO DEL ORIFICIO

$$G = 0.25 K D^2 h$$

G = gasto en lts/seg.

K = constante experimental.

h = altura del agua en cms. en el tubo de vidrio.

D = diámetro orificio en pulgadas.

41

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"	ORIF. 7"	ORIF. 8"	
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"
10	5.27	4.18	7.93	7.44	15.41	12.21	19.47	17.53		
11	5.53	4.39	8.32	7.80	16.17	12.81	20.42	18.39		
12	5.77	4.58	8.69	8.15	16.89	13.38	21.32	19.20		
13	6.01	4.77	9.04	8.48	17.58	13.93	22.20	19.99		
14	6.24	4.95	9.38	8.80	18.24	14.46	23.04	20.75		
15	6.46	5.12	9.71	9.11	18.88	14.96	23.84	21.42		
16	6.67	5.29	10.03	9.41	19.50	15.45	24.62	22.18		
17	6.87	5.45	10.34	9.70	20.10	15.94	25.38	22.86		
18	7.07	5.61	10.64	9.98	20.68	16.39	26.12	23.52		
19	7.27	5.77	10.93	10.25	21.25	16.84	26.83	24.17		
20	7.45	5.92	11.22	10.52	21.80	17.28	27.53	24.79	37.03	55.88
21	7.64	6.06	11.49	10.78	22.34	17.70	28.21	25.41	37.95	57.27
22	7.82	6.20	11.76	11.03	22.86	18.12	28.87	26.00	38.84	58.61
23	7.99	6.35	12.03	11.28	23.38	18.53	29.52	26.59	39.72	59.93
24	8.17	6.48	12.29	11.52	23.88	18.92	30.16	27.16	40.57	61.22
25	8.34	6.62	12.54	11.76	24.38	19.32	30.78	27.72	41.41	62.48
26	8.50	6.75	12.79	11.99	24.86	19.70	31.39	28.27	42.22	63.72
27	8.66	6.87	13.03	12.22	25.33	20.07	31.99	28.81	43.03	64.93
28	8.82	7.00	13.27	12.45	25.80	20.44	32.58	29.34	43.82	66.13
29	8.98	7.12	13.50	12.67	26.25	20.80	33.15	29.85	44.59	67.29
30	9.13	7.25	13.74	12.88	26.70	21.16	33.72	30.36	45.36	68.44
31	9.28	7.37	13.96	13.10	27.14	21.51	34.28	30.87	46.11	69.58
32	9.43	7.48	14.19	13.31	27.58	21.85	34.82	31.36	46.85	70.69
33	9.58	7.60	14.41	13.51	28.00	22.19	35.37	31.85	47.57	71.79
34	9.72	7.71	14.62	13.71	28.43	22.53	35.90	32.33	48.29	72.86
35	9.86	7.83	14.84	13.91	28.84	22.85	36.42	32.80	48.99	73.93
36	10.00	7.94	15.05	14.11	29.25	23.18	36.94	33.26	49.69	74.98
37	10.14	8.05	15.26	14.31	29.65	23.50	37.45	33.72	50.37	76.01
38	10.28	8.15	15.46	14.50	30.05	23.81	37.95	34.17	51.04	77.03
39	10.41	8.26	15.66	14.69	30.44	24.12	38.44	34.62	51.71	78.04
40	10.54	8.37	15.86	14.88	30.83	24.43	38.94	35.07	52.38	79.04
41	10.67	8.47	16.06	15.06	31.21	24.73	39.42	35.50	53.02	80.01
42	10.80	8.57	16.25	15.24	31.59	25.04	39.90	35.93	53.67	80.94
43	10.93	8.67	16.44	15.42	31.97	25.33	40.36	36.35	54.30	81.84
44	11.06	8.78	16.64	15.60	32.34	25.62	40.83	36.77	54.93	82.80
45	11.18	8.87	16.82	15.78	32.70	25.91	41.29	37.19	55.55	83.82
46	11.31	8.97	17.01	15.95	33.06	26.20	41.75	37.60	56.16	84.75
47	11.43	9.07	17.19	16.13	33.42	26.48	42.21	38.01	56.77	85.67
48	11.55	9.17	17.38	16.29	33.77	26.76	42.65	38.41	57.37	86.57
49	11.67	9.26	17.56	16.46	34.13	27.04	43.09	38.81	57.97	87.47

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7'	ORIF. 8"
	tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	"
50	11.79	9.35	17.73	16.63	34.47	27.32	43.53	39.20	58.55	88.36
51	11.90	9.45	17.91	16.80	34.81	27.59	43.96	39.59	59.13	89.23
52	12.02	9.54	18.09	16.96	35.15	27.86	44.39	39.98	59.71	90.11
53	12.14	9.63	18.26	17.12	35.49	28.12	44.82	40.36	60.29	90.97
54	12.25	9.72	18.43	17.28	35.82	28.39	45.23	40.74	60.85	91.82
55	12.36	9.81	18.60	17.44	36.15	28.65	45.65	41.11	61.41	92.67
56	12.47	9.90	18.77	17.60	36.48	28.91	46.07	41.49	61.97	93.51
57	12.59	9.99	18.94	17.76	36.80	29.17	46.48	41.86	62.52	94.34
58	12.70	10.08	19.10	17.91	37.12	29.42	46.88	42.22	63.07	95.17
59	12.80	10.16	19.26	18.07	37.44	29.67	47.28	42.58	63.61	95.98
60	12.91	10.25	19.43	18.22	37.76	29.92	47.68	42.93	64.14	96.79
61	13.02	10.33	19.59	18.37	38.07	30.17	48.08	43.30	64.67	97.59
62	13.13	10.42	19.75	18.52	38.39	30.42	48.47	43.65	65.20	98.39
63	13.23	10.50	19.91	18.67	38.69	30.66	48.86	44.00	65.73	99.18
64	13.34	10.58	20.06	18.82	39.00	30.90	49.25	44.35	66.25	99.97
65	13.44	10.67	20.22	18.96	39.30	31.14	49.63	44.68	66.76	100.74
66	13.54	10.75	20.37	19.11	39.60	31.38	50.01	45.04	67.27	101.52
67	13.64	10.83	20.53	19.25	39.90	31.62	50.39	45.38	67.78	102.28
68	13.75	10.91	20.68	19.39	40.20	31.85	50.76	45.72	68.29	103.04
69	13.85	10.99	20.83	19.54	40.50	32.09	51.14	46.05	68.79	103.80
70	13.95	11.07	20.98	19.68	40.79	32.32	51.51	46.39	69.29	104.55
71	14.05	11.15	21.13	19.82	41.08	32.55	51.87	46.71	69.78	105.29
72	14.14	11.23	21.28	19.96	41.36	32.78	52.23	47.04	70.26	106.03
73	14.24	11.30	21.43	20.10	41.65	33.01	52.60	47.37	70.75	106.77
74	14.34	11.38	21.57	20.23	41.93	33.23	52.95	47.69	71.23	107.49
75	14.44	11.46	21.72	20.37	42.22	33.45	53.31	48.01	71.71	108.22
76	14.53	11.53	21.86	20.50	42.50	33.68	53.67	48.33	72.19	108.94
77	14.63	11.61	22.01	20.64	42.78	33.90	54.00	48.65	72.67	109.65
78	14.72	11.68	22.15	20.77	43.06	34.12	54.37	48.96	73.14	110.36
79	14.82	11.76	22.29	20.90	43.33	34.33	54.71	49.28	73.60	111.06
80	14.91	11.83	22.43	21.04	43.60	34.55	55.06	49.59	74.07	111.76
81	15.00	11.91	22.57	21.17	43.88	34.77	55.40	49.90	74.53	112.46
82	15.09	11.98	22.71	21.30	44.14	34.98	55.74	50.20	74.98	113.15
83	15.19	12.05	22.85	21.43	44.41	35.19	56.08	50.51	75.44	113.84
84	15.28	12.13	22.99	21.56	44.68	35.40	56.42	50.81	75.90	114.53
85	15.37	12.20	23.12	21.69	44.95	35.62	56.76	51.12	76.35	115.21
86	15.46	12.27	23.26	21.81	45.21	35.83	57.09	51.42	76.80	115.89
87	15.55	12.34	23.39	21.94	45.47	36.03	57.42	51.71	77.24	116.55
88	15.64	12.41	23.53	22.06	45.70	36.24	57.75	52.01	77.68	117.22
89	15.73	12.48	23.66	22.19	45.99	36.44	58.08	52.30	78.12	117.89
90	15.81	12.55	23.79	22.31	46.25	36.67	58.40	52.60	78.55	118.54
91	15.90	12.68	23.99	22.44	46.50	36.85	58.72	52.99	78.99	119.20
92	15.99	12.69	24.06	22.56	46.76	37.05	59.05	53.18	79.43	119.86
93	16.08	12.76	24.19	22.68	47.01	37.25	59.37	53.47	79.86	120.51
94	16.16	12.83	24.32	22.80	47.26	37.45	59.68	53.75	80.28	121.15
95	16.25	12.90	24.45	22.92	47.52	37.65	60.00	54.04	80.71	

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	10"
96	16.33	12.96	24.57	23.04	47.77	37.85	60.32	54.32	81.14	
97	16.42	13.03	24.70	23.16	48.01	38.05	60.63	54.60	81.56	
98	16.50	13.10	24.83	23.28	48.26	38.24	60.94	54.88	81.97	
99	16.59	13.16	24.95	23.40	48.50	38.44	61.26	55.16	82.40	
100	16.67	13.23	25.08	23.52	48.75	38.63	61.56	55.44	82.81	
101	16.75	13.30	25.21	23.64	48.99	38.82	61.87	55.72	83.22	
102	16.84	13.36	25.33	23.76	49.24	39.02	62.18	55.99	83.64	
103	16.92	13.43	25.45	23.87	49.48	39.21	62.48	56.27	84.04	
104	17.00	13.49	25.58	23.99	49.72	39.39	62.78	56.54	84.45	
105	17.08	13.56	25.70	24.10	49.95	39.58	63.08	56.81	84.86	
106	17.16	13.62	25.82	24.22	50.19	39.77	63.38	57.08	85.26	
107	17.24	13.69	25.94	24.33	50.43	39.96	63.68	57.35	85.66	
108	17.32	13.75	26.06	24.44	50.66	40.14	63.97	57.61	86.06	
109	17.40	13.81	26.18	24.55	50.90	40.33	64.27	57.88	86.45	
110	17.48	13.88	26.30	24.67	51.13	40.52	64.56	58.15	86.85	
111	17.56	13.94	26.42	24.78	51.36	40.70	64.86	58.41	87.25	
112	17.64	14.00	26.54	24.89	51.59	40.88	65.15	58.67	87.64	
113	17.72	14.06	26.66	25.00	51.82	41.06	65.44	58.93	88.03	
114	17.80	14.13	26.78	25.11	52.05	41.25	65.73	59.19	88.42	
115	17.88	14.19	26.90	25.22	52.27	41.42	66.02	59.45	88.80	
116	17.95	14.25	27.01	25.33	52.50	41.60	66.30	59.71	89.19	
	18.03	14.31	27.12	25.44	52.73	41.79	66.59	59.97	89.58	
118	18.11	14.37	27.24	25.55	52.96	41.96	66.87	60.22	89.96	
119	18.19	14.43	27.36	25.66	53.18	42.14	67.16	60.48	90.34	
120	18.26	14.49	27.47	25.76	53.40	42.31	67.43	60.73	90.71	
121	18.34	14.55	27.59	25.87	53.63	42.49	67.72	60.98	91.09	
122	18.41	14.61	27.70	25.98	53.84	42.67	67.99	61.23	91.46	
123	18.49	14.67	27.82	26.09	54.07	42.84	68.27	61.49	91.84	
124	18.56	14.73	27.92	26.19	54.29	43.02	68.55	61.74	92.21	
125	18.64	14.79	28.04	26.30	54.50	43.19	68.82	61.98	92.58	
126	18.71	14.85	28.15	26.40	54.72	43.36	69.10	62.23	92.95	
127	18.79	14.91	28.26	26.50	54.94	43.53	69.37	62.48	93.32	
128	18.86	14.97	28.38	26.61	55.16	43.71	69.65	62.72	93.69	
129	18.93	15.03	28.49	26.71	55.37	43.88	69.92	62.97	94.06	
130	19.01	15.08	28.60	26.82	55.58	44.05	70.19	63.21	94.42	
131	19.08	15.14	28.71	26.92	55.80	44.22	70.46	63.46	94.78	
132	19.15	15.20	28.81	27.02	59.01	44.38	70.73	63.70	95.14	
133	19.23	15.26	28.92	27.13	56.02	44.55	70.99	63.94	95.50	
134	19.30	15.32	29.03	27.23	56.43	44.72	71.26	64.18	95.86	
135	19.37	15.37	29.14	27.33	56.64	44.88	71.53	64.42	96.22	
136	19.44	15.43	29.25	27.43	56.85	45.05	71.79	64.65	96.57	
137	19.51	15.49	29.36	27.53	57.06	45.22	72.06	64.89	96.93	
138	19.58	15.54	29.46	27.63	57.27	45.38	72.31	65.13	97.28	
139	19.65	15.60	29.57	27.73	57.48	45.54	72.58	65.36	97.63	
	19.72	15.65	29.67	27.83	57.68	45.71	72.84	65.60	97.98	
41	19.79	16.71	29.78	27.93	57.89	45.87	73.10	65.83	98.33	
42	19.86	15.76	29.89	28.03	58.09	46.03	73.35	66.06	98.68	

h	ORIFICIO 3"		ORIFICIO 4"		ORIFICIO 5"		ORIFICIO 6"		ORIF. 7"	ORIF. 8"
	Tubo 4"	6"	6"	8"	6"	8"	8"	10"	10"	
43	19.93	15.82	29.99	28.13	58.30	46.19	73.61	66.30	99.02	
44	20.00	15.88	30.10	28.22	58.50	46.36	73.87	66.53	99.37	
45	20.07	15.93	30.20	28.32	58.70	46.52	74.13	66.75	99.72	
46	20.14	15.99	30.30	28.42	58.90	46.68	74.38	66.99	100.06	
47	20.21	16.04	30.41	28.52	59.10	46.84	74.64	67.22	100.40	
48	20.28	16.10	30.51	28.61	59.31	47.00	74.89	67.45	100.75	
49	20.35	16.15	30.62	28.71	59.51	47.16	75.15	67.68	101.09	
50	20.42	16.20	30.72	28.80	59.70	47.31	75.39	67.90	101.42	
51	20.48	16.26	30.82	28.90	59.90	47.47	75.64	68.12	101.76	
52	20.55	16.31	30.92	29.00	60.10	47.63	75.90	68.35	102.10	
53	20.62	16.36	31.02	29.09	60.30	47.78	76.14	68.57		
54	20.69	16.42	31.12	29.19	60.50	47.94	76.40	68.80		
55	20.75	16.47	31.22	29.28	60.69	48.09	76.64	69.02		
56	20.82	16.52	31.32	29.38	60.89	48.25	76.89	69.24		
57	20.89	16.58	31.43	29.47	61.08	48.40	77.13	69.47		
58	20.95	16.63	31.53	29.56	61.28	48.56	77.38	69.69		
59	21.02	16.68	31.63	29.66	61.47	48.71	77.63	69.91		
60	21.09	16.73	31.72	29.75	61.66	48.86	77.87	70.13		
61	21.15	16.75	31.82	29.84	61.86	49.02	78.11	70.35		
62	21.22	16.84	31.92	29.94	62.05	49.17	78.35	70.56		
63	21.28	16.89	32.02	30.03	62.24	49.32	78.59	70.78		
64	21.35	16.94	32.12	30.12	62.43	49.47	78.83	71.00		
65	21.41	16.99	32.22	30.21	62.62	49.62	79.07	71.21		
66	21.48	17.05	32.31	30.30	62.81	49.77	79.31	71.43		
67	21.54	17.10	32.41	30.39	63.00	49.92	79.55	71.65		
68	21.61	17.15	32.51	30.48	63.18	50.07	79.79	71.86		
69	21.67	17.20	32.60	30.58	63.38	50.22	80.03	72.07		
70	21.73	17.25	32.70	30.67	63.56	50.37	80.26	72.28		
71	21.80	17.29	32.80	30.76	63.75	50.52	80.50	72.50		
72	21.86	17.35	32.89	30.85	63.94	50.66	80.74	72.71		
73	21.93	17.40	32.99	30.94	64.12	50.81	80.97	72.92		
74	21.99	17.45	33.08	31.03	64.31	50.96	81.20	73.13		
75	22.05	17.50	33.18	31.11	64.49	51.10	81.44	73.34		
76	22.11	17.55	33.27	31.20	64.67	51.24	81.67	73.55		
77	22.18	17.60	33.37	31.29	64.86	51.39	81.90	73.76		
78	22.24	17.65	33.46	31.38	65.04	51.54	82.13	73.97		
79	22.30	17.70	33.55	31.47	65.22	51.68	82.36	74.17		
80	22.36	17.75	33.65	31.55	65.40	51.83	82.59	74.38		

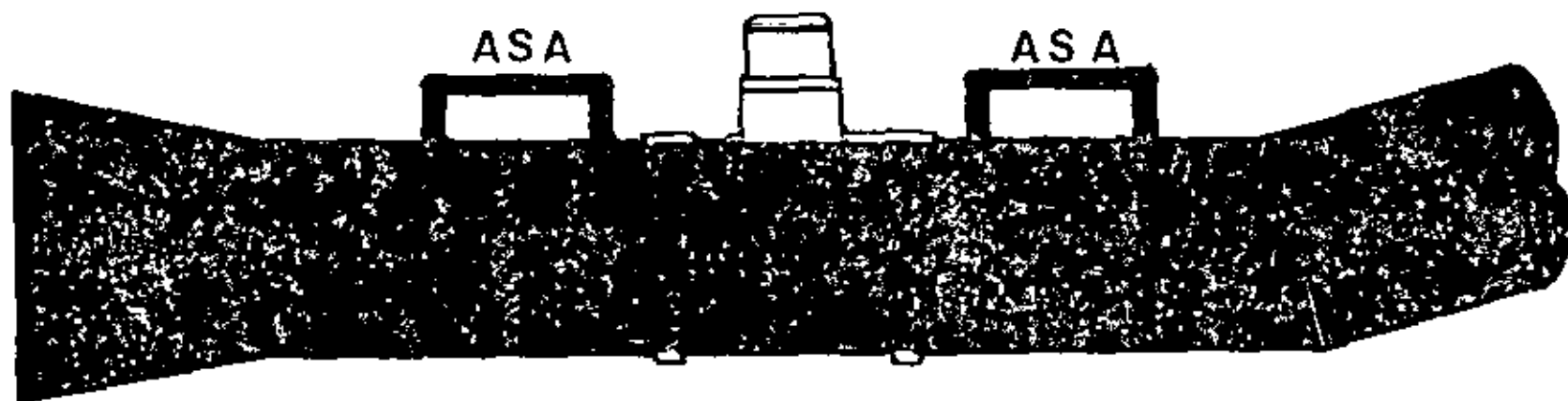
5). - Medidor de Flujo. - Existen diferentes marcas de medidores de flujo de baja presión, son compactos y portátiles, instalados sobre un tubo de longitud adecuada al rango del medidor. Este tubo tiene en su extremo de entrada una campana para permitir su conexión al tubo de descarga de la bomba, en su otro extremo tiene soldado un ángulo con descarga hacia arriba, que permite operar el medidor completamente ahogado a su máxima eficiencia (ver Fig. 13).

Se fabrican en diferentes medidas desde 4" hasta 12" de diámetro y para gastos de 3.0 lps. a 126.0 lps.

Para aforar mediante el empleo del medidor, el procedimiento a seguir es variar la velocidad del motor en escalones de 100 en 100 rpm y en cada uno de ellos medir el gasto que proporciona al medidor en lps, y tomar el nivel de bombeo, la velocidad del motor y el nivel estático antes y después de la prueba. La construcción de la gráfica Gasto-Nivel de Bombeo y su interpretación, así como recuperación del pozo, se sigue la misma secuela mencionada en el método de orificio.

De acuerdo con los fabricantes el margen de error en las lecturas de gasto es del 2%.

6). - Medición en Canal. - Para obtener la medición de gasto de un pozo, mediante el empleo de un canal, es necesaria la construcción de un vertedor el cual puede ser de sección rectangular ó triangular que son los más usuales, también se emplea el trapecial ó Cipolletti y deben de reunir para su aplicación los siguientes requisitos:



MEDIDOR DE FLUJO

FIGURA No. 13

45

46

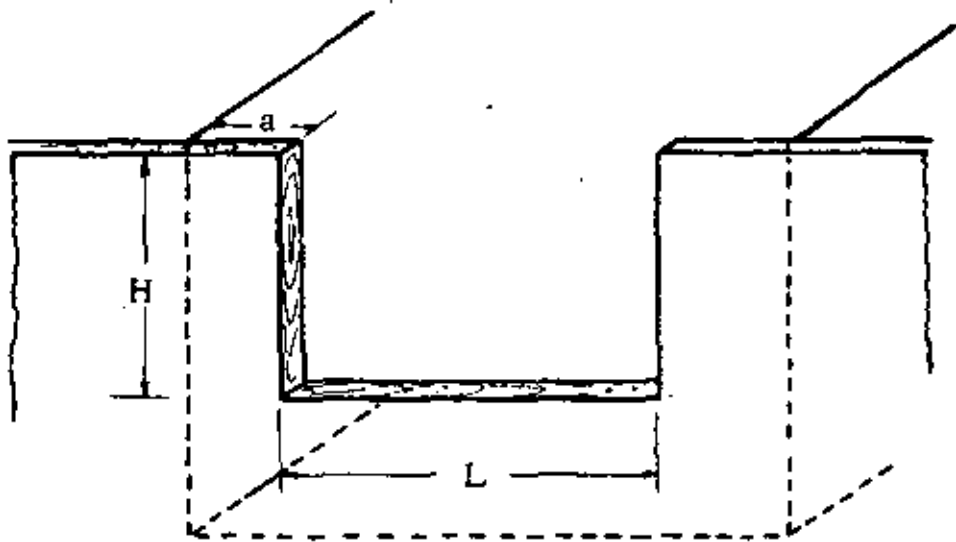
- a). - El canal debe tener cierta pendiente en el punto que se localize el vertedor, para permitir la retención parcial del agua y el derrame sobre el vertedor.
- b). - La cresta del vertedor deberá estar perfectamente horizontal, - excepto en el triangular y suficientemente alta para permitir un derrame libre aguas abajo.

Para efectuar una adecuada medición, se deberá tomar en -
consideración:

- a). - La lectura del tirante de agua sobre la cresta en el vertedor rec
tangular ó sobre el vertice en el triangular, se deberá tomar --
aguas arriba del vertedor, donde se tenga un flujo laminar.
- b). - Para la aplicación de las tablas que se anexan, es conveniente -
que la longitud de la cresta sea de 0.30, 0.90 ó 1.50 m. en el -
vertedor rectangular ó el ángulo del vertedor triangular sea de -
60° ó 90°.

Para determinar el gasto de un pozo en un momento dado, -
es necesario tomar los siguientes datos en el campo:

- a). - Nivel Estático
- b). - Nivel de Bombeo
- c). - Tirante del agua sobre la cresta ó vertice
- d). - Longitud de la cresta (vértedor rectangular).

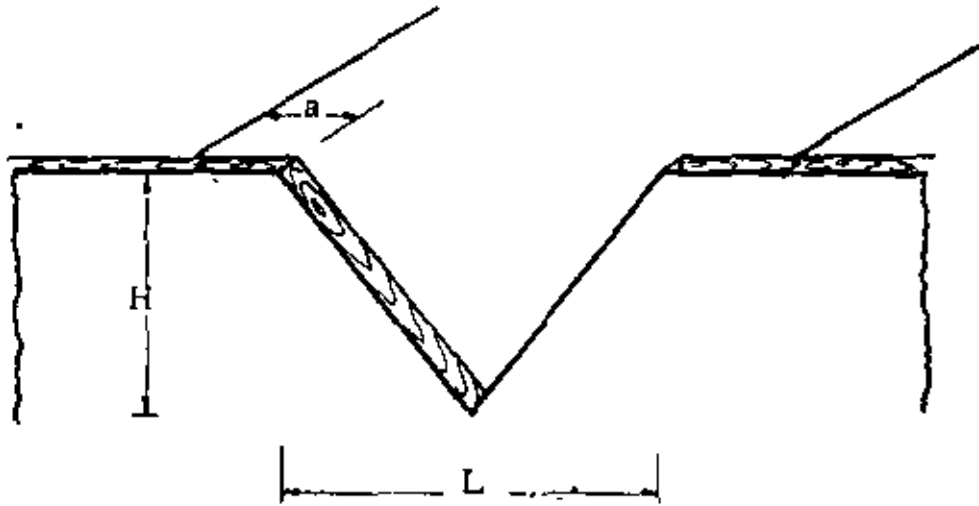


VERTEDOR RECTANGULAR

- Q = Gasto en lts/Seg.
 H = Tirante del agua en cm.
 L = Ancho del vertedor en cm.
 L = Debe ser de 4 a 8 veces H .
 $a \geq 3 H$.

$$Q = 1.84 L H^{3/2}$$

FIGURA No. 14



VERTEDOR TRIANGULAR

Q = Gasto en lts/Seg.

C = Constante experimental = 0.57

H = Altura del agua a partir del vértice.

L = Ancho de la lámina de agua a la altura H.

$$a \geq \frac{3}{4} L$$

$$Q = 0.01178 C L H^{3/2}$$

Seleccionando las tablas adecuadas al vertedor que se tenga, se obtiene el gasto directamente en l. p. s. entrando con los datos de los incisos c y d mencionados.

Para efectuar el aforo de un pozo, se construye en la descarga del mismo un canal, con la estructura vertedora que se desee en su extremo y se bombea el pozo a diferentes velocidades del motor, como en los casos anteriores es conveniente en escalones de 100 a 100 rpm y se toman los datos que se mencionan.

La tabulación de los datos de campo quedaría así:

R. P. M.	N. B. (m)	H (cms)	L (cms) 6 ✕	Gasto (L. P. S.)
1 200	11.00	7.5	90.00	33.4
1 300	13.20	8.5	90.00	40.3
1 400	14.60	9.0	90.00	43.8
1 500	16.80	9.5	90.00	47.5
1 600	19.20	10.0	90.00	51.1
1 700	21.10	10.5	90.00	55.0
1 800	23.40	11.0	90.00	59.0
1 900	25.00	11.5	90.00	63.0
2 000	25.30	12.0	90.00	67.0

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE EL EMPLEO DE UN
VERTEDOR RECTANGULAR

El valor "S" que aparece en las tablas indica los lts/seg. que hay que sumar por cada 30 cms. de aumento en el valor de L. La tabla se dedujo en la formula: $G = 0.0184 (L - Q 2H) H^3$.

H cms.	Longitud 30	L 90	en cms. 150	S.
2	1.5	4.7	7.8	1.6
2.5	1.9	5.7	9.6	1.9
3	2.8	8.6	14.3	2.9
3.5	3.5	10.7	19.9	3.6
4	4.3	13.1	21.9	4.4
4.5	5.1	15.6	26.1	5.3
5	6.0	18.3	30.7	6.2
5.5	6.9	21.1	35.3	7.1
6	7.8	24.0	40.2	8.1
6.5	8.8	27.1	45.4	9.2
7	9.7	30.1	50.5	10.2
7.5	10.7	33.4	56.0	11.3
8	11.8	36.8	61.7	12.5
8.5	12.9	40.3	67.6	13.7
9	14.0	43.8	73.7	14.9
9.5	15.2	47.5	79.8	16.2
10	16.3	51.1	86.0	17.4
10.5	17.5	55.0	92.6	18.8
11	18.7	59.0	99.3	20.2
11.5	19.9	63.0	106.1	21.5
12	21.1	67.0	112.9	23.0
12.5	22.4	71.1	119.9	24.4
13	23.7	75.4	127.2	25.9
13.5	24.9	79.7	134.5	27.4
14	26.2	84.1	141.9	28.9
14.5	27.5	88.5	149.5	30.5
15	28.9	93.0	157.1	32.1
15.5	37.5	97.5	164.8	33.6
16		102.3	172.9	35.3
16.5		106.9	180.9	37.0
17		113.0	191.3	39.2
17.5		116.5	197.3	40.4
18		121.5	205.8	42.2
18.5		126.3	214.2	43.9
19		131.4	222.8	45.7
19.5		136.4	231.4	47.5
20		141.5	240.2	49.4
20.5		146.7	249.2	51.2
21		151.9	258.1	53.1
21.5		157.2	267.2	55.0

H cms.	Longitud 30	L 90	en cms. 150	S.
22		162.6	276.5	57.0
22.5		167.8	285.6	58.9
23		173.4	295.2	60.9
23.5		178.8	304.6	62.9
24		184.4	314.2	64.9
24.5		190.3	324.4	67.1
25		195.2	332.9	68.9
26		206.0	351.7	72.9
27		217.9	372.5	77.3
28		229.8	393.2	81.7
29		241.6	413.7	86.1
30		253.5	436.0	91.3
31		265.8	456.1	95.2
32		277.5	476.6	99.6
33		288.7	499.2	105.3
34		304.8	524.5	109.9
35		315.4	543.3	114.0
36		329.1	567.5	119.2
37		341.6	589.8	124.1
38		354.8	613.2	129.2
39		367.5	635.8	134.1
40		381.7	661.0	139.7
41		395.1	684.9	144.9
42		408.4	708.7	150.2
43		422.4	733.7	155.7
44		436.3	758.7	161.2
45		450.1	783.5	166.7
46		463.3	808.3	172.2
47		480.0	837.3	178.7
48		491.2	857.7	183.3
49		505.4	883.5	189.1
50		520.3	910.6	195.1

DETERMINACION DE GASTOS MEDIANTE UN EMPLEO
DE UN VERTEDOR TRIANGULAR

H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
2.0	0.08	0.04
2.5	0.13	0.08
3.0	0.21	0.12
3.5	0.33	0.19
4.0	0.43	0.24
4.5	0.58	0.33
5.0	0.75	0.43
5.5	0.95	0.55
6.0	1.18	0.68
6.5	1.44	0.83
7.0	1.74	1.00
7.5	2.07	1.19
8.0	2.43	1.40
8.5	2.84	1.64
9.0	3.26	1.88
9.5	3.73	2.15
10.0	4.25	2.45
10.5	4.80	2.77
11.0	5.38	3.11
11.5	6.01	3.47
12.0	6.70	3.86
12.5	7.42	4.28
13.0	8.18	4.72
13.5	9.00	5.19
14.0	9.85	5.68
14.5	10.76	6.21
15.0	11.70	6.75
15.5	12.70	7.33
16.0	13.75	7.93
16.5	14.85	8.57
17.0	16.01	9.23
17.5	17.22	9.93
18.0	18.45	10.65
18.5	19.74	11.39
19.0	21.12	12.18
19.5	22.58	13.03
20.0	24.04	13.87
20.5	25.57	14.75
21.0	27.17	15.68
21.5	28.78	16.61
22.0	30.46	17.58

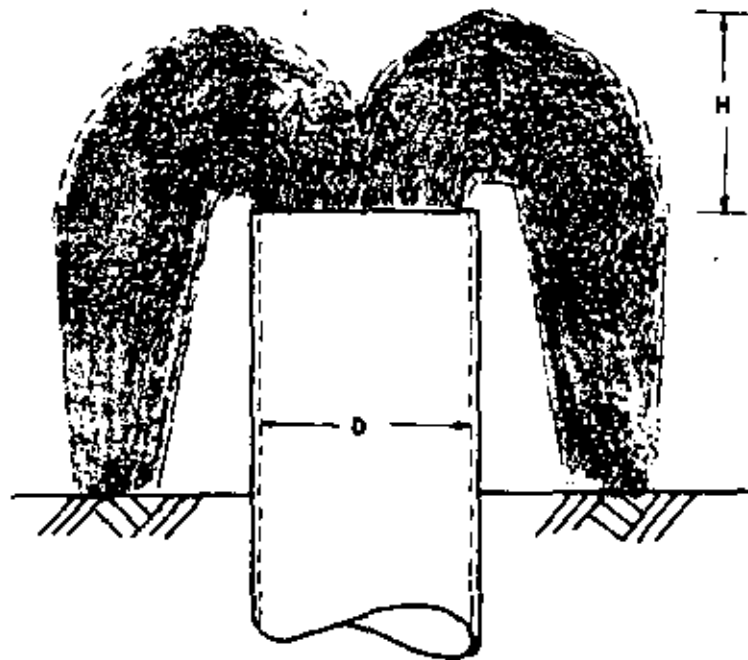
H cms.	Gasto 90°	lts/seg. 60°
22.5	32.21	18.59
23.0	33.89	19.56
23.5	35.91	20.72
24.0	37.93	21.88
24.5	39.95	23.05
25.0	41.96	24.21
26.0	46.40	26.77
27.0	50.84	29.33
28.0	55.68	32.13
29.0	60.69	35.08
30.0	66.31	38.26
31.0	71.55	41.28
32.0	77.74	44.85
33.0	83.93	48.42
34.0	90.52	52.22
35.0	97.24	56.10
36.0	104.64	60.37
37.0	112.04	64.64
38.0	119.44	68.90
39.0	120.36	73.64
40.0	135.85	78.38
41.0	144.18	83.19
42.0	153.46	88.54
43.0	162.48	93.74
44.0	172.29	99.41
45.0	182.65	105.38
46.0	192.60	111.12
47.0	203.23	117.25
48.0	214.12	123.54
49.0	225.83	130.29
50.0	237.80	137.20
51.0	249.50	143.95
52.0	261.87	151.09
53.0	274.38	158.30
54.0	287.16	165.68
55.0	301.28	173.82
56.0	316.08	182.36
57.0	329.53	190.12
58.0	344.32	198.66
59.0	359.12	207.19
60.0	373.91	215.73

DIAMETROS DE TUBOS

H Cms.	2"	3"	4"	5"	6"	7"	8"	10"
7	2.12	4.66	8.19	13.10	18.86	25.67	34.32	57.75
8	2.27	5.04	8.86	14.16	20.16	27.44	36.96	62.26
9	2.40	5.35	9.40	15.02	21.63	29.44	39.74	66.15
10	2.56	5.76	10.02	15.83	23.05	31.38	42.80	70.43
11	2.69	6.05	10.51	16.79	24.45	33.28	45.38	74.63
12	2.84	6.31	10.97	17.54	25.81	35.14	47.89	77.94
13	2.99	6.65	11.68	18.26	26.87	36.58	48.95	81.95
14	3.10	6.90	12.12	18.95	28.19	38.37	52.27	85.04
15	3.24	7.22	12.55	19.83	29.49	40.14	54.66	88.01
16	3.35	7.45	13.10	20.48	30.46	41.46	56.45	91.80
17	3.49	7.76	13.51	21.11	31.39	43.18	58.78	94.62
18	3.63	7.99	13.90	21.96	32.31	44.44	60.49	97.38
19	3.73	8.21	14.28	22.56	33.54	45.66	62.77	100.04
20	3.82	8.42	14.81	23.14	34.41	46.80	64.40	102.63
22	4.01	8.93	15.53	24.53	36.09	49.64	67.54	107.64
24	4.19	9.33	16.23	25.63	37.70	51.85	70.55	112.43
	4.41	9.81	16.89	26.67	39.65	54.53	73.43	117.02
	4.51	10.18	17.72	27.98	41.15	56.59	76.20	121.45
30	4.78	10.54	18.34	28.96	43.03	58.57	79.66	125.70
32	4.94	10.88	18.94	29.91	44.45	60.50	82.28	129.63
34	5.14	11.34	19.73	30.83	45.81	63.00	84.81	133.62
36	5.29	11.66	20.30	31.73	47.14	64.83	87.26	137.70
38	5.44	11.98	20.86	32.94	48.43	66.60	89.65	141.46
40	5.64	12.30	21.40	33.80	49.70	68.34	91.99	145.16
42	5.77	12.60	21.93	34.63	50.92	70.03	94.26	148.74
44	5.91	12.89	22.45	35.45	52.12	71.67	96.47	152.23
46	6.04	13.18	23.19	36.24	53.29	73.28	98.64	155.65
48	6.17	13.47	23.69	37.02	54.43	74.86	100.76	159.00
50	6.30	13.89	24.18	38.18	55.56	76.40	102.84	162.28
55	6.61	14.57	25.36	40.05	58.87	80.95	107.86	170.20
60	6.90	15.21	26.49	41.83	61.49	84.55	112.66	177.77
65	7.18	15.84	27.58	43.54	64.00	88.01	117.27	185.05
70	7.45	16.43	28.92	45.18	66.42	91.33	121.69	192.02
75	7.79	17.19	29.93	46.76	68.74	94.52	125.95	198.75
80	8.05	17.75	30.91	48.30	71.00	97.62	130.08	205.26
85	8.30	18.30	31.86	49.79	73.19	100.64	134.10	211.60
90	8.54	18.83	32.79	51.23	75.31	103.55	137.98	217.73
95	8.77	19.35	33.69	52.63	77.37	106.39	141.76	223.69
	9.09	19.85	34.56	54.00	79.38	109.15	145.44	229.50

MEDICION DE POZO BROGANTE

$$G = 0.223 c D^2 \sqrt{H}$$



- G = GASTO EN LITROS SEGUNDO
 C = CONSTANTE EXPERIMENTAL
 D = DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO EN PULGADAS
 H = ALTURA DEL CHORRO EN CENTIMETROS

FIGURA No. 16

B I B L I O G R A F I A

Perforación de Pozos y
Equipos de Bombeo

Ing. Hebert del Valle Florencia



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS PARA AGUA

ING. JOSE MARIA BOLIVAR DEL VALLE

OCTUBRE, 1980

I

DISEÑO Y TERMINACION DE POZOS DE AGUA

	I N D I C E	PAG.
I.-	<u>INTRODUCCION</u>	1
II.-	<u>TIPOS DE POZOS DE AGUA</u>	4
	A.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS POZOS DE DESARROLLO NATURAL	4
	B.- CASOS EN QUE RESULTA CONVENIENTE LA CONSTRUCCION DE POZOS CON FILTRO GRANULAR	4
III.-	<u>FACTORES DE DISEÑO</u>	6
	A.- DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ADEME	6
	B.- PROFUNDIDAD DEL POZO	7
	C.- LONGITUD DEL CEDAZO O REJILLA	8
	D.- RESISTENCIA DE LOS ADEMES	12
	E.- APERTURA DE LAS RANURAS DE LA REJILLA	21
	F.- DISEÑO DEL FILTRO GRANULAR	21
IV.-	<u>EJEMPLO DE DISEÑO</u>	29
V.-	<u>ALGUNOS ERRORES COMUNES EN EL DISEÑO DE POZOS</u> ..	33
	A.- RELACION CAUDAL-LONGITUD DEL CEDAZO	33
	B.- RELACION CAUDAL-DIAMETRO	33
	C.- FLUJO A TRAVES DEL FILTRO	33
VI.-	<u>TERMINACION DEL POZO</u>	37
	A.- AMPLIACIONES	37
	B.- EL ADEMADO DEL POZO	37
	C.- TAPON DE FONDO	38
	D.- METODOS DE ENGRAVADO	39
	E.- DESARROLLO Y AFORO	40

INDICE DE FIGURAS

	PAG.
FIG. 1 Relaciones Abatimiento-Rendimiento-Capacidad específica	10
FIG. 2 Límites de Profundidad para Ademes de Acero	16
FIG. 3 Curvas Granulométricas	24
FIG. 4 Curva maestra para establecer el tamaño típico - de grano.....	25
FIG. 5 Corte de Terminación de Pozo	32
FIG. 6 Incremento del Caudal en Función del Diámetro - del Pozo	34
FIG. 7 Corte de Terminación de Pozo	35

INDICE DE TABLAS

	PAG.
TABLA 1.- Metales utilizados en la fabricación de rejillas.	15
TABLA 2.- Propiedades mecánicas del Ademe de P.V.C....	17
TABLA 3.- Areas Libres de Cedazos	18
TABLA 4.- Caudal admitido por m. de Cedazo	19
TABLA 5.- Cuadro comparativo de Cedazos	20

1.- INTRODUCCION

Como premisa inicial debe quedar bien asentado que un pozo de agua no es solamente un agujero con algunas aberturas por donde penetra el agua, sino una obra hidráulica que debe proyectarse y construirse en forma técnica y económica.

Si solo consideráramos la inversión inicial un pozo bien construido (evidentemente bien proyectado), puede parecer caro -- comparado con un hecho ilícitamente, pero se puede asegurar -- que en la gran mayoría de los casos, este aparente ahorro resulta sumamente caro a la larga.

Un pozo bien diseñado ofrece las siguientes ventajas:

Larga vida.

Caudal constante a través del tiempo, siempre que no existan problemas regionales que lo afecten.

Agua libre de sólidos en suspensión.

Preserva al equipo de bombeo.

El pozo de agua es una obra muy particular, pues no es posible su correcto diseño hasta que no se inicie la obra; en -- otras palabras el diseño del pozo requiere necesariamente de una perforación exploratoria, en la cual se colecten muestras representativas de los estratos atravesados y en la que se -- correrá además un registro eléctrico de potencial y resisti-- vidad (en otros países se ha vuelto práctica rutinaria el co-- rrer además un registro radiactivo).

El registro eléctrico es motivo de otra exposición por lo que no será tratado aquí, pero recalcaremos nuevamente que junto con las muestras de perforación es una herramienta esencial -- para un buen diseño.

Por lo que respecta a las muestras provenientes del sondeo -- exploratorio, lo normal, en pozos de agua es coleccionar simplemente muestras de canal, tomadas en el retorno del fluido de perforación, en el caso, de las perforadoras rotarias y en el material cuchareado en el caso de las de percusión.

La práctica usual consiste en coleccionar una muestra cada 2 m. perforados, pero sería conveniente adicionarle muestras de cada cambio litológico, sea cual fuere su posición.

Las muestras deberán ser lavadas y secadas antes de ser envasadas, y en cada una de ellas se anotará el pozo e intervalo de donde provienen.

El origen en cuanto a posición de las muestras no siempre es fácil de determinar con exactitud sobre todo si la perforación se efectúa por percusión o una rotaria directa: En el primer caso la barrena corta un cierto intervalo entre cada cuchareo y la muestra obtenida será una mezcla de él; como el tramo es relativamente corto, el error es prácticamente despreciable. En cambio en la perforación rotaria directa con lodos, si se muestrean estratos situados a cierta profundidad, el material es fácilmente perforable y si además la bomba de que se dispone no fuera de tamaño adecuado, se produce un remolido de la muestra o simplemente se requiere cierto tiempo para que el corte ascienda a la superficie, por otra parte algún material inestable de un tramo ya perforado puede caer al fondo y retornar con la verdadera muestra contaminándola.

El método aconsejable para obtener una muestra representativa en composición y posición, consiste en:

- Levantarse la barrena unos centímetros al llegar al punto de muestreo y circular lodo hasta obtenerlo limpio de corte.
- Reiniciar la perforación colectándose la primer muestra que retorne.

Evidentemente este sistema de muestreo incrementa el costo de la perforación exploratoria, pues implica una parada cada 2 m. lo cual en materiales blandos puede significar más tiempo esperando muestra que perforando, razón por la cual no es muy utilizado en la perforación para agua.

Otro sistema más expedito aunque menos confiable consiste en calcular la velocidad del lodo en el retorno a la superficie a partir del caudal de la bomba y del área de retorno:

$$v = \frac{Q}{A}$$

y posteriormente el tiempo de retorno a partir de dicha velocidad y la profundidad de donde proviene la muestra:

$$t = \frac{l}{v}$$

Cuando la barrenas se encuentre en el punto de profundidad l se dejará transcurrir un tiempo t para coleccionar la muestra.

No obstante la práctica más usual, aún cuando no sea la más aconsejable es no considerar el tiempo de retorno y situar los contactos litológicos por comparación con el registro eléctrico.

Sea cual sea el criterio adoptado para el muestreo, el paso siguiente será la elaboración de la columna estratigráfica -- con una descripción lo más amplia posible de los estratos; por ejemplo:

"Arenas de color gris oscuro, de tamaño medio a fino y con algo de limo".

A continuación se correlacionará dicha columna estratigráfica con el registro eléctrico y se seleccionarán el o los acuíferos que se pretenden explotar. Será este el primer paso del diseño del pozo.

Comentamos al principio que antes de poder diseñar el pozo -- era necesaria la perforación exploratoria que constituya la base de el proyecto, ahora una vez efectuada esta, corrido el registro eléctrico, y con otros datos provenientes de la bitácora de perforación como pérdidas de fluidos, penetración, etc. ya tendríamos una idea de la calidad del futuro pozo y con esta idea y las necesidades de agua se procederá al proyecto definitivo pero quedando siempre un cierto margen de incertidumbre, que no se despejará hasta que completamente finalizada la obra se pueda proceder a su aforo.

Desde luego parte de esta incertidumbre se disipa si el trabajo se realiza en una región ya conocida, pero aún entonces un pozo de agua implica siempre un cierto factor de riesgo que disminuirá en proporción directa a la calidad técnica y experiencia del constructor.

II.- TIPOS DE POZOS DE AGUA

En estas charlas trataremos del diseño de pozos ademados y por tanto con rejilla, puesto que los pozos perforados en formaciones rocosas estables, que no requieren ademe, son de diseño más simple y por consiguiente los criterios que exponemos son válidos para este segundo caso.

Por otra parte debemos distinguir dos tipos de pozos, aunque uno de ellos se construya muy poco en México; es el caso de los pozos de desarrollo natural, o sea, pozos en los cuales el ademe está en contacto con la formación. A pesar de no ser comunes en nuestro medio este tipo de pozos ofrecen ventajas que en muchos casos los tornan muy convenientes.

El otro tipo de pozos, es el que nos es más común, o sea los pozos con filtro granular.

A.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS POZOS DE DESARROLLO NATURAL

A-1 VENTAJAS

Requieren de menos diámetro en la perforación y por tanto, se abarata ésta.

Se facilita la limpieza y desarrollo del pozo.

Pozos de mayor capacidad específica, lo que además de abatir los costos de explotación prolonga la vida útil del pozo.

La construcción del pozo se abarata también al eliminarse el filtro granular.

A-2 DESVENTAJAS

Su empleo está limitado por condiciones litológicas, y en caso de no utilizar las muestras de perforación adecuadamente, el pozo puede resultar productor de sólidos provenientes de acuífero.

Su diseño requiere de información fiel proveniente de la perforación exploratoria y de técnica más sofisticada por parte del diseñador del pozo.

El desarrollo del pozo necesariamente deberá efectuarse en forma concienzuda, pues en caso contrario se corre el riesgo de malograr la obra.

B.- CASOS EN QUE RESULTA CONVENIENTE LA CONSTRUCCION DE POZOS CON FILTRO GRANULAR.

Acuiferos de arena fina uniforme o de areniscas de grano fino poco compactadas. Este tipo de formaciones, debido al pequeño tamaño de sus gránulos, obligan el uso de ranuras sumamente finas, que pueden estar fuera de los alcances de los fabricantes de cedazo. Por otra parte, ranuras muy finas implican bajos porcentajes de área libre, que como veremos es perjudicial para el buen funcionamiento del pozo. En cambio la utilización del filtro granular permite aumentar el tamaño de la ranura del cedazo.

Pozos que por alguna razón, como puede ser el haberse perforado con una perforadora rotaria inversa, presenten un gran espacio anular y por tanto no existe buen contacto entre la formación y el ademe. Algo semejante ocurre cuando un acuifero muy potente permite abatir costos utilizando cedazos de pequeño diámetro.

Formaciones interestratificadas poco potentes y heterogeneas. En estas condiciones, sobre todo si el pozo es profundo, resulta prácticamente imposible determinar con precisión la localización de los distintos estratos y diseñar un cedazo de ranuras múltiples, lo que obliga a utilizar un filtro granular que se seleccionará de acuerdo al material más fino, que será el que presente mayores problemas.

III.- FACTORES DE DISEÑO

A.- DIAMETRO DE LA TUBERIA DE ADEME

Los pozos de agua poco profundos o con niveles de bombeo cercanos al fondo del pozo, se diseñan generalmente con un solo diámetro pero en caso contrario, resulta más económico reducir el diámetro unos metros abajo de la profundidad a que se pretenda colocar la bomba. Por consiguiente trataremos por separado la cámara de bombeo sea o no filtrante y el resto del pozo que llamaremos porción filtrante.

A-1 CAMARA DE BOMBEO

El mejor criterio para una buena selección del diámetro de la cámara de bombeo consiste en escoger el tubo de ademe con un diámetro nominal (medido en pulgadas), cuatro números mayor que el que suponemos va a requerir la bomba del pozo.

Por ejemplo si esperamos utilizar una bomba de 12" (30.48 cm) de diámetro conviene seleccionar un diámetro para la cámara de 16" (40.64 cm).

El mínimo diámetro que deberá permitirse será el que permita una holgura de 1" alrededor del tazón de la bomba, o sea que en el caso del ejemplo como mínimo se seleccionará un ademe de 14" (35.56 cm)

La holgura de 2" recomendada permite que la bomba de turbina entre libremente en el pozo, con su eje vertical y sin curvas, aún cuando la verticalidad del pozo no sea perfecta. Además esta holgura, permite reducir las pérdidas por fricción al mínimo, aún cuando la bomba se encuentre por debajo de algún tramo filtrante.

A-2 PORCION FILTRANTE

El diámetro de la porción filtrante debe seleccionarse solo en función de la velocidad de entrada del agua al pozo:

$$Q = v A$$

$$v = \frac{Q}{A}$$

DONDE:

v = Velocidad de entrada del agua al pozo.

Q = Caudal

A = Area libre de entrada del caudal.

Se ha comprobado práctica y experimentalmente que si la velocidad de entrada del agua al pozo no rebasa los 3 cm/seg. se obtienen las siguientes ventajas:

Lás pérdidas por fricción al penetrar el agua al pozo se reducen a un mínimo.

Esta baja velocidad no provoca o disminuye considerabimente el arrastre de finos hacia el pozo.

Se reducen apreciablemente los fenómenos de incrustación y corrosión.

Durante la perforación exploratoria del pozo se tienen varios indicios de su futura calidad, además de la observación de las muestras registro eléctrico y la experiencia previa en la región. Estos datos, debidamente aquilatados, nos permiten suponer con cierta aproximación el caudal que se puede esperar en esa explotación, si bién es este, junto con la localización, el factor de riesgo que siempre implica es te tipo de obras.

Por lo que respecta al área libre disponible, depende de la longitud de la porción filtrante, tamaño de ranuras del cedazo y porcentaje de área libre del mismo. La selección de estas variantes será tratada en breve.

8.- PROFUNDIDAD DEL POZO.

La profundidad de un pozo se selecciona de acuerdo con la estratigrafía de la zona, obtenida en un sondeo exploratorio, en la columna establecida en pozos cercanos, o en la propia perforación exploratoria del pozo.

Es conveniente que el pozo atraviese el acuífero completamente, "pozo completo" pues esta situación ofrece las ventajas siguientes:

Mayor capacidad específica del pozo.

Disponer de mayor capacidad para deprimir el pozo y por tanto obtener más agua.

No es raro que se encuentren aguas de mala calidad en la parte inferior de los acuíferos, por lo que en esos casos se debe clausurar esta zona para que se evite este problema. Esta zona se sellará con un tapón de cemento o de arcilla convenientemente compactada con la herramienta.

C.- LONGITUD DEL CEDAZO O REJILLA

C-1 ACUIFEROS ARTESIANOS HOMOGENEOS

En este tipo de pozos se deberá tratar de que la depresión no rebase el techo del acuífero artesiano. El cedazo se deberá instalar centrado en el acuífero y abarcando entre el 70% y el 80% del mismo; 70% cuando el espesor no exceda de 10 m. y 80% si sobrepasa esta medida.

C-2 ACUIFEROS ARTESIANOS NO HOMOGENEOS

En este tipo de acuíferos resulta conveniente colocar la rejilla en el estrato más permeable, lo cual se podrá determinar mediante una prueba de permeabilidad o un estudio granulométrico de las muestras de perforación o bien mediante el registro eléctrico del pozo. Si no es posible ninguna de las soluciones anteriores mediante una inspección visual cuidadosa en que se atiendan primordialmente los aspectos de granulometría y limpieza.

Si se opta por el método sencillo de la curva granulométrica se podrá estimar la permeabilidad relativa de la muestra estableciendo el "tamaño efectivo" de la misma. El tamaño efectivo es aquel que se establece por el 90% retenido o bien lo que es lo mismo por el 10% que pasa.

La permeabilidad relativa de dos muestras se establece elevando al cuadrado el tamaño efectivo de las muestras, por ejemplo:

Muestra	Tamaño efectivo	Permeabilidad relativa.
1	0.2 mm	0.04
2	0.1 mm	0.01

En el ejemplo, la muestra 1 tiene una permeabilidad unas 4 veces mayor que la muestra 2.

C-3 ACUIFEROS LIBRES HOMOGENEOS

Para el diseño de la rejilla en este tipo de acuíferos presenta dos situaciones contradictorias, pues por una parte el disponer de un cedazo lo más largo posible reduce la convergencia del flujo y por tanto la velocidad de entrada del agua, con lo que se consigue mayor capacidad específica. Por otra parte el instalar un cedazo lo más corto posible aumenta la capacidad de abatimiento y por tanto de obtener mayor caudal.

O sea, si se pretende que el costo del agua extraída sea el menor posible o por cualquier política de extracción deseamos poco abatimiento, la rejilla deberá encarar la mayor parte del acuífero. Pero si se pretende el mayor caudal se deberá colocar solo en la parte inferior de él, aunque en este caso el costo unitario del agua extraída será mayor y crecerá también la posibilidad de arrastre de sólidos al tener también una mayor velocidad de entrada.

En términos generales se puede decir que el mejor diseño para un acuífero libre homogéneo consiste en colocar el cedazo en la parte inferior del acuífero con una longitud variable entre el 30% y el 50% del acuífero y abatir el nivel estático hasta una cota ligeramente superior a la de la rejilla.

Trataremos este tema con mayor amplitud para que se entienda más claramente el porqué de los porcentajes antes citados. -- Primero debe quedar establecido que la óptima explotación de un pozo se logra cuando se logra un abatimiento tal que ofrezca un valor máximo para el producto de el caudal por la capacidad específica.

Explotación óptima si $Q \times \frac{Q}{Ah}$ es máximo.

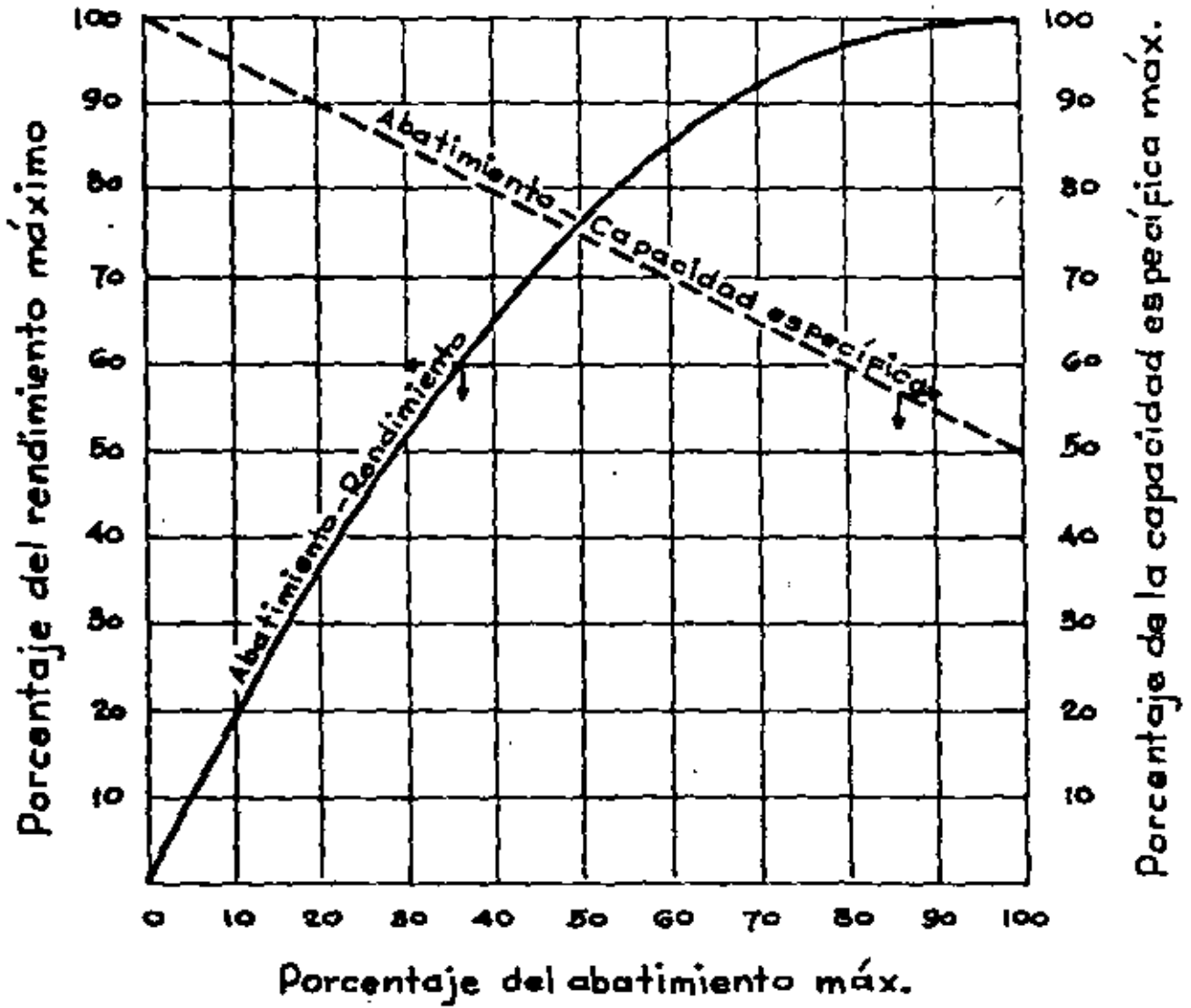
Observemos la figura 1, en ella la curva continúa muestra la relación entre abatimiento y rendimiento y el "0" corresponde a la ausencia de explotación (pozo parado), mientras que el 100% lo hará cuando el abatimiento llegue al fondo del pozo. El rendimiento máximo es la cantidad de agua que el pozo producirá cuando se provoque el máximo abatimiento.

La línea recta interrumpida muestra la relación entre el abatimiento y la capacidad específica. Podemos ver que la máxima capacidad específica corresponde a la ausencia de abatimiento y la mínima cuando ocurre el máximo abatimiento. Conviene hacer notar que la mínima capacidad específica es solo el 50% de la máxima.

Vamos a demostrar el uso de la curva con un ejemplo. Supongamos un pozo con una profundidad de 145 m. con un nivel estático a 30 m., por tanto el espesor saturado será de 115 m. Se bombeó el pozo a 120 lt/seg. y se estabilizó el nivel dinámico a 55 m., o sea que el abatimiento fué de 25 m.

¿Cuál sería el posible rendimiento del pozo con un nivel de 80 m. (50 m. de abatimiento)?

FIG. 1



Porcentaje de abatimiento con 120 lt/seg.

$$25/115 = 0.217 = 22\%$$

En la gráfica podemos ver que a un porcentaje de abatimiento máximo de 22% corresponde un porcentaje de rendimiento de 38%.

Porcentaje de abatimiento correspondiente a 50 m.

$$50/115 = 0.43 = 43\%$$

En la gráfica

43% abatimiento = 68% de rendimiento.

Si el 38% del rendimiento son 120 lt/seg.:

$$\begin{array}{l} 38 - 120 \\ 68 - X \end{array} \therefore X = 215 \text{ lt/seg.}$$

O sea que un abatimiento de 50 m. (hasta el nivel de 80 m.), se podrían esperar 215 lt/seg.

Veamos ahora que capacidades específicas corresponden a estos valores.

$$\begin{array}{ll} 22\% \text{ de abatimiento} & = 88\% \text{ de capacidad específica} \\ 43\% \text{ de abatimiento} & = 79\% \text{ de capacidad específica} \end{array}$$

Para finalizar veamos cuál de los dos caudales resulta más -- adecuado por acercarse más al caudal óptimo.

$$\frac{120}{25} \times 120 = 576 \times 10^3 \text{ m}^5/\text{seg.}^2$$

$$\frac{215}{50} \times 215 = 924 \times 10^3 \text{ m}^5/\text{seg.}^2$$

924 > 576 ó sea que resulta más conveniente el caudal de 215 lt/seg.

¿Y que significado tiene la unidad $\text{m}^5/\text{seg.}^2$? Es la aceleración que se le imprime a un metro cúbico a lo largo de un metro.

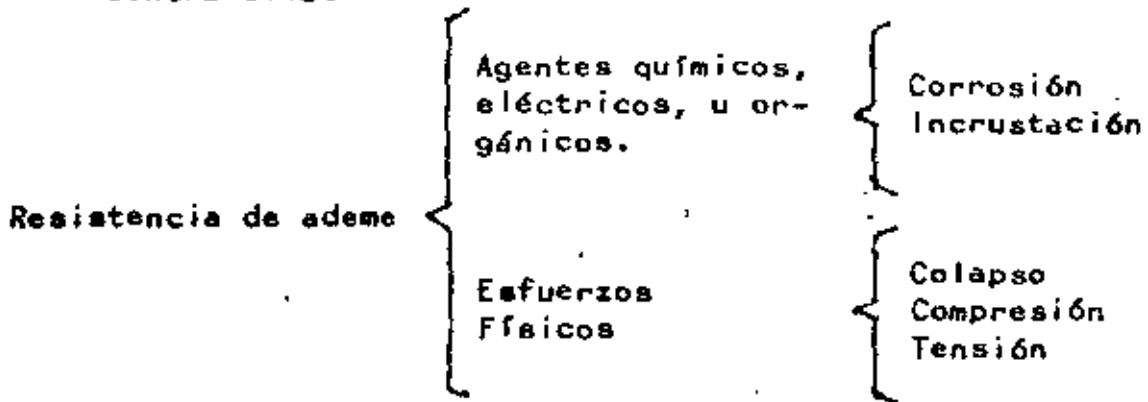
Si volvemos a la gráfica podemos hacer diversas tentativas para establecer cuál es el máximo producto de rendimiento por capacidad específica y llegaremos a la conclusión de que este corresponde a un abatimiento de 67% con el cuál se obtiene un rendimiento del 88% y una capacidad específica del 67%. Esta es la razón de recomendar abatir el acuffero hasta el 30% inferior.

C-4 ACUIFEROS LIBRES HETEROGENEOS

En este tipo de acuffero son válidas las reglas establecidas para los acufferos artesianos heterogéneos con la única salvedad de que la rejilla se colocará en la parte inferior del acuffero más permeable.

D.- RESISTENCIA DE LOS ADEMES

Al seleccionar el material de que se construirá una rejilla y en general todo el ademe de un pozo se deben considerar esencialmente dos tipos de fenómenos que actuarán contra ella:



La característica de un agua a ser corrosiva o incrustante no siempre se puede establecer desde el momento de la construcción de un pozo, pero si se cuenta con análisis químicos de sus aguas se puede prever este inconveniente aunque sin saberse la intensidad del fenómeno.

D-1 AGUAS CORROSIVAS

La corrosión es un fenómeno o conjunto de fenómenos cuyo resultado es la destrucción del material corroído con su disgregación o puesta en solución.

Los indicadores de corrosión que permiten sospechar la posibilidad del fenómeno son:

- a) Bajo pH
pH < 7 agua corrosiva.
- b) Oxígeno disuelto (O₂). Su presencia contribuye a la corrosión. El oxígeno disuelto es común en acufferos libres - poco profundos.
- c) Sulfuro de Hidrógeno (H₂ S). Este gas produce un olor característico de huevo podrido. Si el gas se puede detectar por su olor o sabor, su concentración es suficiente para provocar una severa corrosión.

- d) Sólidos disueltos totales. Si el total de sólidos excede de 1000 p.p.m. el agua es lo suficientemente conductora de la electricidad para poder ocasionar corrosión electrolítica, sobre todo si existen distintos metales en contacto.
- e) Dioxido de carbono (CO₂). En concentraciones de más de 50 p.p.m. el agua es corrosiva.
- f) Cloruros (CL). En concentraciones de más de 500 p.p.s. se debe esperar corrosión.

La corrosión, cualquiera que sea su origen, ataca preferentemente la zona de cedazo del pozo, pues la ranura presenta una zona con caras libres accesibles a su ataque. El resultado inmediato, generalmente, consiste en un aumento del tamaño de la ranura que permite el paso, al pozo, de material fino, a veces en cantidades que obligan al abandono del pozo. La bomba es otro elemento susceptible a su ataque, pero no será tratada aquí.

D-2 AGUAS INCRUSTANTES

Son aquellas que depositan minerales en el cedazo provocando su obturación, o bien en los poros del acuífero cercano al pozo. En los dos casos el efecto resultante es una disminución de la producción del pozo o un aumento en el nivel de bombeo, provocado por mayores pérdidas de carga.

Los indicadores de incrustación son los siguientes:

- a) Dureza total de carbonatos. Si excede de 300 p.p.m. se puede esperar incrustación por acumulación de carbonato de calcio.
- b) Hierro total (Fe). Si el contenido excede de 2 p.p.m. -- este ión puede precipitar provocando incrustación.
- c) Magnesio total (Mn). Si excede de 1 p.p.m., el pH es alto y existe oxígeno, es muy posible que el manganeso se precipite provocando incrustación.
- d) pH. Si excede de 7.5 el agua puede resultar incrustante.
- e) Películas bacterianas. Existen en las aguas subterráneas bacterias no perjudiciales a la salud, pero que requieren de la presencia de hierro y magnesio para su ciclo vital. Son conocidas como "bacterias ferruginosas" (*Crenothrix*) y aparentemente oxidan y precipitan el hierro y -

magnesio disueltos en el agua. Los minerales junto con los organismos (materia gelatinosa) forman una masa que obstruye cedazo y poros del acuffero, pudiendo en corto tiempo cerrar completamente el paso del agua al pozo. Para corregir esta situación se utiliza el cloro que mata los organismos y posteriormente ácido clorhídrico (HCl) que disuelven el Fe y Mn precipitados.

Como vimos en el párrafo anterior, y esto lo podemos generalizar a cualquier incrustación de las presentes en las aguas subterráneas, el tratamiento a la incrustación es a base de sustancias altamente agresivas (Cl y HCl), por lo cual, si se espera incrustación, el material seleccionado para el cedazo de el pozo deberá ser resistente a la corrosión.

D-3 ESFUERZOS FISICOS

Por lo que respecta a los esfuerzos físicos a que está sometida la tubería debe decirse que cualquier tubo es más resistente a la tensión que a la compresión, por lo cual resulta una buena práctica el dejar la tubería colgada en el pozo, en lugar de apoyada en el fondo. Los esfuerzos que resultan críticos, son entonces el de compresión y los de presión lateral. La resistencia que opone una rejilla o tubo a ellos es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material.

Como una guía para seleccionar el cedazo se presentan varias tablas:

En la primera de ellas se presentan varios tipos de metales utilizados en E.U.U. y Europa pero que no se fabrican en México a excepción del acero, pero que pueden ser utilizados en casos muy especiales si se importaran.

En la figura 2 se muestran límites de profundidad para el uso de tubo de acero liso, según fórmula de la A.P.I. Debe considerarse que si se tratara de tubo ranurado, decrece la resistencia mecánica.

En la siguiente tabla aparecen las propiedades mecánicas del ademe y cedazo de P.V.C., este material tiene la gran ventaja de ser inatacable por la corrosión e incrustación, unido a varios tamaños de ranura, buenos porcentajes de área libre y de fácil instalación, en cambio su resistencia mecánica es menor que la del acero.

Las dos tablas subsecuentes presentan comparativamente las características hidráulicas de los cedazos de fabricación nacional y la última es un resumen de las propiedades de los mismos.

**METALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE REJILLAS
Y SUS VENTAJAS**

Nombre del metal	Análisis	Factor de costo	Recomendado para:
MONEL	70 % níquel 30 % cobre	1.5	Grandes cantidades de cloruro de sodio combinado con oxígeno disuelto, tal como agua salada. Usualmente no necesita instalarse en pozos para agua potable.
SUPER NIQUEL	70 % cobre 30 % níquel	1.2	Casos como el anterior, pero con aguas no tan corrosivas.
EVERDUR	86 % cobre 3 % silicio 1 % manganeso	1.0	Dureza total muy alta, altos contenidos de cloruro de sodio (sin oxígeno disuelto presente). Alto contenido de hierro. Es el metal más usado para pozos municipales e industriales. Es extremadamente resistente al tratamiento con ácido.
ACERO INOXIDABLE	74 % acero 18 % cromo 8 % níquel	1.0	Sulfuro de hidrógeno. Oxígeno disuelto. Dióxido de carbono. Bacterias ferruginosas. Resistencia. Ocupa el segundo lugar, después de everdur, en el uso para pozos municipales e industriales.
LATÓN CORRIÑO SILÍCEO	83 % cobre 15 % zinc 1 % silicio	0.9	Tiene los mismos usos que el everdur, pero no es tan bueno ni tan resistente. Se usa en aguas relativamente inactivas.
HIERRO GALVANIZADO	99.84 % hierro puro (doblemente galvanizado)	0.6	No es resistente a la corrosión, pero la experiencia indica que funciona satisfactoriamente en algunas áreas. Se usa para pozos de irrigación en zonas donde las aguas son relativamente neutras.
ACERO	99.35/99.72 % hierro 0.08/0.15 % carbono 0.20/0.50 % manganeso (doblemente galvanizado)	0.5	No es resistente a la corrosión. Generalmente se usa en pozos provisionales como pozos de prueba o pozos de drenaje. Sin embargo, ha dado duración satisfactoria en algunas áreas del Sur-Oeste de los Estados Unidos, donde las aguas no son ni corrosivas ni incrustantes.

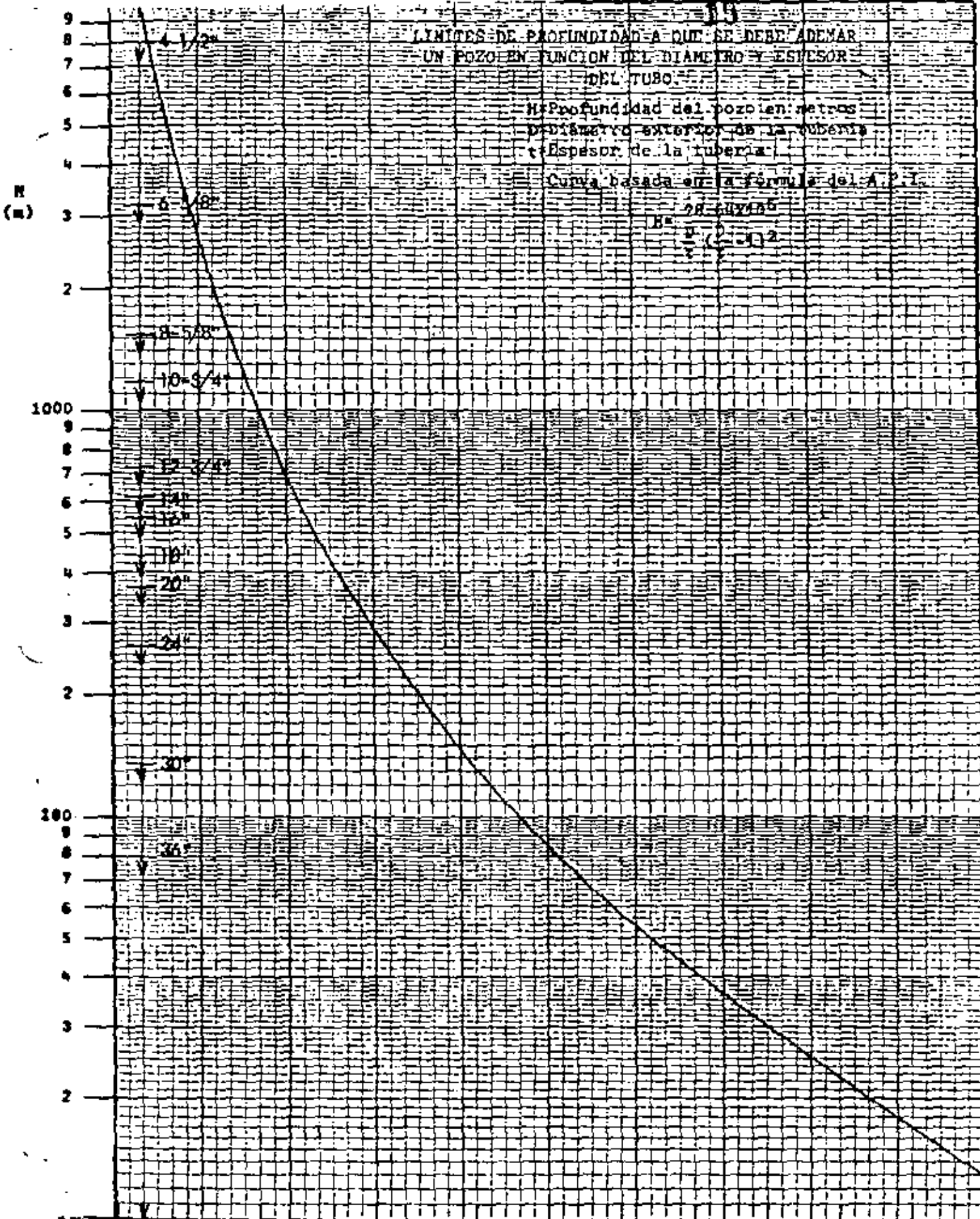
TABLA No. 1

15
**LIMITES DE PROFUNDIDAD A QUE SE DEBE ADEMAR
 UN POZO EN FUNCION DEL DIAMETRO Y ESPESOR
 DEL TUBO.**

H=Profundidad del pozo en metros
 D=Diámetro exterior de la tubería
 t=Espesor de la tubería

Curva basada en la fórmula del A.P.I.

$$H = \frac{2t}{\sqrt{D-0.02}}$$



PROPIEDADES MECANICAS.
DEL ADEMÉ P.V.C.

DIAMETRO NOMINAL EN PULGADAS	4	6	8	10	12	14
Diámetro exterior en mm. (t)	114.5	168.6	219.5	273.3	324.2	355.1
Espesor de pared en mm. (D)	6.5	6.7	8.4	10.5	12.5	13.6
RD=D/t	17	26	26	26	26	26
Resistencia a la tensión en Ton (tiempo hasta falla 100,000 hr. = 11 años)	6.2	9.5	15.6	23.8	34.4	40.60
Resistencia a la tensión equivalente a m. tubo colgado.	1937	2065	2025	1966	2011	1933
Resistencia a la compresión en Ton (Tiempo 100,000 Hr.)	11.9	18.2	30.0	45.70	66.0	77.0
Resistencia a la compresión equivalente a m. de tubo cargado.	3718	3956	3896	3776	3859	3666
Resistencia al colapso en Kg/cm ² .	15.15	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
TUBO RANURADO.						
Resistencia a la tensión 8 ranuras	1.24	1.9	3.1	4.76	6.88	8.12
Resistencia equivalente a m. tubo colgado	387	413	402	393	402	386
Resistencia a la tensión 6 ranuras	2.48	3.8	6.24	9.52	13.76	16.24
Resistencia equivalente a m. tubo colgado	775	826	810	786	804	773
Resistencia al colapso en kg./cm ² (ranura de 0.5 a 3mm.)	14.4 a 11.8	3.9 a 3.2	3.9 a 3.3	3.9 a 3.4	3.9 a 3.3	3.9 a 3.4

TABLA No. 2

ÁREAS LIBRES EN PORCIENTO Y cm^2/m DE DIVERSOS TIPOS DE CEDAZOS PARA POZOS DE AGUA

Profundidad (m)	Redondeo 1000			Redondeo 500			Redondeo 250			Redondeo 125			Redondeo 62.5			Redondeo 31.25			Redondeo 15.625			Redondeo 7.8125			Redondeo 3.90625			
	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	1.00	0.50	0.25	
	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	cm^2/m	%	cm^2/m	
4																												
6																												
8																												
10																												
12																												
14																												
16																												
18																												
20																												

TABLA No. 3

TABLA

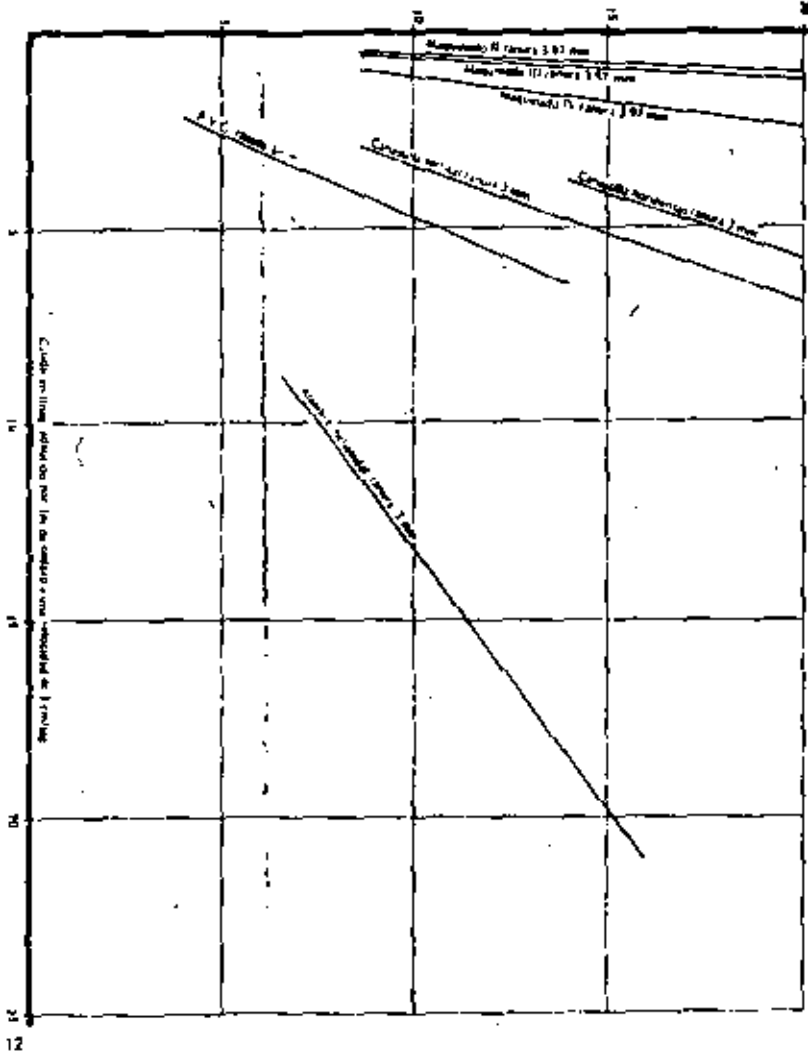
CAUDAL EN LITROS ADMITIDO POR TM. DE

TIPO DE SEDAZO	MAQUINADO TIPO II			MAQUINADO TIPO III			MAQUINADO TIPO IV			RANURA TIPO CONCHA			CAI VI
	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.18	4.78	6.35	
4													0.95
6													1.17
6 5/8				0.46	0.62								1.42
8													1.55
8 5/8	0.50	0.60	0.79	0.62	0.75	1.00	1.00	1.20	1.59	0.22	0.37	0.54	1.72
10													1.99
10 3/4	0.58	0.70	0.93	0.75	0.90	1.19	1.24	1.50	1.99	0.23	0.37	0.59	2.22
12													
12 3/4	0.68	0.82	1.09	0.87	1.05	1.39	1.43	1.72	2.29	0.69	1.08	1.53	
14	0.81	0.97	1.29	1.06	1.27	1.69	1.68	2.02	2.69	0.79	1.18	1.59	
16	0.87	1.05	1.39	1.18	1.42	1.89	1.93	2.32	3.05	0.93	1.44	1.94	
18	0.93	1.12	1.49	1.31	1.57	2.09	2.18	2.62	3.45	0.99	1.45	2.07	
20	1.06	1.27	1.69	1.49	1.80	2.39	2.43	2.92	3.56	1.00	1.58	2.19	



Colocando pajas en la concha para asegurar un buen fraguado

Diagrama de un pozo en pulgadas



No. 2
TIPOS DE CEDAZOS PARA POZOS DE AGUA

Tipo	Diámetro	Profundidad	Cedazo de 1/2 pulgada			Cedazo de 1/4 pulgada					Cedazo de 1/8 pulgada				
			1.000	2.000	3.000	1.000	2.000	3.000	1.000	2.000	3.000	1.000	2.000	3.000	
1	12	120	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
2	12	90	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
3	12	60	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
4	12	30	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
5	12	120	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
6	12	90	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
7	12	60	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
8	12	30	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
9	12	120	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
10	12	90	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
11	12	60	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	
12	12	30	100	200	300	100	200	300	100	200	300	100	200	300	

CAUDAL EN l/mg. ADMITIDO POR 1m. DE CEDAZO, A UNA VELOCIDAD DE 3cm/seg.

TIPO DE CEDAZO	MAQUINADO TIPO II			MAQUINADO TIPO III			MAQUINADO TIPO IV			RANURA TIPO GONCHA			CAMASTILLA VERTICAL			CAMASTILLA HORIZONTAL			P.V.C.					ALAMBRE HELICOIDAL				
	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.97	4.78	6.35	3.18	4.78	6.35	1	2	3	1	2	3	0.5	1	1.5	2	3	0.5	1	1.5	2	3
4													0.95	1.82	2.95				0.48	0.82	1.26	1.43	2.15					
6													1.17	2.25	3.65				0.72	1.26	1.89	2.15	3.23					
6 5/8				0.46	0.62								1.42	2.74	4.43									3.18	4.89	6.37	7.58	9.74
8													1.55	2.89	4.82				0.86	1.51	2.27	2.59	3.88					
8 5/8	0.50	0.60	0.79	0.62	0.75	1.00	1.00	1.20	1.59	0.27	0.37	0.54	1.72	3.31	5.36									3.45	5.85	7.19	7.99	10.72
10													1.99	3.84	6.22				0.96	1.68	2.52	2.88	4.32					
10 3/4	0.58	0.70	0.93	0.75	0.90	1.19	1.24	1.50	1.99	0.23	0.37	0.59	2.22	4.27	6.92									4.25	7.90	8.79	11.50	15.21
12																			1.20	2.10	3.15	3.60	5.40					
12 3/4	0.68	0.82	1.09	0.87	1.05	1.39	1.43	1.72	2.29	0.69	1.08	1.53												4.99	8.97	10.39	13.45	17.94
14	0.81	0.97	1.29	1.06	1.27	1.69	1.68	2.07	2.69	0.79	1.18	1.59				1.25	2.40	3.89	1.44	2.52	3.78	4.32	6.48	5.50	9.96	11.64	14.82	19.69
16	0.87	1.05	1.39	1.18	1.42	1.89	1.93	2.32	3.09	0.93	1.44	1.94				1.40	2.70	4.37						5.92	10.27	13.38	16.09	21.07
18	0.93	1.12	1.49	1.31	1.57	2.09	2.18	2.62	3.48	0.99	1.45	2.01				1.64	3.15	5.10										
20	1.06	1.27	1.69	1.49	1.80	2.39	2.43	2.92	3.88	1.00	1.58	2.19				1.87	3.60	5.83										

TABLA No. 4

MM 10

CUADRO RESUMEN COMPARATIVO DE LOS CEDAZOS MAS COMUNES

CONCEPTO	MALO	BUENO	MEJOR	OPTIMO
Propiedades Mecánicas (Resistencias, tensión, compresión y colapso).	Alambre Heli- coidal.		Cedazo P.V.C.	Tubo ranurado Tipo Concha, Tipo Canastilla
Tamaño ranura	Tubo ranurado, Tipo concha		Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C. Alambre Heli- coidal.
Area de Infiltración	Tubo ranurado, Tipo Concha	Tipo Canastilla	Cedazo P.V.C.	Alambre Heli- coidal.
Resistencia corrosión	Alambre Heli- coidal.	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla.		Cedazo P.V.C.
Resistencia incrustación	Tubo ranurado, Tipo Concha, Tipo Canastilla	Alambre Heli- coidal.		Cedazo P.V.C.

TABLA No. 5

E.- APERTURA DE LAS RANURAS DE LA REJILLA

E-1 POZOS DE DESARROLLO NATURAL

La base para seleccionar la apertura de las ranuras de la rejilla es la curva granulométrica acumulativa de las -- muestras.

Formación homogénea. Se seleccionará un tamaño tal que -- retenga del 40 al 50% del material muestreado. Se seleccionará el tamaño que retenga el 40% si las aguas no son corrosivas y 50% si lo son. Se seleccionará 50% en el segundo caso previendo que la corrosión pueda agrandar las ranuras y para evitar un posible paso de la arena al pozo y también resulta apropiado este porcentaje si hay duda sobre la calidad de las muestras.

Se debe considerar que cuando menor sea el porcentaje seleccionado, más cantidad de material penetrará al pozo -- durante el desarrollo y por tanto más durará este, pero en cambio se dispondrá de más área abierta con lo que -- disminuye el peligro de incrustación cuando las aguas -- tengan esta tendencia, y mejoren las condiciones hidráulicas y la capacidad de penetración del desarrollo.

Formación Heterogénea. Si como es el caso más frecuente en la naturaleza el acuífero está constituido por una -- alternancia de capas de distinta granulometría la mejor política, desde el punto de vista técnico, es tratar cada estrato en forma independiente y diseñar un filtro de ranuras múltiples, pero esto en la práctica frecuentemente no es posible, debido a la dificultad en disponer en corto tiempo de cedazos de diferentes ranuras.

E-2 POZOS CON FILTRO GRANULAR

Difieren de los de desarrollo natural en el hecho de que en ellos se coloca un filtro granular entre el acuífero y el cedazo, en lugar de formar un filtro natural en el propio acuífero mediante un proceso de desarrollo.

Estos son con mucha ventaja los más comunes en México y por tanto merecen ser tratados por separado. Veremos entonces la selección de tamaño de la ranura de la rejilla, en una sección aparte.

F.- DISEÑO DEL FILTRO GRANULAR

F-1 INTRODUCCION Y DEFINICIONES.-

Existen diferentes criterios para diseñar un empaque de grava, pero todos ellos se basan en las curvas granulométricas acumulativas. Por tanto el funcionamiento del fil

tro dependerá de la calidad de las muestras que se obtengan en la perforación exploratoria.

Una vez establecida la existencia de uno o más acuíferos, se tomarán las muestras representativas de los distintos estratos que los constituyen, elaborándose a cada uno su curva granulométrica; a partir de ellas se determinará - cual es el estrato cuyos gránulos presentan mayor riesgo de penetrar al pozo, o sea el más fino y bien clasificado respecto a tamaño y será este material el que se utilice para el diseño del filtro de todo el pozo.

Los constructores alemanes han utilizado en ocasiones filtros con granulometrías múltiples en pozos con acuíferos muy finos, pero la utilidad del método aún en pozos someros es muy discutible pues resulta sumamente caro por requerir de grandes diámetros de perforación, filtros muy gruesos que dificultan el buen desarrollo del pozo, tubería desperdiciada, etc., por consiguiente nos limitaremos a mencionarlo solo a título informativo.

Como veremos más adelante algunos métodos proporcionan filtros uniformes (un solo tamaño) y otros de mayor graduación o no uniformes. En general resultan más convenientes los no uniformes por su mayor capacidad de filtración, si bien al constructor le resulta mucho más difícil conseguir con los abastecedores de gravas una granulometría con varios tamaños, según las proporciones que solicite. Este puede ser un factor determinante en la selección de uno u otro método.

Para iniciar la discusión de los diferentes métodos es necesario el manejo de los siguientes conceptos:

d_x : Tamaño de las partículas tal que el X% es más pequeño, o sea $100 - X$ será el porcentaje retenido por una malla de abertura X.

Coefficiente de uniformidad:

$$\text{Coeficiente de Uniformidad} = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Si se trabaja con un porcentaje retenido:

$$C. U. = \frac{d_{40}}{d_{90}}$$

Tamaño efectivo: Tamaño del tamiz que retiene el 90% de la muestra, o bien deja pasar el 10%

Tamaño típico de los granos, d_t : Se obtiene presentando en la figura la curva granulométrica acumulativa del material y buscando la intersección con la curva de trazos.

F-2 METODOS DE DISEÑO

F-2.1 Método de Bieske (1962).- Se basa en el tamaño típico (d_t) de la muestra, y a partir de él calcula un tamaño homogéneo del filtro granular, multiplicándolo por un factor de filtración normalmente igual a 4.

En el ejemplo de la fig. 3 $d_t = 0.90$ (fig. 4).
tamaño del filtro = $0.90 \times 4 = 3.60$ mm

F-2.2 Método de Nold (1962).- También se obtiene con el tamaño de filtro homogéneo, a partir del coeficiente de uniformidad del acuífero.

Coeficiente de uniformidad del acuífero.	Tamaño de grano homogéneo del filtro granular	
Entre 3 y 5	$d_{90} \times 5$	$d_{95} \times 4$
3	$d_{75} \times 5$	$d_{85} \times 4$

En el ejemplo de la Fig. 3 :

Coeficiente de uniformidad = 3.3
 $d_{90} \times 5 = 1.25 \times 5 = 6.25$ mm
 $d_{95} \times 4 = 1.65 \times 4 = 6.6$ mm

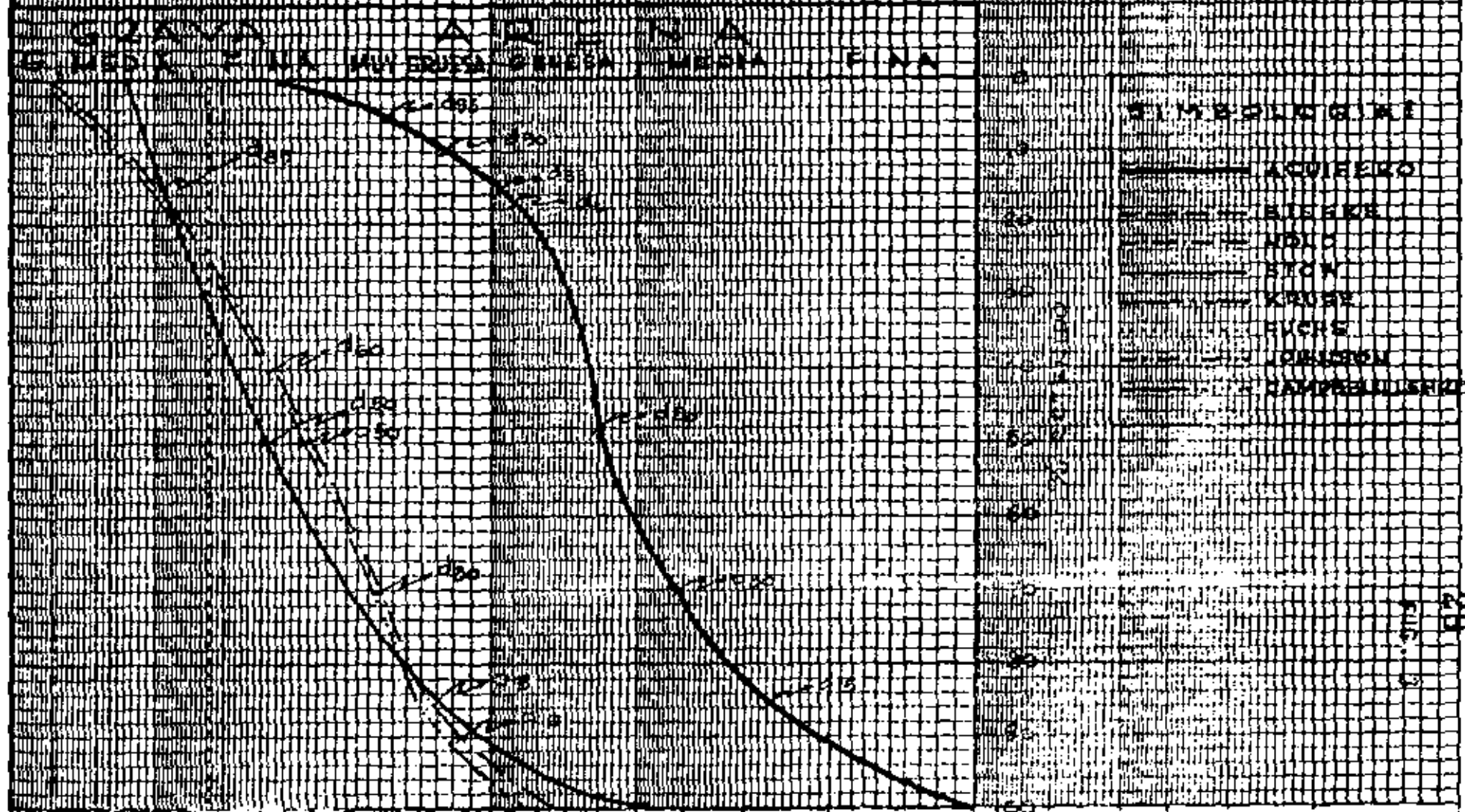
o sea que se podría utilizar un filtro homogéneo con tamaños variables entre 6.6 y 6.25 mm.

F-2.3 Método de Stow (1962).- Proporciona filtros de tamaño -- graduado según el siguiente criterio:

Tamaño del grano del acuífero	Multiplíquese por	Obtiene el tamaño del filtro.
d_{85}	5	d_{85}
d_{50}	5	d_{50}
d_{15}	.5	d_{15}

Además se debe cumplir la condición en el filtro de que:

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} \leq 5$$

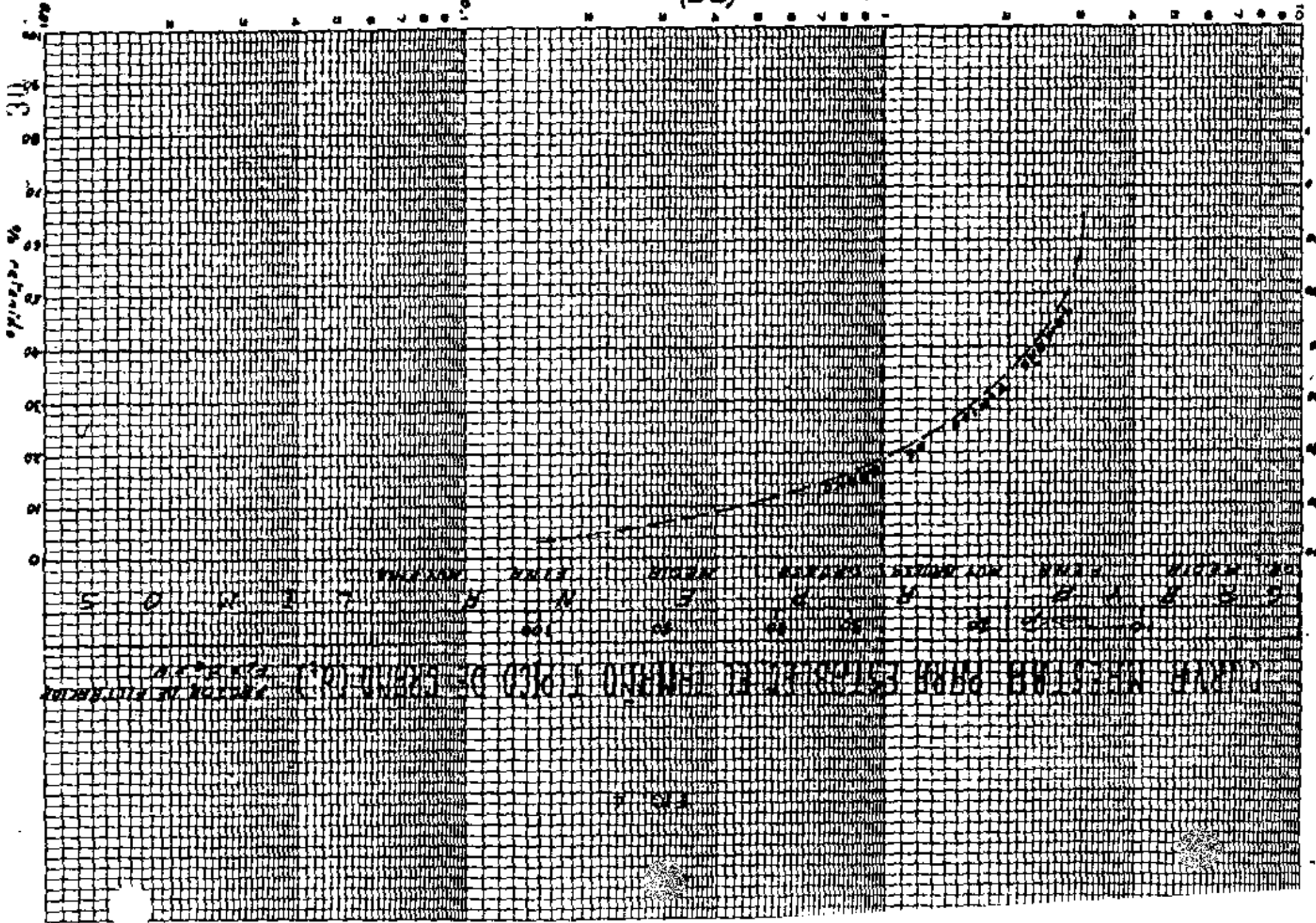


DIAMETRO EN mm.

ENCUADRO N.º 10103 (OCTUBRO 1953)

100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0

(12 12)



De no ser así se modificarán los dos tamaños, para que la condición anterior se cumpla.

En el mismo ejemplo:

$$\begin{aligned} d_{85} \times 5 &= 0.96 \times 5 = 4.8 \\ d_{50} \times 5 &= 0.60 \times 5 = 3.00 \\ d_{15} \times 5 &= 0.265 \times 5 = 1.3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{d_{85}}{d_{15}} = 3.69 < 5, \text{ se cumple la condición.}$$

F-2.4 Método de Kruse (1960).- Considera la relación Filtro + acuífero (F/A) en su d_{50} . Los valores recomendados para estabilizar las arenas son los siguientes:

ACUIFERO	FILTRO	F/A MAXIMO
Uniforme	Uniforme	9.5
No uniforme	Uniforme	13.5
Uniforme	No uniforme	13.5
No uniforme	No uniforme	17.5

En el ejemplo se trata de una arena no uniforme y supon-
dremos que no podemos conseguir un filtro graduado; En-
tonces:

$$\begin{aligned} \text{Acuífero} &- \text{No uniforme} \\ \text{Filtro} &- \text{Uniforme} \\ F/A &= 13.5 \text{ como máximo} \\ A_{d_{50}} &= 0.60 \\ F_{d_{50}} &= 8.10 \text{ máximo} \end{aligned}$$

En la práctica se ha observado que:

- A igual F/A se produce menos movimiento de arena con -
filtros no uniformes que si lo son.
- Para F/A bajas el movimiento de arenas al principio del
desarrollo aumenta proporcionalmente al coeficiente de -
uniformidad del acuífero.
- Si se selecciona un filtro no uniforme, resulta adecuado
que a partir del $F_{d_{50}}$ calculado se trace para el filtro-
una curva más o menos semejante a la del acuífero, si es
posible sin rebasar un coeficiente de uniformidad de 3.

F-2.5. Método de Fichs (1963).- Es recomendable preferentemente
a acuíferos no uniformes, sin que lo excluya de los uni-
formes.

El filtro se diseña de acuerdo a las siguientes relaciones:

$$\begin{aligned}
 F_{d50} &= 4 A_{d85} \\
 F_{d50} &= 16 A_{d50} \quad \text{Cuando el acuffero es uniforme} \\
 F_{d50} &= 10 A_{d50} \quad \text{Cuando el acuffero no es uniforme}
 \end{aligned}$$

Se seleccionará el menor valor obtenido o un rango entre los dos valores.

En el ejemplo: No es uniforme.

$$\begin{aligned}
 A_{d85} &= 0.96 \text{ mm} \\
 A_{d50} &= 0.60 \text{ mm} \\
 F_{d50} &= 0.96 \times 4 = 3.84 \text{ mm} \\
 F_{d50} &= 10 \times 0.60 = 6.00 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

F-2.6 Método de Johnson (1966).- Es uno de los métodos más recomendables si se tiene la posibilidad de obtener un filtro graduado en la zona donde se construyen los pozos, y si se cuenta además con un cedazo con buen porcentaje de área libre.

Para la selección del filtro se procede del siguiente modo:

-Se elaborará la curva granulométrica del material más fino.

-En la curva se obtendrá su d_{30} o sea el 70% retenido y se multiplicará por un factor variable entre 4 y 9.

- 4 Si el material del acuffero es fino y uniforme
- 6 Si el material es más grueso y menos uniforme
- 6-9 Si fuera muy poco uniforme y tuviera limos.

- El producto de esta multiplicación será el tamaño d_{30} del filtro granular.

-Con base en este punto se traza una curva con coeficiente de uniformidad igual o menor que 2.5

-Esta será la curva del filtro y se permitiraán tolerancias de $\pm 8\%$.

En el ejemplo:

$$\begin{aligned}
 d_{30} &= 0.41 \text{ mm y tomaremos un factor de 4} \\
 d_{30} \text{ del filtro} &= 1.64 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Se trazó la curva cuyo coeficiente de uniformidad fué:

$$\frac{d_{60}}{d_{30}} = \frac{2.85}{1.18} = 2.42$$

F-2.7 Método de Campbell-Lehr (1973).- Se basa en la llamada -- "Relación del empaque de grava" que se obtiene:

$$\text{Reg} = \frac{50\% \text{ Filtro}}{50\% \text{ formación}}$$

Si la Reg vale entre 4 y 5, los pozos normalmente tienen una alta eficiencia y el agua producida estará libre de arena.

Si Reg varía entre 7 y 10 la eficiencia disminuye notablemente.

Valores de Reg del orden de 10 pueden significar pozos productores de arena en cantidades moderadas.

Valores del orden de 20 implican filtros completamente -- ineficientes.

A mayores coeficientes de uniformidad en la formación se podrá disminuir el de el filtro, como ejemplo de un caso práctico podemos citar un coeficiente de uniformidad de 1.5 para un material acuífero de 8.3 sin que produjera arena.

En el ejemplo:

$$d_{50} = 0.6 \quad \text{y tomaremos Reg} = 4$$

$$\text{entonces: } d_{50} = 0.6 \times 4 = 2.4 \text{ mm}$$

La curva se trazó con un coeficiente de uniformidad semejante al empleado en el método de Johnson.

IV.- EJEMPLO DE DISEÑO

Supondremos que se ha efectuado una perforación exploratoria hasta 235 m. en la cuál se ha encontrado la siguiente columna estratigráfica:

Prof.	Litología
0-5 m	Suelo vegetal
5-17 m	Arenas de grano medio. El registro eléctrico muestra alta salinidad.
17-93 m	Arcillas plásticas de color café con poca arena.
93-142 m	Alternancias de estratos delgados de arenas finas, medias, gruesas, gravillas y mezclas de estos materiales.
142-196	Limos arcillosos
196-225	Arenas finas
225-230	Granito intemperizado
230-235	Granito sano.

Nivel estático = 6.50 m

Caudal requerido = un mínimo de 100 lt/seg. o más si fuera posible.

Durante la perforación se tuvieron pérdidas considerables de lodo en el tramo 100-142 m y en el 200-210 m, por lo que se puede esperar el caudal requerido con un nivel dinámico que según experiencias de la zona para 100 lt/seg. oscilaría entre 40 y 60 m.

Las aguas de la región no tienen propiedades incrustantes ni corrosivas.

En base a la información obtenida se decide clausurar el acuífero superior de agua de mala calidad y explotar el localizado entre 93 y 142 m y el de 196 a 225.

DIAMETRO DE TUBERIAS

Cámara de Bombeo.- Un caudal de 100 lt/seg. requiere una bomba con tazón de 12" o sea que el diámetro óptimo de la cámara de bombeo sería de 16". Además este tamaño permitiría si el aforo lo aconsejara instalar tazones de 14"

Para 100 lt/seg. se tendrían niveles del orden de los 50 m., - pero como podemos explotar más caudal y en previsión de futuros abatimientos regionales prolongaremos la cámara hasta 96 m.

Entonces:

Cámara de bombeo: 0-96 m. en 16" ciega

Porción Filtrante.- En este caso, dado que se tienen acuíferos de arenas finas homogéneas se impone un pozo con filtro granular.

El análisis granulométrico indica un filtro con $d_{10} = 0.8$ mm - por lo que seleccionamos un cedazo de 1 mm.

Los acuíferos no muestran artesianismo o sea que los trataremos como libres y dejaremos abierto el 50% inferior de cada uno.

Utilizaremos cedazo de P.V.C.

Entonces:

$$\text{Acuífero} = (142-93) + (225-196) = 78 \text{ m}$$

$$\text{Cedazo} = 78 \times 0.5 = 39 \text{ m.}$$

Calcularemos la ranura previendo un caudal de 150 lt/seg.

Entonces la base de cálculo sería:

$$Q = 150 \text{ lt/seg.} = 150,000 \text{ cm}^3/\text{seg.}$$

$$L = 39 \text{ m}$$

$$v = 3 \text{ cm/seg.}$$

Probaremos por ejemplo un ademe de PVC con ranura de 1 mm y 8". En la tabla vemos que ofrece un área libre de 504 cm²/m

$$\text{Área libre total} = 504 \times 39 = 19,656 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{150,000}{19,656} = 7.63 \text{ cm.}$$

resulta una velocidad muy alta

Probaremos 12", entonces el área libre es de 700 cm²/m.

$$A_{12} = 700 \times 39 = 27,300 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{27,300} = 5.49 \text{ también alta}$$

$$\text{Con } \varnothing = 14", \quad A_{14} = 840 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$v = \frac{150,000}{32,760} = 4.57 \text{ cm/seg.}$$

Resulta entonces necesario contar con una mayor longitud de cedazo con lo que disminuirémos la velocidad, perderémos caudal, y ganaremos capacidad específica. Dejemos con cedazo el 80% inferior de cada acuífero. Entonces:

$$L = 78 \text{ m} \times 0.8 = 62.4 \text{ m}$$

$$\text{Con } \varnothing = 12": \quad A_{12} = 700 \times 62.4 = 43,680 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{150,000}{43,680} = 3.43 \text{ cm/seg.}$$

Esta velocidad resulta ligeramente alta, pero como tomamos una Q excedida de las necesidades la podemos considerar adecuada.

Veamos que caudal podremos manejar sin exceder la velocidad crítica. En la tabla No. vemos que 12" con 1 mm admite 2.10 lt/m entonces.

$$2.10 \times 62.4 = 131.04 \text{ lt/seg.}$$

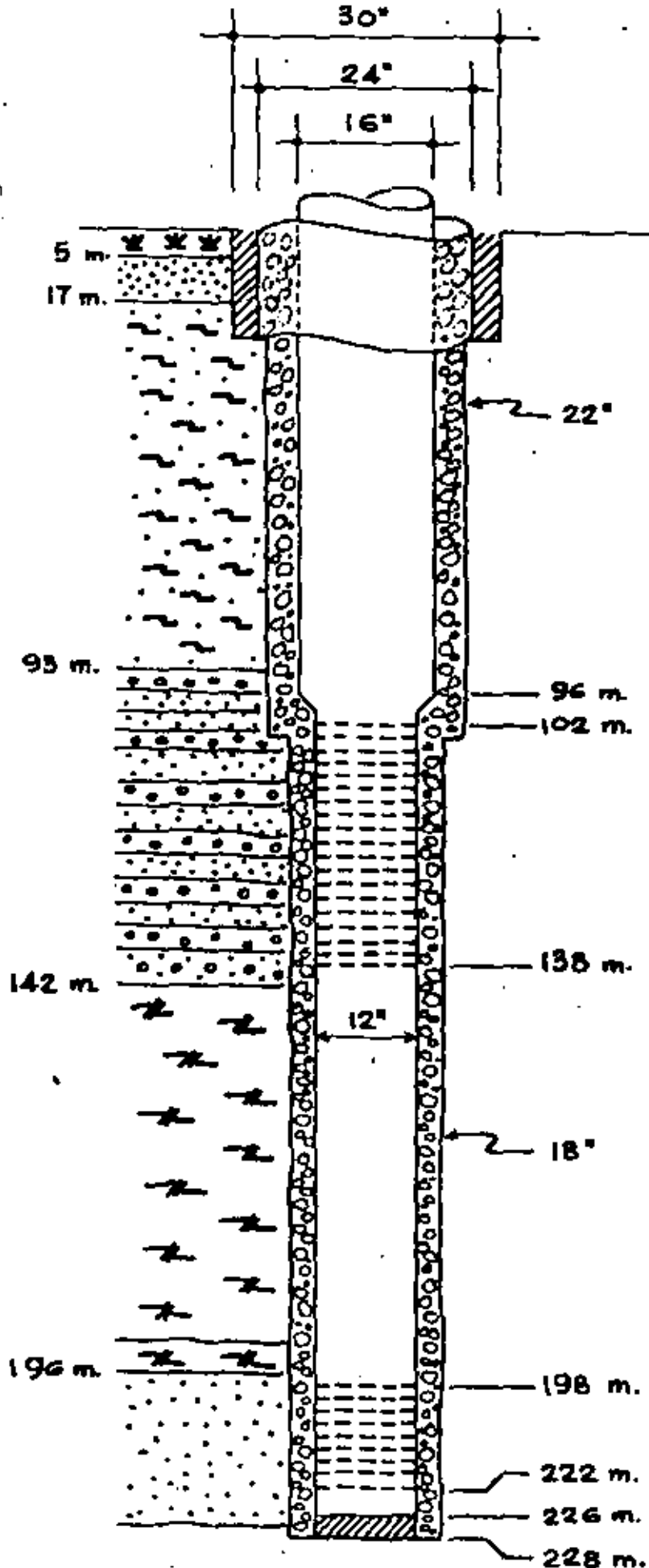
Hasta el momento hemos diseñado un pozo de las siguientes características:

0-96	m	Ø 16"	Ciega
96-102		12"	Ciega
102-138		12"	Cedazo con ranura de 1 mm
138-198		12"	Ciega
198-222		12"	Cedazo con ranura de 1 mm
222-228		12"	Ciega

Además se va a proteger el pozo de la contaminación del acuífero superior con una cementación de 0-25 m, por lo que en ese tramo colocaremos un casquillo de tubo liso de 24"

El croquis de terminación del pozo sería entonces como se muestra en la fig. 5 y solo restaría solicitar oportunamente los materiales necesarios, poniendo especial atención a la granulometría del filtro granular que se deberá plegar a lo especificado anteriormente al tratar el tema.

FIG. 5



CORTE DE
TERMINACION
DE POZO.

V.- ALGUNOS ERRORES COMUNES EN EL DISEÑO DE POZOS

- A.- Para incrementar el caudal se debe colocar cedazo en todo el espesor del acuffero.

Ya hemos visto que esto solo es válido para el caso de acufferos artesianos, pero que en el caso de acufferos libres, solo se mejora la capacidad específica con lo que disminuye el gradiente y por tanto el caudal.

Vimos que el mayor caudal se obtiene al colocar el cedazo en la parte inferior del acuffero.

- B.- Al incrementar el diámetro de un pozo se incrementa proporcionalmente el caudal.

Esta creencia aunque muy difundida es falsa. En realidad al doblar el diámetro de un pozo, el caudal solo se incrementa en menos de un 10% lo cual evidentemente resulta antieconómico.

En la fig. 6 se muestra el incremento en el caudal relativo al incrementarse el diámetro, asumiendo desde luego que todas las demás características del pozo son semejantes.

- C.- Existe un flujo notable vertical a través de los empaques de filtro granular.

Esta idea ha llevado a pensar en comunicar acufferos mediante el filtro de material granular explotándolos por medio de un cedazo colocado en el acuffero inferior.

Esta suposición es totalmente falsa y para ilustrarlo utilizaremos la figura 7, mediante la cual trataremos de calcular el flujo a través del filtro, en el espacio anular.

La fórmula con la que calcularemos el flujo es:

$$Q = P \cdot l \cdot A \quad \text{Donde:}$$

Q = Caudal a través del espacio anular en m³/día.

P = Permeabilidad del filtro granular en m/día, bajo un gradiente = 1

l = Gradiente hidráulico que provoca el flujo a través del filtro. = 55-10 = 45 m.

A = Área de la sección transversal del espacio anular en m².

GRAFICA DEL INCREMENTO DEL CAUDAL
EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL POZO

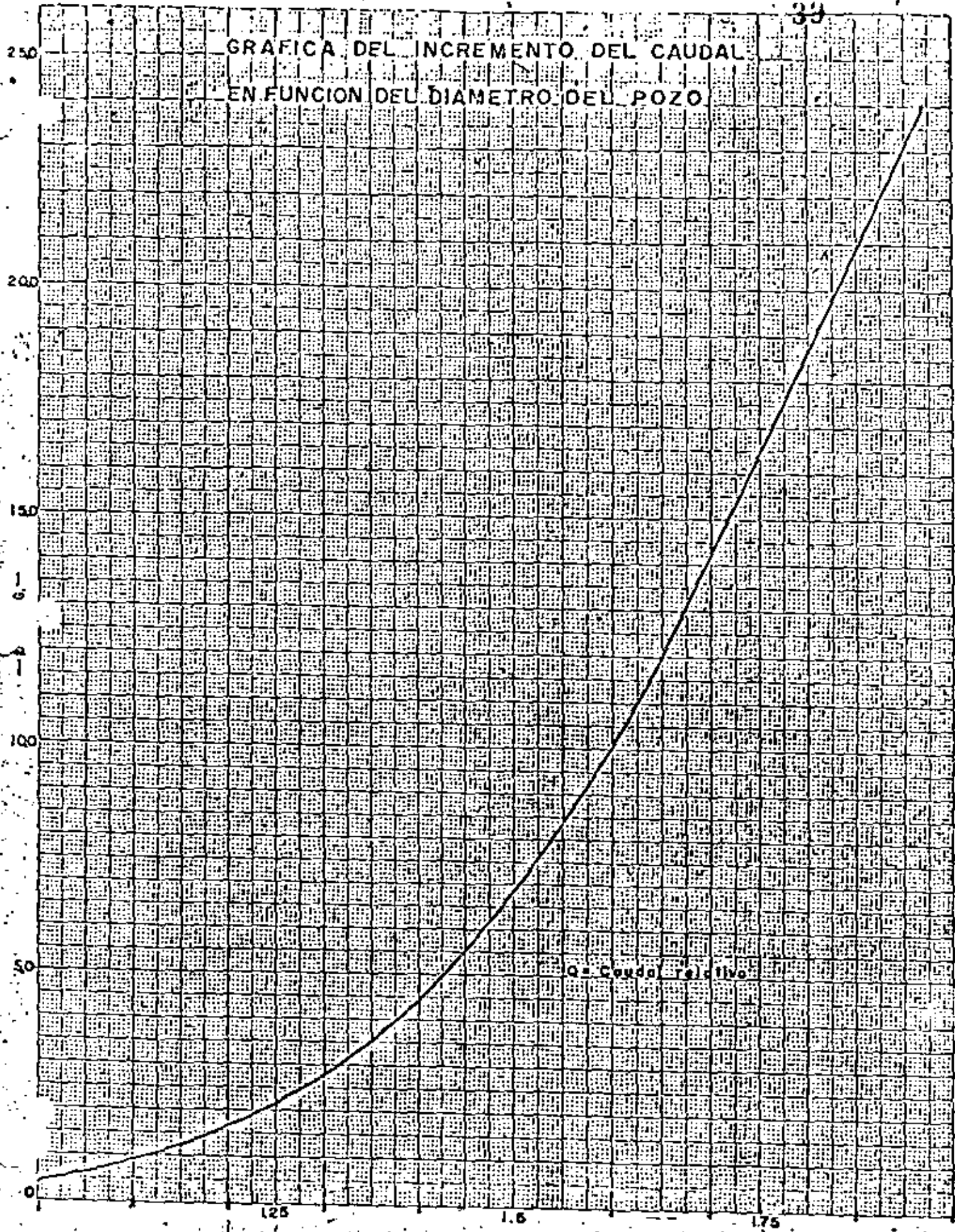


FIG. 6

La distancia a recorrer por el agua del acuífero superior es de aproximadamente 50 m. que es la distancia entre los puntos medios de los dos acuíferos.

$$l = \frac{45}{50} = 0.9$$

Área de la sección de filtro

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \text{ donde:}$$

D = diámetro de la perforación = 24" = 0.61 m

d = diámetro exterior tubo = 12" = 0.30 m.

$$A = \frac{\pi}{4} (0.61^2 - 0.3^2) = 0.22 \text{ m}^2$$

Estimaremos la permeabilidad P del empaque de filtro granular, en un límite superior de unos 80 m/día que incluiría la gran mayoría de los filtros utilizados.

Por tanto la cantidad de agua transmitida verticalmente es:

$$Q = 800 \times 0.9 \times 0.22 = 158.4 \text{ m}^3/\text{día} = 1.8 \text{ lt/seg.}$$

Puede verse que la cantidad resulta muy baja para un pozo de estas características, y se lograrían resultados mucho mejores colocando un cedazo en el acuífero superior.

VI.- TERMINACION DEL POZOA.- AMPLIACIONES.

Una vez diseñado el pozo, normalmente a partir de la perforación exploratoria que es el inicio del futuro pozo de explotación o a partir de un sondeo exploratorio en pequeño diámetro, se programaran las ampliaciones necesarias - para lograr alcanzar el diámetro definitivo del proyecto.

Los pasos necesarios para alcanzar estos diámetros dependen de varios factores entre los que podríamos citar:

-Tipo de perforadora.- Una perforadora rotaria inversa es capaz de perforar en una sola pasada grandes diámetros, - lo cuál no es posible para una rotaria directa o una de percusión.

-Tamaño de la perforadora.- En el caso de un mismo tipo de perforadora, normalmente una mayor que otra requerirá de menos pasadas.

-Estado de la perforadora.

-Materiales cortados.- A mayor coherencia se requerirá - de un mayor número de pasadas para alcanzar un diámetro dado.

-Profundidad de la perforación.

-Equipo auxiliar.

-Otros.

En cualquier caso se debe considerar que el paso de una ampliación no debe ser constante en el aumento de diámetro, pues el material removido, por ejemplo, en un paso de 10" a 12" es muy diferente al que se debería remover en un paso de 20" a 22", en este ejemplo aunque en los dos casos se ampliaron 2", en el 2º se corta 2.69 más material. Aún cuando la variación en la eficiencia, no es tan simple como el ejemplo presentado, es suficientemente gráfica para resaltar la necesidad de disminuir la amplitud del paso de ampliación a medida que el diámetro va aumentando.

B.- EL ADEMADO DEL POZO,

Ya se dijo antes que no todos los pozos requieren de ademe, pero el pozo ademado es con mucha ventaja el más frecuente.

En México, hoy en día, el tipo de ademe más utilizado en los pozos de agua es el de acero soldado a tope y en muy raras ocasiones el de acero con rosca y cople, debido-- esencialmente a su costo más elevado, si bién resulta -- más conveniente al eliminar en grán medida la posibilidad de errores de soldadura.

Actualmente se está haciendo más frecuente el uso del ademe plástico, que en otros países se ha impuesto en forma rápida.

Sea cual sea el ademe usado la operación del entubado debe hacerse en forma cuidadosa y lo más rápida posible para evitar que el pozo se cierre o azolve, sobre todo cuando se han perforado materiales inestables. En este caso -- es recomendable perforar algunos metros más de los que se pretende ademar, para que en caso de que el pozo se azolve durante el proceso del ademado, no impida el entubado tal como fué diseñado.

Resulta muy recomendable el uso de centradores repartidos a lo largo del ademe, pues la posición concéntrica del -- entubado en la perforación, ayuda a que su colocación ocurra sin problemas.

Por otra parte esta situación garantiza que el filtro granular envuelva completamente al cedazo, evitándose así -- la entrada de arena al pozo.

Si bién el criterio de espaciamiento de los centradores varía de constructor a constructor parece adecuado colocar un centrador cada 20 diámetros del ademe.

C.- TAPON DE FONDO

Resulta siempre conveniente el colocar en el fondo del -- pozo un tapón de cemento que lo aisle impidiendo la entrada de materiales por el fondo; aislamiento que es particularmente importante si se tuvieran arcillas plásticas en el fondo. Este aislamiento es también necesario en el caso de los pozos completos para impedir el acceso de -- aguas de mala calidad, ya se dijo eran frecuentes en la porción inferior de muchos acuíferos libres.

Por último el tapón de fondo ofrece un soporte al pozo -- aún cuando el terreno se compactara alrededor de él.

La práctica más usual en la construcción de el tapón de fondo, es el colocar la lechada de cemento en la superficie, antes de el ademado en la parte inferior del tubo, con una longitud de entre 1.5 y 2 m como mínimo.

En un tiempo fue práctica común la de hacer tapones de "punta de lápiz" formando un cono en la parte inferior con la propia tubería. Esta modalidad no resulta aconsejable pues impide en un futuro la reperforación del pozo, aunque fuera necesario.

D.- ENGRAVADO Y LAVADO PRELIMINAR

Una vez finalizada la colocación del ademe se procede a la colocación del filtro granular, la cuál es simultánea a la del lavado preliminar.

En la colocación del filtro granular se deben cuidar dos aspectos principales:

Evitar el "puenteo" del filtro, o sea el acuñamiento de los gránulos entre el ademe y el terreno, pues este puente impide la colocación de filtro en la zona inferior a él. La posibilidad de puenteo crece con los espacios anulares reducidos, con el tamaño del gránulo y con una circulación deficiente durante la colocación.

En algunos casos es el propio terreno el que forma el puente al anillarse sobre el ademe.

El otro problema que debe evitarse es la segregación del filtro, formando microestratos de distinta granulometría pues el material grueso puede permitir la entrada de arenas al pozo. Esta posibilidad crece cuando se utilizan filtros graduados y cuando no se ha reducido convenientemente la viscosidad del lodo de perforación.

D-1 METODOS DE ENGRAVADO

Existen varios métodos más o menos sofisticados en que esta operación se realiza combinada con movimientos de tuberías, pero que resultan caros y de difícil ejecución, por lo que declinaremos su exposición para comentar solamente los dos más usuales.

- Engravado rápido.- El filtro se deja caer en el pozo en forma continua en grandes cantidades con lo cual se evita la segregación del gránulo pues el material que se retarda en los primeros envíos es alcanzado por el que se adelanta en los siguientes, resultando así una llegada simultánea de materiales heterogéneos respecto a tamaño.

Tiene la ventaja adicional de la rapidez de la operación pero el inconveniente grave de favorecer en forma importante la formación de puentes.

En E.E.U.U. donde la mayoría de los pozos que se construyen son de pequeño diámetro y poco profundos se ha resuelto el problema con espacios anulares muy robustos (6 a 10" alrededor del ademe), lo cual presenta serios inconvenientes al hablar de diámetros mayores:

Neceidad de perforar grandes diámetros

Consumo de un gran volumen de filtro

Dificultad en el desarrollo posterior, pues el espesor del propio filtro entorpece la llegada de la agitación al engranaje bentonítico y al acuífero.

-Engravado lento.- El filtro se deja caer al pozo en pequeñas cantidades y dejando transcurrir cierto tiempo, según la profundidad entre envío y envío.

Aunque cada envío sufre segregación, la cantidad de material es tan pequeña que el estrato formado es prácticamente inexistente y por otra parte se dificulta la formación del puente. Pero en cambio la operación es tan lenta que se torna muy cara y se debe controlar la velocidad del lavado pues de ser muy rápido se podría provocar un derrumbe en una zona aún no soportada por el filtro.

x -Engravado Semilento.- Sería probablemente el método más aconsejable si se pudiera establecer la "semilentitud", de otro modo que con la sola experiencia.

Consiste en derramar el filtro en pequeñas cantidades, para no formar puentes, pero en forma continua para evitar la segregación.

D-2 LAVADO

Una vez terminada la colocación del filtro se continúa el lavado que ya se había iniciado, sustituyendo el lodo de perforación y el agua turbia, con agua clara.

Esta operación se finaliza con la colocación en el pozo de un dispersante de arcillas, cuando sea necesario.

E.- DESARROLLO Y AFORO

Como estos temas son motivo de otras exposiciones no serán tratados aquí y nos limitaremos a citarlos solamente, en forma enunciativa para alcanzar la culminación de la construcción de un pozo de agua.



centro de educación continua
división de estudios de posgrado
facultad de ingeniería unam



PERFORACION DE POZOS PARA AGUA

ARTICULO SOBRE LA CONFERENCIA SUSTENTADA POR

T Y L E R G A S S

OCTUBRE, 1980

Groundwater: Flow Toward an Effluent Stream

Abstract. *Hydrodynamic, topographic, and geologic factors control flow of groundwater toward an effluent stream. Features of such flow are illustrated by a hydraulic model that simulates the stream and surrounding consolidated rocks. Colored ink in the flow system marks progress toward the stream. Visual analysis shows that groundwater moves into the effluent stream along curvilinear flow lines. The total head of groundwater beneath the stream increases with depth.*

One of the most interesting groundwater flow-patterns in nature occurs in the vicinity of an effluent stream, a stream which is supplied by the surrounding groundwater. Legal disputes have arisen from misinterpretation of information about the flow patterns near such streams. Water levels in wells drilled along an effluent stream can be higher than the water level of the stream, and this fact has been submitted as evidence that groundwater and surface water are not connected (1). Once established as a fact in court, a decision can be obtained in some states that action taken upon the groundwater

body cannot possibly have any effect on the surface water body. Such a stand may be taken by a groundwater user to prove that pumping cannot deplete surface water. A groundwater user could similarly argue that he cannot contaminate surface water by discharging waste into his well. Results derived from a hydraulic model, analogous to the geologic setting commonly found near an effluent stream, show that such arguments in many cases may be spurious. Only by adequate definition of both the geology and hydraulics near the stream can the courts render sound judgment on such matters (2).

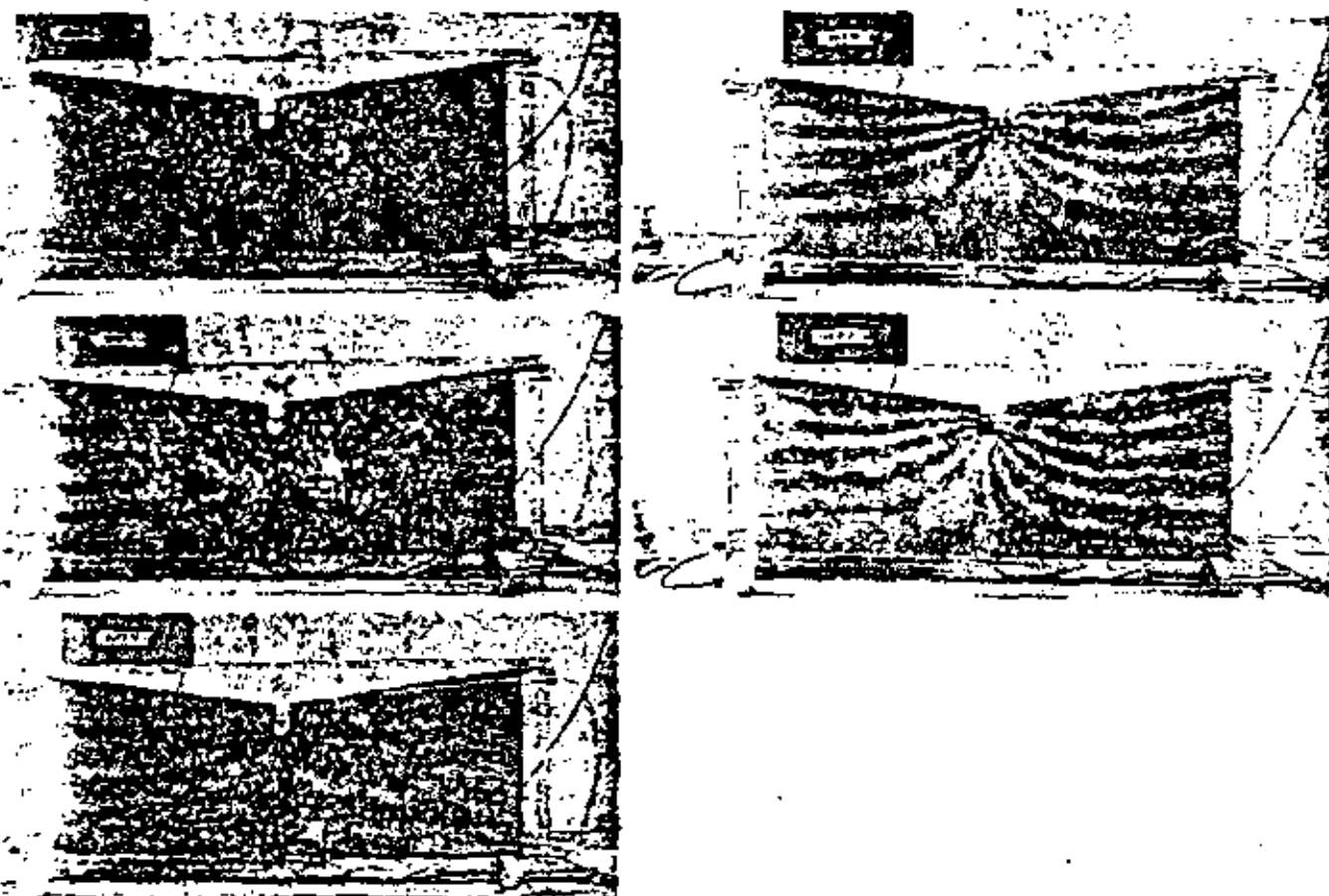
The model (Fig. 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin (3). It is 30 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high at each end and slopes down to a small channel near the center. The channel represents the cross section of the effluent stream. Ink was discharged into the model through a perforated brass tube buried in each end. The ink entering the sand progresses through it and marks the path of flow, or flow line, from each perforation. Water was recharged into both ends and discharged only from the simulated stream. The

water table nearly coincided with the rock surface on either side of the stream. Figure 1 indicates the general direction of flow at several times after the flow of ink was started.

The flow lines turn up near the center and appear to defy gravity. Although the water is definitely flowing upward topographically, it is flowing downward hydraulically in accordance with physical principles. Groundwater always moves from regions of high hydraulic head to regions of low hydraulic head.

The effluent stream may be compared with a horizontal well. In a man-made well, an area of low head is produced by pumping and the groundwater thus flows from the surrounding areas of high hydraulic head to the region of lower head near the well. The effluent stream is also an area of low head, but the head distribution about the stream is a function of the topography and rainfall which have caused a high water table to form; a region of high hydraulic head surrounding the topographically low-stream channel is thus furnished. Consequently, water moves from the adjacent high-land into the stream.

Figure 2 shows the flow diagram of the effluent stream model. Flow follows



the direction of maximum gradient as a ball takes the steepest path when rolling slowly down a hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles and thus form a conjugate system. The equipotential lines beneath the stream become horizontal as they connect points of equal hydraulic head on opposite sides of the stream. The groundwater flow which crosses these equipotentials at right angles must therefore move vertically upward in this region.

The increased potential with depth beneath the effluent stream was verified in the model. Two wells were drilled in

the stream channel and screened at different depths. The water levels in the wells rose to different heights above the level of the stream itself. The deeper of the two wells had the higher water level which indicates the higher potential at greater depth.

The model (Fig. 1) contains a homogeneous medium with an isotropic permeability which resulted in a set of flow lines following smoothly curving paths. Figure 3 shows a model of an effluent stream similar to the one in Fig. 1. The consolidated medium was sand of the same type as Fig. 1, but packed unevenly. Variations in packing caused variations in permeability, which in turn caused the tortuous paths

of the flow bands (Fig. 3). Although the model in Fig. 1 was more convenient for theoretical studies of flow, the pattern of flow near an effluent stream in nature may be much less predictable because the permeability is not generally uniform.

Comparison of the rates of movement of the flow lines (Fig. 1) shows that the flow along the base of the aquifer is much slower than at points higher in the model. This knowledge is very important in studying streams near the sea which are subject to onshore winds and salt water tides. The salt water may move up the stream during a storm and raise the water level, and thus temporarily reverse the groundwater gra-

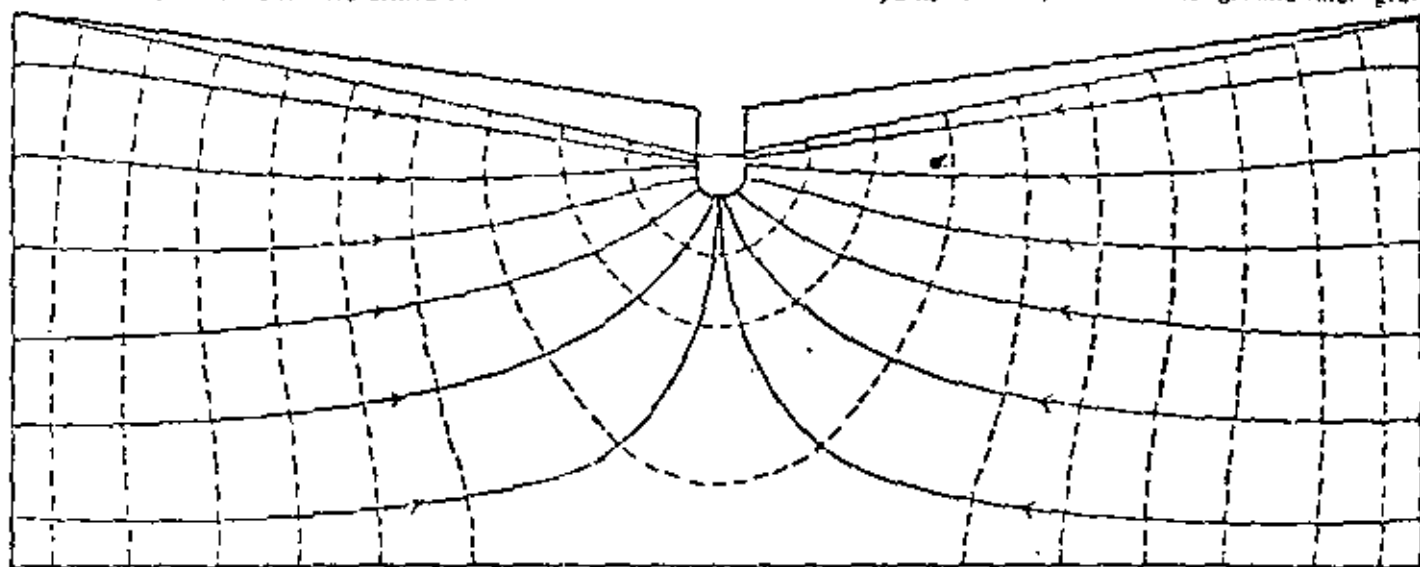
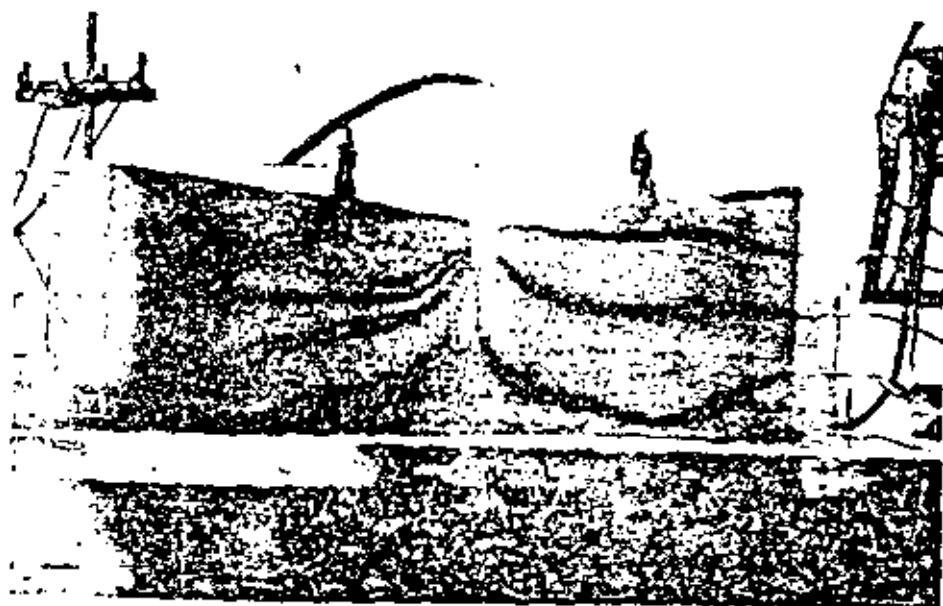


Fig. 2. Flow diagram of effluent stream model shown in Fig. 1. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines with arrows. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines and are indicated by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffices to illustrate best the general picture (about 1/5 actual size).



Model of an effluent stream. It contains a porous medium of anisotropic permeability.

dient. During this temporary flow reversal, salt water moves from the stream into the ground water body and because of its high density may eventually sink to the bottom of the formation (4). A salt-water mound is thereby formed beneath the stream channel; this mound may have a long-lasting, detrimental effect on water-supply wells in the deep portion of the aquifer near the stream channel. Although the original groundwater gradient may be resumed soon after the stream subsides, a long time will be required to wash out all the salt by the comparatively slow movement of groundwater through the deep zone. A town's water supply can be temporarily impaired beyond use by this phenomenon, but this occurrence can be avoided if water-supply wells are placed at a safe distance from the bank of any stream subject to salt-water tides.

Reprinted from Science, June 21, 1963, Vol. 140, No. 3573, pages 1318-1320
Copyright © 1963 by the American Association for the Advancement of Science

Groundwater: Flow Toward an Effluent Stream

Abstract. *Hydrodynamic, topographic, and geologic factors control flow of groundwater toward an effluent stream. Features of such flow are illustrated by a hydraulic model that simulates the stream and surrounding consolidated rocks. Colored ink in the flow system marks progress toward the stream. Visual analysis shows that groundwater moves into the effluent stream along curvilinear flow lines. The total head of groundwater beneath the stream increases with depth.*

One of the most interesting groundwater flow-patterns in nature occurs in the vicinity of an effluent stream, a stream which is supplied by the surrounding groundwater. Legal disputes have arisen from misinterpretation of information about the flow patterns near such streams. Water levels in wells drilled along an effluent stream can be higher than the water level of the stream, and this fact has been submitted as evidence that groundwater and surface water are not connected (1). Once established as a fact in court, a decision can be obtained in some states that action taken upon the groundwater

body cannot possibly have any effect on the surface water body. Such a stand may be taken by a groundwater user to prove that pumping cannot deplete surface water. A groundwater user could similarly argue that he cannot contaminate surface water by discharging waste into his well. Results derived from a hydraulic model, analogous to the geologic setting commonly found near an effluent stream, show that such arguments in many cases may be spurious. Only by adequate definition of both the geology and hydraulics near the stream can the courts render sound judgment on such matters (2).

The model (Fig. 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin (3). It is 30 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high at each end and slopes down to a small channel near the center. The channel represents the cross section of the effluent stream. Ink was discharged into the model through a perforated brass tube buried in each end. The ink entering the sand progresses through it and marks the path of flow, or flow line, from each perforation. Water was recharged into both ends and discharged only from the simulated stream. The

water table nearly coincided with the rock surface on either side of the stream. Figure 1 indicates the general direction of flow at several times after the flow of ink was started.

The flow lines turn up near the center and appear to defy gravity. Although the water is definitely flowing upward topographically, it is flowing downward hydraulically in accordance with physical principles. Groundwater always moves from regions of high hydraulic head to regions of low hydraulic head.

The effluent stream may be compared with a horizontal well. In a man-made well, an area of low head is produced by pumping and the groundwater thus flows from the surrounding areas of high hydraulic head to the region of lower head near the well. The effluent stream is also an area of low head, but the head distribution about the stream is a function of the topography and rainfall which have caused a high water table to form: a region of high hydraulic head surrounding the topographically low-stream channel is thus furnished. Consequently, water moves from the adjacent high-land into the stream.

Figure 2 shows the flow diagram of the effluent stream model. Flow follows

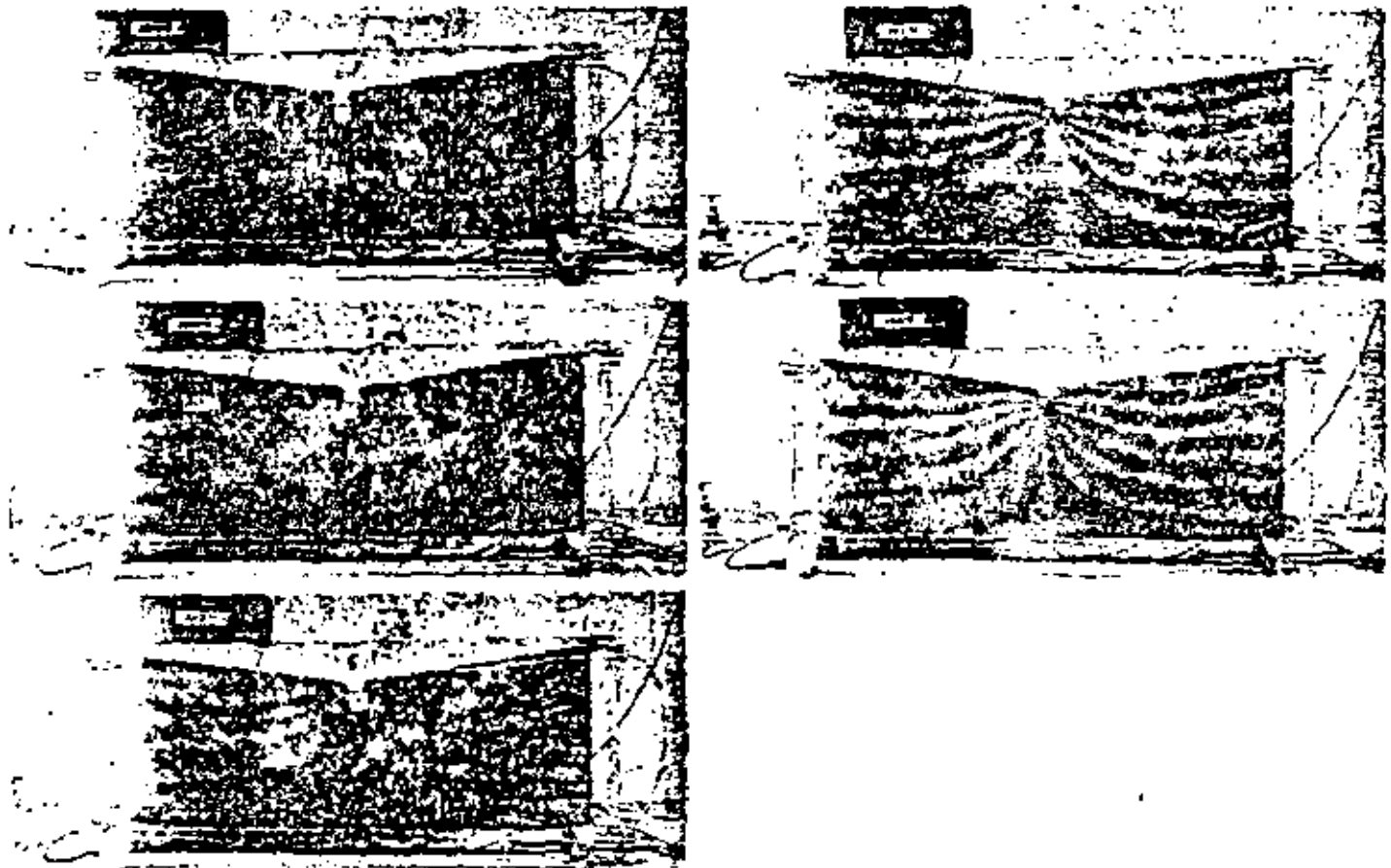


Fig. 1. Model of an effluent stream. Flow lines move toward the stream.

the direction of maximum gradient as a ball takes the steepest path when rolling slowly down a hill. Since the gradients are maximum along paths normal to the equipotentials, the flow lines cross the equipotential lines at right angles and thus form a conjugate system. The equipotential lines beneath the stream become horizontal as they connect points of equal hydraulic head on opposite sides of the stream. The groundwater flow which crosses these equipotentials at right angles must therefore move vertically upward in this region.

The increased potential with depth beneath the effluent stream was verified in the model. Two wells were drilled in

the stream channel and screened at different depths. The water levels in the wells rose to different heights above the level of the stream itself. The deeper of the two wells had the higher water level which indicates the higher potential at greater depth.

The model (Fig. 1) contains a homogeneous medium with an isotropic permeability which resulted in a set of flow lines following smoothly curving paths. Figure 3 shows a model of an effluent stream similar to the one in Fig. 1. The consolidated medium was sand of the same type as Fig. 1, but packed unevenly. Variations in packing caused variations in permeability, which in turn caused the tortuous paths

of the flow bands (Fig. 3). Although the model in Fig. 1 was more convenient for theoretical studies of flow, the pattern of flow near an effluent stream in nature may be much less predictable because the permeability is not generally uniform.

Comparison of the rates of movement of the flow lines (Fig. 1) shows that the flow along the base of the aquifer is much slower than at points higher in the model. This knowledge is very important in studying streams near the sea which are subject to onshore winds and salt water tides. The salt water may move up the stream during a storm and raise the water level, and thus temporarily reverse the groundwater gra-

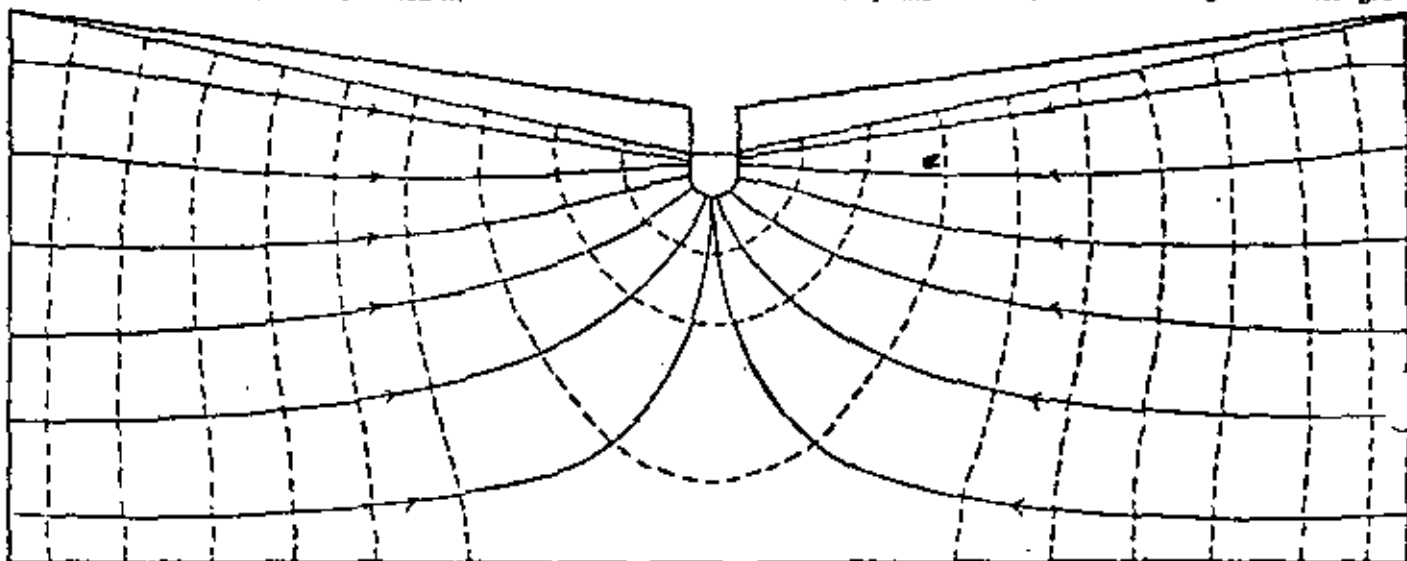


Fig. 2. Flow diagram of effluent stream model shown in Fig. 1. The path which a particle of water follows is called a flow line; these are represented by solid lines with arrows. The head decreases along the path of flow. Lines connecting points of equal head are called equipotential lines and are indicated by dashed lines. An unlimited number of flow and equipotential lines can be drawn in any flow system; however, in a flow diagram a finite number of lines suffices to illustrate best the general pattern (about $\frac{1}{4}$ actual size).

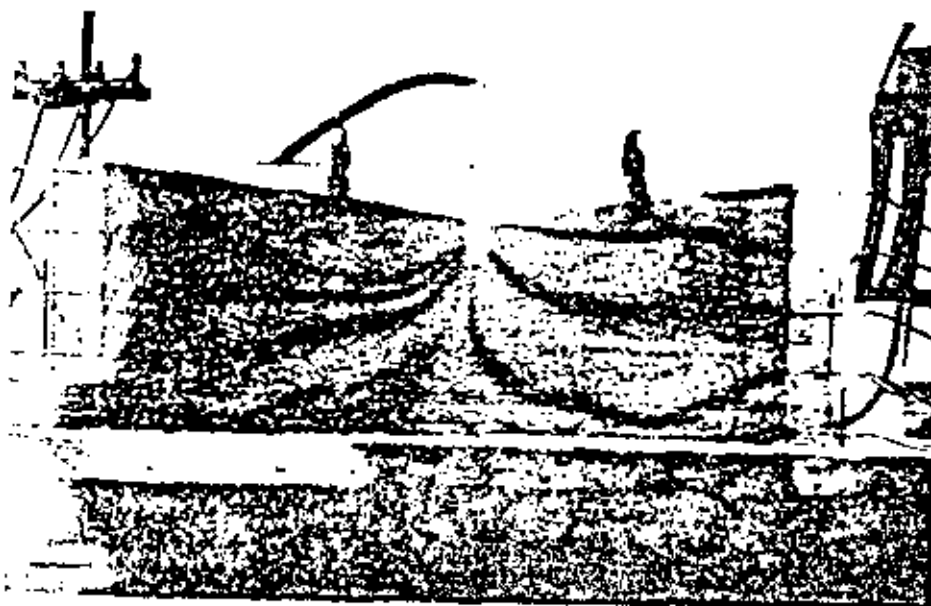


Fig. 3. Model of an effluent stream. It contains a porous medium of anisotropic permeability.

dient. During this temporary flow reversal, salt water moves from the stream into the ground water body and because of its high density may eventually sink to the bottom of the formation (4). A salt-water mound is thereby formed beneath the stream channel; this mound may have a long-lasting, detrimental effect on water-supply wells in the deep portion of the aquifer near the stream channel. Although the original groundwater gradient may be resumed soon after the stream subsides, a long time will be required to wash out all the salt by the comparatively slow movement of groundwater through the deep zone. A town's water supply can be temporarily impaired beyond use by this phenomenon, but this occurrence can be avoided if water-supply wells are placed at a safe distance from the bank of any stream subject to salt-water tides.

ship it also occurs that individual cones of depression can be superimposed upon one another to form a purely additive composite cone of depression. Therefore, if two wells (well no. 1 and well no. 2) pumping at constant rates in an artesian system caused individual drawdowns at a nearby observation well (well no. 3) of 10 and 30 feet respectively, when the two wells pumped together they would produce a cumulative drawdown of 40 feet at the observation well. If, however, the two wells were being pumped in an unconfined water table aquifer, drawdown will not vary directly as discharge and the individual cones of depression cannot simply be superimposed upon one another through the process of adding together individual drawdowns. This follows from the fact that when a portion of the aquifer surrounding a pumping well is dewatered, the saturated thickness of the aquifer is decreased. This results in a decrease in the transmissibility (since transmissibility is equal to permeability times the saturated thickness of the aquifer) which in turn serves to further increase drawdown. When Jacob modified Dupuit's equation (Jacob, 1944 and Ferris, 1949) he determined exactly what portion of the drawdown was produced by the dewatering of the aquifer and the subsequent decrease of transmissibility. He found that the increase in drawdown was equal to

$$\frac{s^2}{2m}$$

where s is actual drawdown and m is the initial thickness of the saturated aquifer. Therefore, the drawdown that would occur if there were no dewatering (let this drawdown be s') is

$$s' = s - \frac{s^2}{2m}$$

In the hypothetical case of wells 1, 2 and 3 mentioned previously, let us now assume unconfined water table conditions where:

$s_{3,1}$ = 10 feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 1;

$s_{3,2}$ = 30 feet = observed equilibrium drawdown at well 3 due to pumping at some constant rate in well 2;

m = 100 feet = initial saturated aquifer thickness;

then,

$s'_{3,1}$ = $s_{3,1} - \frac{(s_{3,1})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 1 if no dewatering occurred

$$s'_{3,1} = 10 - \frac{100}{200} = 9.5 \text{ feet}$$

$s'_{3,2}$ = $s_{3,2} - \frac{(s_{3,2})^2}{2m}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in well 2 if no dewatering occurred

$$s'_{3,2} = 30 - \frac{900}{200} = 25.5 \text{ feet}$$

and,

$s'_{3,1,2}$ = $s'_{3,1} + s'_{3,2}$ = drawdown which would be produced at well 3 by pumping in wells 1 and 2 simultaneously if no dewatering occurred

$$s'_{3,1,2} = 9.5 + 25.5 = 35 \text{ feet}$$

$s_{3,1,2}$ = actual drawdown at well 3 which will occur when well 1 and 2 pump simultaneously (dewatering does occur)

$$s_{3,1,2} = s'_{3,1,2} + \frac{(s_{3,1,2})^2}{2m}$$

therefore,

$$s_{3,1,2} = 35 + \frac{(s_{3,1,2})^2}{200}$$

$$200s_{3,1,2} = 7000 + (s_{3,1,2})^2$$

$$(s_{3,1,2})^2 - 200s_{3,1,2} + 7000 = 0.$$

The solutions of this quadratic equation are:

$$s_{3,1,2} = 45.2 \text{ feet and } 154.8 \text{ feet.}$$

Since the aquifer thickness is 100 feet, $s_{3,1,2}$ cannot equal 154.8 feet; therefore, the only correct answer is $s_{3,1,2} = 45.2$ feet.

In the problem above, if one had followed the simple process of addition used in calculating multiple drawdown in an artesian aquifer, an incorrect value of 40 feet would have been obtained. The correct calculations, however, show that the actual drawdown will be 45.2 feet, 10.2 feet of which is due to dewatering ($\frac{s^2}{2m} = 10.2$).

These situations can be calculated and then empirically observed in the cone of depression model. Figure 4 shows just such a situation where the white and black lines on the model represent the individual drawdowns of wells A and B when they were pumped individually. The gray line drawn on the model represents the drawdown in the model at the time the photograph was taken when both wells A and B were being pumped simultaneously at the same rates at which they were pumped individually. The observed drawdown agreed with the calculated drawdown. When the individual drawdowns are small with respect to the saturated thickness of the aquifer, such that the

remaining laminar, become curvilinear as they approach the well, but a high degree of parallelism is still maintained.

The upper white line drawn on the model in all of the pictures in Figure 1 represents the undisturbed hydraulic gradient or water table prior to pumping. The lower white line drawn on the model in Figure 11 represents the drawdown of the water table or cone of depression caused by the pumping well. Due to the fact that water is held above the water table by capillary forces in the capillary tubes, the rock both above and below the water table appears to be the same color. Therefore, it is not possible to actually see the shape of the cone of depression in this model by observing the change of color between the saturated rock below the water table and the unsaturated rock above the water table. Super capillary observation wells are required to see the physical position of the water table or cone of depression.

Therefore, a hydraulic model analogous to very general subsurface geologic conditions, containing 30 observation wells, was constructed for the purpose of studying and demonstrating the changes in the configuration of the water table produced by pumping wells. The model (Figure 2) consists of a watertight plexiglass case containing a consolidated medium which is a mixture of sand and epoxy resin (Lehr, 1963). The model case is made of 1/2 inch plexiglass

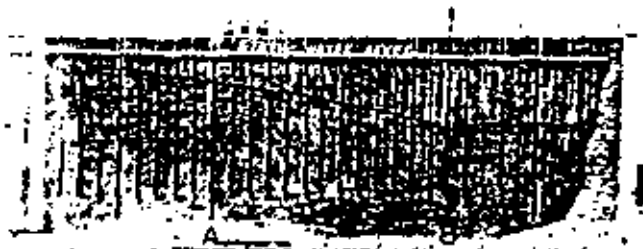


Fig. 2. Photograph of the cone of depression model after pumping in well B had reached a steady state. The cone of depression is drawn in black.

having inside dimensions of 33 in. x 12 in. x 3 in. The medium at the extreme right of the model is impermeable and is intended to represent the subsurface portion of an igneous mountain front. The remaining medium within the model has a permeability of 2,000 USGS units (gal/day/ft²/1:1 gradient). The left end tank of the model is intended to represent the cross section of a stream channel into which the water is recharging. The 30 observation wells, which accurately measure the position of the water table within the model, have 1/4 inch diameters. The four deepest wells are screened at their lowest 6 inches, while the rest of the wells are open only at the bottom. A small black bead of wax was placed in each observation well so that the water level would be clearly visible within the wells.

Figure 2 shows the model before and after well B had been pumped for a long enough period to achieve a steady state condition. The white line marked static

water level illustrates the position of the water table before pumping. Notice here the definite effects of the boundary conditions upon the cone of depression, which has been marked by a black line on the model. The limb of the cone to the right of the well was almost flat, due to the effect of the impermeable boundary to the right. The well was unable to take water from storage beyond this impermeable barrier and hence, was forced to take an increased amount of water from storage in front of the barrier, which resulted in a lowering of the cone of depression in that area. The cone of depression at the left of the well extended to the surface of the recharging water. At that point, it ceased to grow because it induced recharge from the end tank, thus eliminating the necessity of drawing any further water from storage within the aquifer and enlarging the cone of depression. This is exactly what happens in nature when a well pumping near a stream extends its cone of depression to the edge of that stream. Figure 3 shows the model

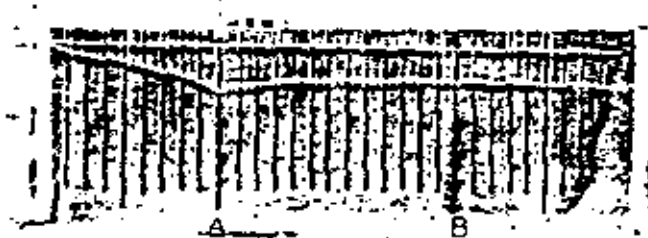


Fig. 3. Photograph of the cone of depression model after pumping in well A had reached a steady state. The cone of depression is drawn in white.

after well A had been pumped for a long enough period to achieve steady state conditions. The surface of the cone of depression is drawn in white on the face of the model. Once again, the effects of the two boundary conditions are evident. In this situation, the effect of the recharging end tank was more intense than the effect of the impermeable barrier, because well A was closer to the end tank than to the barrier.

When two or more wells are pumped simultaneously within close proximity of each other it is possible to calculate the resultant cone of depression if one first knows the drawdowns produced by the individual wells pumping alone. In an artesian system where the saturated thickness of the aquifer remains constant, the Theis non-equilibrium equation (Theis, 1935)

$$s = \frac{114.6 QW(u)}{T}$$

(where s is drawdown in feet, Q is discharge in gallons per minute, $W(u)$ is the dimensionless well function of u and T is transmissibility in gallons/day/ft) shows that s varies directly as Q at a given time and place, since all other factors will remain constant. Therefore, if the discharge, Q , is doubled the drawdown, s , will in turn be doubled. Due to this relation-

An Empirical Model Study of Cones of Depression Produced by Pumping Wells^a

by J. H. Lehr^b

Abstract

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. The movement of ground water is illustrated in two hydraulic models which were constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The models consist of watertight plexiglass cases containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone. The models are used to study cones of depression produced by pumping wells. Photographic histories of several ground-water flow conditions are illustrated.

It is of the utmost importance that ground-water users understand the basic concept that all the ground water within a single set of hydrologic and geologic boundaries is part of a single hydrologic system. Any changes superimposed on one portion of the system will eventually modify the conditions in the rest of the system. It is this very concept which has resulted in the formation of ground-water conservancy districts. Although there are a large number of ways in which ground-water users may put their water to work, it is surely in the common interest of all to conserve their water in a manner which will yield the optimum quantities of water at the most economical rates. When properly educated to the physical principles which govern the performance of a ground-water system, it is doubtful that a single water user would intentionally waste water which could be profitably used by the rest of the community. It is therefore worthwhile for all ground-water users to understand the manner in which ground water moves through the pore spaces of saturated rock and to understand the various configurations of the water table brought about by the pumping of water table wells. They will then be better able to

appreciate their individual position as related to the regional ground-water system.

The movement of ground water can be best illustrated in a hydraulic model which was constructed in order to bring ground-water flow into surroundings where it can be visually observed. The model (Figure 1) consists of a watertight plexiglass case containing a porous consolidated mixture of sand and epoxy resin, which simulates a true sandstone (Lehr, 1963). The consolidated medium is 20 inches long, 1 inch thick, and 12 inches high. Water is recharged into the right end of the model and allowed to discharge through an overflow drain in the left end of the model.

The water level in the right end tank is maintained at a higher level than the water in the left end tank. This produces a hydraulic gradient which causes the water in the model to move from right to left through the simulated sandstone aquifer. Ink is discharged into the model through a perforated metal tube buried in the right end of the sandstone. The ink entering the sand progresses through it in a thin band marking the path of flow, or flow line, from each perforation (Figures 1A, B, C, D).

A $\frac{1}{8}$ inch diameter hole at the center face of the model simulates a well from which water can be pumped. When operating with the well pumping (Figures 1E, F, G, H, I), the model closely illustrates the flow pattern of a two-dimensional cross section along the regional gradient of a radial flow system (Figure 1I). The two-dimensional character of the model, however, causes the well to act something like an infinite drain channel. In either case it clearly illustrates the phenomena of gravity drainage (Hall, 1955 and Hansen, 1953).

While open channel, surface water flow is characterized by turbulence which results in useless dissipation of potential energy, ground water is characterized by laminar flow which conserves all its energy for the single purpose of overcoming frictional resistance. This resistance is imposed upon the flow by the vast surface area present in the average sedimentary aquifer. When the ground-water system is undisturbed, the flow will follow along nearly straight parallel lines at velocities which depend directly on the magnitude of the permeability of the rocks and on the slope of the hydraulic gradient. The pumping of a well (Figures 1E, F, G, H, I) alters the system by creating an unordinarily low hydraulic head at the location of the well. The magnitude and direction of the hydraulic gradient and hence the velocity and direction of the ground-water flow is changed everywhere within the area of influence of the well. The flow paths, while

^a Based in part on an article "Model Analysis of Water Table Drawdown Surrounding Pumping Wells" which appeared in the Journal of Soil and Water Conservation, Vol. 18, No. 5, September-October 1963. This paper was presented at National Water Well Exposition, September 29-October 3, 1964, San Francisco, California.

^b Assistant Professor of Hydrology, Department of Geology, University of Arizona, Tucson, Arizona.

Discussion open until September 1, 1965.