

1ej-96

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**PROYECTO DE POZOS PROFUNDOS DE  
OBSERVACION Y EXPLOTACION DE AGUA  
POTABLE PARA CD. JUAREZ, CHIH.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA  
EUGENIO MACEDO NAVARRETE**

**CIUDAD UNIVERSITARIA**

**1981**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# C O N T E N I D O

## 1. ANTECEDENTES

- 1.1 OBJETIVO
- 1.2 INTRODUCCION
- 1.3 GENERALIDADES
- 1.4 CRACTERISTICAS GEOGRAFICAS
- 1.5. CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS
- 1.6 VIAS DE COMUNICACION
- 1.7 ASPECTOS ARBANOS
- 1.8 ESTUDIO DEMOGRAFICO
- 1.9 PROYECCION DE POBLACION
- 1.10 SERVICIO DE AGUA POTABLE
- 1.11 CARACTERISTICAS DE LA FAMILIA Y DE CONSUMO
- 1.12 MORBILIDAD E INCIDENCIA DE LAS ENFERME  
DADES HIDRICAS.
- 1.13 POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA
- 1.14 VISITAS DE RECONOCIMIENTO Y RECOPILA -  
CION DE INFORMACION
- 1.15 DATOS BASICOS DE PROYECTO

## 2. PLANEACION GENERAL

- 2.1 GENERALIDADES
- 2.2 DEFINICION DE ZONAS
- 2.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO
- 2.4 ACTIVIDADES DE CAMPO
- 2.5 HIDROGEOLOGIA Y GEOLOGIA
- 2.6 HIDROGEOQUIMICA
- 2.7 CALIDAD DEL AGUA SUBTERRANEA
- 2.8 SOLIDOS TOTALES DISUELTOS
- 2.9 CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA
- 2.10 HIDROLOGIA SUBTERRANEA

- 2.11 CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS ACUIFEROS
- 2.12 EXTRACCION DEL AGUA SUBTERRANEA
- 2.13 INFLUENCIA DEL TIEMPO DE BOMBEO EN EL RADIO DE INFLUENCIA Y EL ABATIMIENTO
- 2.14 CUANTIFICACION DE RECURSOS HIDRAULICOS
- 2.15 TERMINOS DE LA ECUACION DE BALANCE
- 2.16 DISPONIBILIDAD HIDRAULICA
- 2.17 CONCLUSIONES
- 2.18 RECOMENDACIONES

### 3. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO

- 3.1 DISEÑO DE LOS POZOS PROFUNDOS
- 3.2 FACTORES BASICOS DE DISEÑO
- 3.3 PROFUNDIDAD DEL POZO
- 3.4 ACUIFERO FREATICO HOMOGENEO
- 3.5 ABERTURAS DEL CEDAZO
- 3.6 SELECCION DEL MATERIAL
- 3.7 RESISTENCIA DE LA REJILLA
- 3.8 DISEÑO DEL FILTRO O EMPAQUE DE GRAVA
- 3.8.a) PROTECCION SANITARIA
- 3.9 HIDRAULICA DE POZOS
- 3.9.a) FUNCIONES DEL ACUIFERO
- 3.10 DEFINICION DE TERMINOS
- 3.11 PERMEABILIDAD
- 3.12 LEY DE DARCY
- 3.12.a) FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VALOR DE LA PERMEABILIDAD
- 3.13 DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD
- 3.14 REQUISITOS PARA LA PRUEBA DE BOMBEO
- 3.15 FLUJO INICIAL DESDE EL ACUIFERO AL POZO
- 3.16 FORMULAS DE REGIMEN DE EQUILIBRIO
- 3.17 REGIMEN DE NO EQUILIBRIO

- 3.18 FORMULA MODIFICADA DE REGIMEN DE NO EQUILIBRIO
- 3.19 ETAPA DE RECUPERACION
- 3.20 PENETRACION PARCIAL
  
- 4. ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION
  - 4.1 GENERALIDADES
  - 4.2 EQUIPO DE PERFORACION
  - 4.3 PROGRAMA DE PERFORACION
  - 4.4 AMPLIACION ENTUBADO Y ENGRAVADO
  - 4.5 LIMPIEZA
  - 4.6 DESARROLLO Y AFORO
  
- 5. PRESUPUESTOS.

C A P I T U L O    I.-

ANTECEDENTES.-

I. 1.- OBJETIVO.

Desde los tiempos más remotos uno de los principales problemas a los que se ha enfrentado el hombre ha sido la forma de captar el agua para poder sobrevivir. Hoy en día este problema sigue latente, y conforme pasa el tiempo, la situación se torna más difícil en la medida en que los acuíferos se van agotando. Los dos métodos convencionales para la captación del agua potable es mediante el almacenamiento en presas o bien perforando pozos profundos, explotando su acuífero hasta agotarse totalmente, siendo éste último el más usual debido a que se obtiene mejor calidad en el agua. A pesar de que es un problema de suma importancia, no se obtiene la información suficiente al respecto debido a la falta de investigación científica para la perforación y explotación de pozos para abastecer de agua potable a poblaciones que requieren de éste servicio.

En este trabajo se presentan básicamente algunas ideas y recomendaciones para la construcción y desarrollo de pozos profundos para alimentar de Agua Potable a ciudades normales y de tamaño medio, tratándose en este caso de Cd. Juárez, Chih., debido a que dispone de un crecimiento urbano en forma expansiva, cuyas causas se detallan en los capítulos correspondientes. Así mismo se pretende proporcionar una información, desde las necesidades de captar el agua potable hasta el diseño y construcción de las obras de captación así como el presupuesto de las mismas.

1.2. - INTRODUCCION.

Ciudad Juárez, Chih., constituye un complejo urbano que con el pa-  
so de los años incrementará su Población, lo cual hace que aumen-  
te su demanda de servicios públicos básicos. Ante esta situación-  
por parte del Gobierno Federal, se ha elaborado planes y programas  
que contrarresten los efectos ocasionados por los altos índices de  
migráficos que caracterizan a estas ciudades como fuerte polo de -  
atracción y desarrollo y que en última estancia originan los dese-  
quilibrios regionales en el País. Estos desequilibrios que en gene-  
ral son producto de las políticas de crecimiento y desarrollo, con-  
dicionan también las actividades económicas y por lo tanto su dina-  
mismo a la vez que están estrechamente ligados con los fenómenos -  
migratorios; así la creciente movilidad geográfica de los habitan-  
tes del País hacen cada vez más necesario realizar estudios que de-  
terminen la tipología de los movimientos migratorios, como princi-  
pales corrientes poblacionales en función de la heterogeneidad so-  
cioeconómica a lo largo del territorio nacional.

1.3.- GENERALIDADES.

A principios del presente siglo la hoy importante Cd. Juárez, -  
presentaba las características de una localidad rústica, no siendo  
sino hasta 1920 que inició el cambio en su estructuración urbana -  
acelerándose a partir del año de 1940, ya para esta época la pro-  
ducción agrícola constituida principalmente por el cultivo del algo-  
dón era de importancia a nivel nacional, en esta fecha la extensi-  
ón del territorio ocupada por la ciudad era de 5 KM2. y en 1960 de 24  
KM2; su población que ascendía a 122,500 habitantes alcanzó a incre-  
mentarse en dicho período a más del doble llegando a 262,119 habi-  
tantes.

Las zonas domiciliarias existentes en 1960 eran 15,700, de las -

cuales sólo 3,500 contaban con medidor. El número de servicios permaneció constante hasta el año de 1959. Lo anterior agravó el problema de dotación de agua potable de la ciudad, por lo que la antes Secretaría de Recursos Hidráulicos previos estudios decidió iniciar las obras de ampliación y rehabilitación del Sistema de Agua Potable para satisfacer los requerimientos de la Población.

En 1959 la fuente de abastecimiento del sistema la constituyen 12 pozos, la mayor parte de ellos defectuosamente construidos algunos de ellos aprovechaban las aguas freáticas contaminadas y en los de mayor profundidad no se había aislado la zona de aguas freáticas para evitar la contaminación de las aguas más profundas.

En el año de 1958, se inició en forma acelerada la invasión de las zonas altas de la ciudad localizadas al sur y poniente conocidas hoy como colonias precaristas, ocasionando con ésto el agravamiento del problema de abastecimiento de Agua Potable de la Población. Los habitantes de éstas nuevas colonias eran braceros que llegaban en busca de mejores oportunidades de trabajo al vecino Paísa y que al no poder obtener los permisos se quedaban en la ciudad, agregándoseles posteriormente sus familiares e integrándose definitivamente a la población de Cd. Juárez con la consiguiente demanda de servicios.

Las obras de ampliación se iniciaron en el año de 1959 perforándose 26 nuevos pozos, ya que los existentes no eran utilizables. Estas obras fueron financiadas por el Gobierno Federal. Posteriormente la Junta Federal de Mejoras Materiales, se encargó del equipamiento de los pozos, electrificación y tratamiento de agua, estableciéndose nuevas tarifas para el cobro del agua a los usuarios. Los trabajos mencionados consistieron en la perforación de 23 nuevos pozos.

Las obras se llevaron a cabo en el periodo de 1959 a 1964. Existiendo ya en 1960 según el censo general de población, 262,119 habitantes.

Las obras supuestamente estaban programadas para cubrir un periodo de 20 años o sea para 1980, pero en 1973 ya eran insuficientes a pesar



de haberse considerado dotaciones relativamente altas en el proyecto para las necesidades de esa época.

De 1973 a la fecha no se habían efectuado estudios para resolver en forma integral el problema de abastecimiento de Agua Potable de la ciudad, resolviéndose en forma parcial y sobre la marcha las necesidades de la Población.

1.4.- CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS.

Cd. Juárez cabecera Municipal, está ubicada en la parte norte del Municipio del mismo nombre, colindando con la ciudad de El Paso Tejas, las que son separadas por la frontera natural del Río Bravo.

Sus coordenadas geográficas aproximadas son :

31°44'18" latitud norte y 104°29'01" longitud oeste.

La ciudad se encuentra a 1,140 mts. aproximadamente sobre el nivel del mar, contando con una superficie urbana de 1,800 hectáreas.

1.5.- CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS.

Su clima es semiárido y corresponde a una temperatura promedio anual de 17.2° con temperatura media máxima en el verano de 34.9° y en invierno un promedio de medias mínimas de 1.4°C. La precipitación media anual combinada de lluvia y nieve es de 217 mm.

La ciudad se encuentra ubicada en la parte norte del Valle de Juárez, en la margen derecha del Río Bravo, formando parte de su cuenca; por el poniente la circunda el Valle de Juárez y el cerro muleros o de Cristo Rey.

1.6.- VIAS DE COMUNICACION.

Los servicios de comunicación con que cuenta la ciudad pueden considerarse como favorables, tanto para la comercialización de la producción industrial, agrícola y de servicios, especialmente en estos últimos por la gran afluencia turística.

Cd. Juárez, está comunicada por carreteras construidas y conservadas por el Gobierno Federal y Estatal.

En cuanto a carreteras estatales está la que va a Ascención, Jano y Nuevo Casas Grandes. Además esta ciudad está comunicada con Estados Unidos de Norteamérica por la carretera interestatal No. 10. Así mismo, la ciudad cuenta con el servicio de transporte local, foráneo e internacional.

Además existe un servicio de autovía que recorre de Cd. Juárez a Chihuahua con un total de recorrido de 359 Kms. Hay también conexión con el Paso Texas, por medio de tres líneas ferroviarias que son: The Southern Pacific, Santa Fé y Texas And Pacific Railroad, los que incluyen en conexiones con el Missouri Pacific y Rock Island.

Por lo que respecta al transporte aéreo cuenta con un aeropuerto internacional, el cual es de quinta categoría y tiene dos pistas de aterrizaje, una principal ( 03-2 ) que mide 2,750 Mts. de largo por 45 Mts. de ancho con una capacidad de 70,000 Kg. para jets de mediano alcance. La otra pista es de ( 14-32 ) y mide 1,750 Mts. de largo por 45 Mts. de ancho.

1. 7.- ASPECTOS URBANOS.

Esta ciudad dispone de una estructura urbana en forma expansiva en cuanto a sus principales indicadores, como son el número de calles el trazo y su circulación que son constantes por la gran cantidad de vehículos que transitan.

Dado el rápido crecimiento de área urbana, las autoridades han realizado obras de pavimentación que alcanzan grandes superficies - calculándose que existen aproximadamente 6,300,000 M2. que ya tienen servicio.

1. 8.- ESTUDIO DEMOGRAFICO.

Cd. Juárez, es la primera localidad superior a la de Cd. de Chihuahua, Capital del Estado. Convirtiéndose en los últimos años en una de las principales urbes de la nación.

De acuerdo a los últimos censos de población, Cd. Juárez ha crecido

a un ritmo demográfico superior al nacional y estatal, por lo que su población que en 1940 era de 48,881 personas pasó a ser en 1970 de 407,370, lo que quiere decir que en ese período creció con una tasa anual de 7.32%. En este mismo lapso la población estatal creció a una media anual de 3.22%. El origen básico del ritmo de crecimiento poblacional elevado en Juárez, lo constituye principalmente el fenómeno migratorio. Aún cuando la tasa de natalidad en la población del Municipio es relativamente baja.

1. 9.- PROYECCION DE POBLACION.

Normalmente las obras de infraestructura se proyectan a un período económico de largo plazo, que oscila entre 15 y 20 años. Para el cálculo de la población futura de Cd. Juárez, se han utilizado tres métodos que son: 1).- Aritmético, 2).- Geométrico y 3).- El del Banco de México.

Cabe hacer notar que la proyección de la población de esta ciudad difiere de la población proyectada dentro del área de estudio de ampliación, del Sistema de Agua Potable debido a que el propio proyecto de ampliación, no considera toda el área urbana actual, ni las expansiones urbanísticas futuras, sino el crecimiento demográfico que puede existir dentro de esa zona delimitada más la densificación demográfica que vaya a existir en el futuro. Para el área de proyecto se ha estimado un ritmo de crecimiento anual, en los 15 años comprendidos de 1971 a 1985, con una tasa de incremento de 3.7% y de 1986 a el año 2,000 una tasa de incremento de 3.69 % anual.

1.10.- SERVICIO DE AGUA POTABLE.

El Servicio de Agua Potable en los últimos veinte años ha venido creciendo, de acuerdo al incremento de su demanda provocada por la expansión demográfica. Según dato censal en 1950 el total de viviendas que tenían este servicio representaban el 85% del total, indicador que en 1970 fué de 82.71%.

La población beneficiada con este servicio en 1960 representaba el 70.03% del total, cifra relativa que creció en 1970 hasta representar

el 82.05% según informa la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento de Cd. Juárez, Chih., en 1977 la población servida representó el 75.65% de su total.

Para satisfacer la demanda de Agua Potable de esta localidad, en 1977 se extrajeron un total de 55'709,715 M3. de Agua. Este volúmen generado en el año de 1958 apenas era de 10'186,947 M3., es decir comparándola con la cifra actual, se observa una tasa promedio de crecimiento anual de 6.07% en el citado período.

En el presente, este servicio se encuentra en condiciones que pueden representar serias dificultades en el desarrollo urbano futuro. La fuente de captación con que cuenta en la actualidad, consisten en 40 pozos profundos que producen un gasto total de 1,870 l.p.s., ocasionando que dicho volúmen no satisfaga su demanda de una manera absoluta, debido a que ésta es de 2,720 l.p.s.

Este Sistema de Agua Potable, obtiene su producción por medio de la perforación de pozos y de un tratamiento de cloración razón por la que no existe en el Sistema Plantas Potabilizadoras, ya que éstas son usadas comúnmente en aguas provenientes de ríos, lagunas y arroyos. Este problema se expone más ampliamente en el capítulo correspondiente de este trabajo.

#### 1.11.- CARACTERISTICAS DE LA FAMILIA Y DE CONSUMO.

El número de familias en el Municipio, en los últimos 30 años ha experimentado un ritmo ascendente, por lo cual en 1940 el número de familias fué de 13,360, cantidad que en el censo de 1970 fué de 88,215. La tasa anual de incremento de las familias en el citado lapso fué de 6.49%, cifra que es superior a la de la población estatal, que en ese tiempo el número de familias creció a un ritmo de 2.8% anual.

Dadas las definidas características demográficas estudiadas anteriormente, estas también se reflejan en la familia, por lo tanto, el número promedio de personas que componen a la familia también se ha incrementado; en el año de 1940 este indicador fué de 4.11 personas

por familia, cifra que en el IX censo de población fué de 4.81 personas por familia. En ése mismo año, para el país y el estado esta cifra era de 5.30 y 4.98 por familia, respectivamente. De este indicador socioeconómico, se deduce que por el reducido número de miembros en la familia, se hace factible tener potencialmente un mayor grado de satisfacción de sus necesidades.

i. 12.- MORBILIDAD E INCIDENCIA DE LAS ENFERMEDADES HIDRICAS.

El número de defunciones, en los últimos años ha presentado una ligera tendencia a descender por lo que se afirma que en 1977 la tasa de mortalidad anual fué de 7.6 al millar. En los años de 1977, 1978, 1979, y 1980 el número de defunciones o fallecimientos de la población fueron los siguientes: 8,529, 4,446, 4,510 y 4,297, respectivamente. En lo que va de 1981 (Enero-Marzo), han fallecido un total de 231 -- personas dando un promedio de 77 defunciones por mes.

En el año de 1974, el 78.2% de los fallecimientos fué en población menor de edad, y el resto en población adulta. De las enfermedades que en ése año provocaron mayor número de defunciones fueron las siguientes: bronconeumonías que son originadas por los violentos y extremos cambios climatológicos, causaron el 29.95% del total de fallecimientos; después de las enfermedades de gastroenteritis, causó la muerte a el 24.61% del total de fallecidos; el cáncer provocó el 23.64 % de las defunciones, las otras enfermedades su frecuencia es relativamente menos considerable, pero cabe agregar que por deshidratación en ese año estudiado fallecieron 310 personas, que representó el 4.75 % del total de defunciones.

De las enfermedades contagiosas visibles en 1974, solo se dieron 55 casos de tifoidea, lo que es una cifra poco significativa.

Por otro lado, el número de nacimientos en los últimos cuatro años han sido los siguientes: en 1977 nacieron 16,874 niños, cifra que en 1978 creció hasta 22,111 nacimientos; en 1979 y 1980 este guarismo descendió hasta 16,883 y 15,861 alumbramientos respectivamente. En los primeros dos meses del presente año (1981), el número de naci

mientos registrados en la Oficialía del Registro Civil, era de -  
1,208 dando una media mensual de 604 alumbramientos.

1. 13.- POBLACION ECONOMICAMENTE ACTIVA.

Como consecuencia del rápido crecimiento demográfico de Cd. Juárez, la demanda de empleos se ha incrementado de tal manera que de 1960 a 1970 la oferta de estos fué insuficiente.

La población económicamente activa de esta localidad ha venido creciendo en forma continua, debido a que en 1930 sólo 12,455 personas trabajaban, en 1950, este guarismo fué de 41,963 y en 1970 fué de - 103,078 personas, es decir en valores absolutos en este período creció casi nueve veces.

En la totalidad del estado, el incremento de su población económicamente activa no presenta la misma tendencia siendo este crecimiento más lento, dado que en 1930 sólo 149,794 personas estaban ocupadas - y en 1970 ascendieron a 416,026 trabajadores. Para Cd. Juárez en 1980 se estima que la población económicamente activa fué de 258,370 - personas.

Dentro de la estructura ocupacional del Municipio, las actividades - primarias en un período de 40 años han perdido importancia en cuanto a su capacidad generadora de empleo, debido a que en 1930 en estas labores ocupaba el 36.3% de la población económicamente activa, cifra que en 1970 logró representar el 17.23% del total de trabajadores y - por último en 1980 esta cifra descendió hasta representar el 8.64% - de la población económicamente activa.

1. 14.- VISITAS DE RECONOCIMIENTO Y RECOPIACION DE INFORMACION.

Se efectuaron visitas a Ciudad Juárez, con el objeto de obtener la - información necesaria sobre las instalaciones del Sistema de Agua Potable existente, consistente en datos sobre los Pozos en Operación - en etapa de construcción y equipamiento, condiciones actuales de funcionamiento, equipos instalados, estado actual de los mismos y la información necesaria para determinar las dotaciones de Agua Potable -

que suministrarán a la población, tratamiento del agua y consumos de otras clases. (industrial, comercial etc.,). Así mismo se obtuvo información sobre la operación del Sistema y el grado de provechamiento de las instalaciones existentes.

1. 15.- DATOS BASICOS DE PROYECTO.

De acuerdo, con los estudios de crecimiento futuro de la población y la información sobre dotaciones actuales en la Ciudad se determinaron los datos básicos de proyecto.

La población futura de proyecto se fijó de 950,000 habitantes para los límites que inicialmente se habían aprobado, quedando incluidas la población de proyecto, las zonas media y alta (plan de emergencia). La dotación media de proyecto de las zonas media y alta del plan emergente fué fijada por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas en 300 y 250 litros /hab/día. La fijada para el proyecto integral que incluye las zonas: alta, media y baja, — fué de 380 Lts/hab/día, dotación que se satisfecerá con los 15 pozos de explotación que se construirán, los cuales generarán un gasto aproximado de 928 l.p.s., en forma tentativa.

A fin de garantizar los caudales futuros durante la vida económica se definió la perforación de 15 pozos de explotación, para la primera etapa de proyecto.

Los equipos de bombeo se diseñarán una vez que se tenga definida — íntegramente la zona de captación.

Las líneas de conducción de proyecto complementarán el gasto máximo diario que se requerirá. Estas líneas conducirán el gasto necesario a los tanques de regularización existente y de proyecto de las zonas alta, media y baja.

La cloración se aplicará en las líneas de conducción de las zonas en estudio. Los cloradores serán de capacidad suficiente para volúmenes a tratar. Se aplicará una dosificación de 0.2 P.P.M. de cloro

y la misma cantidad de hexametafosfato de sódio, los cuales - los cloradores quedarán instalados en la descarga de los tanques, modificándose el sistema anterior, el cual el tratamiento de potabilización se efectuaba en la salida de los pozos.



## CAPITULO II.-

### PLANEACION GENERAL.

#### II. I -- GENERALIDADES.

Para llevar a cabo la planeación más conveniente del sistema, se estudiaron varias alternativas tomando en cuenta los usos del suelo por zonas socioeconómicas y los gastos necesarios por suministrar, y el aprovechamiento al máximo posible de las instalaciones existentes (la mayor parte de éstas han sido rehabilitadas recientemente).

Existe un número considerable de pozos conectados directamente a la red de distribución de la zona baja (25 en operación), los cuales envían sus excedentes a los tanques de regularización localizados en la zona media en la cota 1,169.50 m.s.n.m. En las horas de máximo consumo, el gasto máximo horario se cubre con el bombeo de los pozos a la red y los tanques de regularización. Este funcionamiento es actualmente deficiente ya que los tanques no alcanzan a llenarse, por existir un déficit en la demanda de esta zona.

Para obtener un óptimo funcionamiento del sistema, se estudió la alternativa de desconectar los pozos de la red y enviar mediante líneas de interconexión los gastos directamente a los tanques. Lo que resulta costoso, además de ocasionar grandes trastornos a las actividades de zonas céntricas de la ciudad y por otra parte haría que proyectar circuitos de refuerzos a las existentes al mejorar las condiciones de entrada a la red del gasto máximo horario, que actualmente por la distribución de los pozos se efectúa por zonas cercanas a estos, complementando por las alimentaciones de los tanques. La solución adoptada fue conservar los pozos conectados a la red y revisar las condiciones de funcionamiento a mínima y máxima demanda y reforzar algunos tramos para mejorar las cargas dispo

nibles y las condiciones de trabajo de los equipos.

Se bombeará directamente de la zona de captación a los tanques de regularización, obteniendo con ello mayor eficiencia de los equipos de bombeo y mejor operación de los sistemas.

II. 2.- DEFINICION DE ZONAS.

De acuerdo a la topografía de la ciudad, ésta se dividió en tres zonas.

Zona alta, zona media y zona baja "El Granjero", zonas en las cuales se encuentran localizados los pozos de proyecto y los tanques a los que van a alimentar dichos pozos, para que estos a su vez distribuyan el agua a la red.

La zona alta se encuentra limitada por las curvas de nivel 1,240.00 y 1,180 m.s.n.m.

Zona media limitada por la 1,180.00 y 1,140.00 m.s.n.m.

Zona baja, entre las curvas 1,140.00 y 1,100.00 m.s.n.m.

Los pozos van a estar distribuidos como se muestran en la tabla:

No. de Pozo	Ubicación	Nombre del tanque que alimentará.	Ubicación	Tipo de Pozo
111	Zona Media	Morelos	Zona Alta	EXPLOTACION
112	Zona Alta	Morelos	Zona Alta	"
99	Curva de Nivel 1180	Constitución	Zona Alta	"
91	Zona Alta	Constitución	Zona Alta	"
74	Zona Alta	Div. del Norte	Zona Alta	"
105	Zona Baja	Palochino	Zona Baja	"
106	Zona Baja	Palochino	Zona Baja	"
107	Zona Baja	Palochino	Zona Baja	"
87	Zona Media	Rev. Mexicana	Zona Alta	"
97	Zona Media	Div. del Norte	Zona Alta	"
99	Zona Media	Div. del Norte	Zona Alta	"
103	Zona Media	La Cuesta	Zona Media	"
104	Zona Media	La Cuesta	Zona Media	"
108	Zona Baja	Palochino	Zona Baja	"
109	Zona Baja	Palochino	Zona Baja	"

\* Ver plano de localización de Pozos al final de este Capítulo.

### II. 3.- JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

Como se había mencionado anteriormente, Ciudad Juárez por su con di ci ón de Frontera ha tenido en los últimos años un desarrollo so cial y urbano que ha superado en forma amplia los cálculos más op timistas presentándose por consiguiente su déficit en el abasteci miento de Agua Potable a la población, y la necesidad de aumentar las captaciones paralelamente al crecimiento de la ciudad.

Las fuentes de abastecimiento para Agua Potable de Cd. Juárez, -- son pozos que explotan los acuíferos localizados en la misma ciudad. Esta explotación ha ocasionado grandes abastecimientos debidos a que se extrae más agua que la que recarga a los acuíferos. Como consecuencia, se vio la necesidad de estudiar el funcionamiento hidráulico de estos mantos y de localizar nuevas zonas de explotación para satisfacer el déficit de Agua Potable, previniéndose los volúmenes de agua necesaria hasta el año 1,000.

Se presentan en este trabajo el funcionamiento hidráulico del sistema de acuíferos de Cd. Juárez y su relación de acuíferos del Valle de Juárez, las características hidrodinámicas obtenidas por medio de pruebas de bombeo en dichas zonas y la distribución espacial en la calidad del agua. Así como también los resultados de un programa establecido de geofísica eléctrica en la periferia de la ciudad y la cuantificación de los recursos disponibles.

### II. 4.- ACTIVIDADES DE CAMPO.

- a).- Cortes litológicos y croquis de construcción de los pozos que abastecerán las zonas en construcción de Cd. Juárez (J.M.A.S.)
- Información de niveles estáticos y dinámicos, profundidades y gastos de los pozos. (Zonas Áridas Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos).
- Boletines de la hidrometría del Rfo Bravo.
- Caudal y número de los pozos que se encuentran operando en la primera unidad del Valle de Juárez.

- Hidrometría en los canales y drenes principales, sus volúmenes mensuales y anuales.
- Volúmen estimado de pozos particulares en la primera unidad y pozos que están en operación.
- Análisis físico-químicos del agua de los pozos y plano de ubicación de los mismos.

( Operación de Distritos de Riego S.A.R.H. )

- Información de niveles estáticos y dinámicos de los pozos de Cd. Juárez, gastos de operación de los mismos resultados de análisis físico-químicos de sus aguas (J.M.A.S.)

b).- Pruebas de bombeo y observaciones piezométricas.

Se estableció un programa de lecturas mensuales de los niveles estáticos y dinámicos de los pozos de Cd. Juárez con el fin de obtener el comportamiento individual de los mismos, y obtener las características hidrodinámicas, coeficientes de transmisibilidad y almacenamiento, representativos de la porción acuífera explotada. Se realizaron tres pruebas de bombeo - estratégicamente localizadas, programándose de manera de tener además del pozo de prueba un pozo de observación en cada ensayo realizado. La duración de estas pruebas son del orden de 6 a 8 horas para cada una de las etapas de abatimiento y recuperación.

c).- Muestras de Agua.

Se muestrearon los "Lloraderos" conocidos como ojos de palochino, así como determinados pozos particulares para con ello complementar la información de la composición química del agua y determinar las variaciones tanto laterales como verticales en las concentraciones cónicas en el área - de Cd. Juárez y el Valle de Juárez.

d).- Exploraciones Geofísicas.

Para tener el conocimiento relativo de los materiales del subsuelo, y su posible interrelación con el agua subterránea en las zonas aledañas - a Cd. Juárez, se estableció un programa de exploración indirecta por medio de geofísica eléctrica; efectuándose más de 50 sondeos eléctricos verticales.

Movimiento, descarga y recarga del agua subterránea.

La recarga de agua subterránea a los depósitos no consolidados a este Bolsón, considerada como cuenca endorréica, ocurre principalmente por infiltraciones desde las montañas Oregon y Franklin en Nuevo México y Texas, U.S.A. y en la sierra de Juárez en México, además de las infiltraciones laterales al acuífero aluvial que — alimenta el Río Bravo. La recarga directa por percolación de agua de lluvia es insignificante ya que la precipitación anual es de — 250 m. m., presentándose la mayor parte de ésta en los meses de — Agosto y Septiembre en 4-5 lluvias.

Expuesto lo anterior, se establece que la zona artesiana de Cd. — Juárez que abastece la misma, es alimentada por la sierra de Juárez por el lado oeste. Por el lado norte, teniendo en cuenta que se encuentra la ciudad de El Paso, Texas y que para su abasteci— miento explota el mismo acuífero, la gran cantidad de pozos del — lado americano impide que haya flujo subterráneo proveniente de ése sentido. Por otro lado, la parte sur de la zona de Juárez es— caracterizada por la presencia de lechos muy arcillosos que actúan como barrera, lo cual impide una recarga por la parte sur, por el lado este de la zona de Cd. Juárez, se encuentra el Valle de Juárez, que es paralelo al Río Bravo; en este citado Valle se encuen— tra el Distrito de Riego No. 9, en el cual parte del agua de rie— go es extraída del acuífero aluvial. Lo anterior se comentará más ampliamente en párrafos posteriores.

La descarga de los acuíferos del Bolsón está representada princi— palmente por la explotación de los mismos, por medio de Los pozos que abastecen el Paso, Texas y el Valle del mismo nombre Cd. Juárez y el Distrito de Riego número 9.

La zona artesiana de Cd. Juárez presenta grandes abatimientos lo que ha formado un cono de depresión piezométrica induciendo — con ello una concentración del flujo subterráneo hacia los pozos

II. 5.- HIDROGEOLOGIA Y GEOLOGIA.

La zona de Juárez se encuentra dentro del Bolsón el Hueco, el cual incluye áreas en Texas, Nuevo México y México. La parte norte del Bolsón, en Texas y Nuevo México, se localizan al sur de las montañas Oregon, al oeste de la montaña Franklin y este de las montañas el Hueco; la parte sur del Bolsón en Texas y México, se encuentra entre la sierra de Juárez (México) al oeste y las montañas Quitman al este.

Las formaciones geológicas del Bolsón, el Hueco, consisten de depósitos no consolidados, que se acomodan en intercalaciones de arenas, gravas y arcillas, con espesores individuales que van de unos centímetros a cerca de 100 metros por estrato.

Los estratos individuales no presentan uniformidad ya que como se mencionó antes los espesores varían considerablemente por lo que resulta imposible correlacionar estos cuernos deduciendo que presentan un carácter particular.

La interpretación del funcionamiento hidráulico de los acuíferos en el Bolsón es considerada como un sistema múltiple en el que la ocurrencia y circulación del agua es a través de los estratos más permeables. Lo anterior da por resultado tener en la zona de Juárez un acuífero libre suprayaciendo a una zona artesiana semi confinada.

El agua subterránea en el área de Cd. Juárez ocurre en los depósitos no consolidados del Bolsón y en los rellenos aluviales del Río Bravo. En el Valle de Juárez, el agua subterránea se encuentra bajo condiciones freáticas en el aluvión del Río Bravo.

Sin embargo, en toda el área de Cd. Juárez, el agua subterránea se encuentra bajo condiciones de artesianismo, además de la porción superior que trabaja como acuífero sobre el artesianismo - es debido a que el agua que circula por ese estrato semiconfinado es recargada en las partes más elevadas del Bolsón, y el confinamiento lo dan luchos de materiales de poca permeabilidad, - en este caso arcillas.

De lo anterior, resulta claro la sobre-explotación que ha tenido esa formación acuífera donde la extracción es mayor que la recarga, teniéndose con ello un minado continuo del almacenamiento del acuífero. El acuífero libre del Valle de Juárez es descargado por los pozos y norias del Distrito de Riego No. 9, pero teniendo en cuenta la recarga de retorno por riego, y la alimentación por el Río Bravo los cambios en el nivel freático no son significativos.

## II. 6. - HIDROGEOQUIMICA.

Resultados de Análisis Químicos.

Los resultados de los análisis físico-químicos de los aprovechamientos del área de estudio se interpretaron y procesaron tal como se muestra.

Se estudiaron los resultados de los principales cationes y aniones presentes en el agua, las concentraciones de sólidos disueltos totales, dureza y alcalinidad en carbonato de calcio. Los parámetros mencionados se expresan en partes por millón y en miliequivalentes por litro.

El análisis permite visualizar dentro de todo el conjunto las concentraciones de algunos iones que excedan las establecidas por las normas de calidad para Agua Potable. Así los resultados de los aprovechamientos que surten Cd. Juárez establecen el agua del acuífero semiconfinado dentro de las normas establecidas por la S.A.H. O.P. (1980). Por otro lado los resultados físico-químicos de las aguas subterráneas del Valle de Juárez, en la primera unidad, presentan concentraciones más altas en cuanto al número de p.p.m. de sólidos totales disueltos, además algunos pozos acusan una fuerte concentración de Na, Cl y SO<sub>4</sub>.

Las variaciones en la composición química del agua subterránea del Valle de Juárez se deben a que los pozos en esa unidad varían notablemente en profundidad, lo anterior aunado a que se trata de una

zona de riego, influye notablemente en las variaciones espaciales y verticales que los resultados presentan.

En base a lo mencionado se llegó a la estratificación existente en calidad del agua, situación que es común, tanto en el área urbana de Cd. Juárez, como en la primera unidad del Valle de Juárez.

Así se nota una parte superior de agua salobre con profundidades máximas de 120 Mts., y finalmente un estrato de agua salobre a profundidades mayores.

#### II.7.- CALIDAD DE AGUA SUBTERRANEA.

Los resultados anteriores se manejaron de acuerdo a técnicas hidrogeoquímicas de manera de buscar interrelaciones entre el agua de acuífero artesiano y el acuífero libre del Valle. Así mismo, para determinar el flujo subterráneo se construyen curvas de 150 valores de sólidos totales disueltos.

#### II.8.- SOLIDOS TOTALES DISUELTOS.

Las menores concentraciones se encuentran en la parte sur-oeste de Cd. Juárez y en el flanco este de la sierra de Juárez.

Estas zonas coinciden con la zona de recarga por infiltración de lluvia.

Las curvas de 150 valores de S.D.T. (Sólidos totales disueltos) de 500, 600 y 700 miligramos por litro se elevan concentrándose hacia el centro del área de Cd. Juárez, indicando con ello que el agua subterránea disuelve sales, conforme avanza en esas direcciones. Esto corrobora el cono de depreciación y las concentraciones del flujo, producto de la sobre-explotación, que ha tenido esa formación acuífera en la mencionada área.

El valor de los sólidos disueltos totales proporciona un índice del ataque del agua sobre las formaciones geológicas y de la solubilidad y facilidad de renovación de las sales del subsuelo.

#### II.9.- CLASIFICACION DEL AGUA SUBTERRANEA.



Con el objeto de obtener en forma ilustrativa los diferentes tipos o familias de agua de acuerdo al anión y catión predominante, los resultados de los análisis químicos de las zonas de Cd. Juárez y Valle de Juárez, se manejaron usando los diagramas triangulares de Piper.

Los tipos de familias de aguas se vaciaron sobre un plano, delimitando zonas con agua de diferente composición. Se identificaron las siguientes familias: agua calcica bicarbonatada, producto de la disolución de rocas calizas por el agua; esto tiene relación con la sierra de Juárez que es considerada como área de recarga. La zona delimitada con agua calcica clorurada, por cierto muy local y también en el flanco éste de la sierra de Juárez, tiene su origen por el aporte de ión cloruro debido al ataque de ciertos minerales asociados a rocas igneas y metamórficas (apatita y soladita). En esa parte de la sierra de Juárez se encuentran rocas de origen igneo y metamórfico, además de las sedimentarias.

En el agua de tipo calcica-mixta, la cual es representativa, tanto en la zona artesianas de Cd. Juárez como de la del Valle, no predomina ningún anión lo que indica que es una mezcla de diferentes tipos. La presencia del anión calcico es natural, ya que éste proviene de casi todo tipo de suelos y rocas.

Lo anteriormente expuesto, indica una interrelación de las aguas subterráneas del acuífero del Valle, con el acuífero semi-confinado-artesiano de Cd. Juárez; pues como ya se mencionó las aguas freáticas que se encuentran sobre la zona artesianas de Cd. Juárez son de una familia muy diferente por tratarse de aguas salobres (o sea que contienen sales).

## II.10.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.

### a).- PIEZOMETRIA.

Con la información piezométrica, se construyeron las redes de flujo subterráneo, se determinaron las zonas de recarga y descarga a que-

están sometidos los mencionados acuíferos y se comprobaron con los efectos de extracción, infiltración y drenaje que se manifiestan en dichas formaciones.

b).- REDES DE FLUJO.

Para el acuífero artesiano de Cd. Juárez, se construyó una configuración de los niveles estáticos, así como para una parte del Valle de Juárez.

En la zona artesiana de Cd. Juárez, el sentido de flujo, se concentra hacia las áreas con mayor densidad de pozos, con ello se manifiesta el cono de depresión piezométrica que ha tenido lugar en esa formación, por el minado continuo de su almacenamiento. Las áreas de alimentación para estas zonas de explotación, se presenta de la parte sur-este, por la sierra de Juárez en su flanco este. Por el lado este, la configuración piezométrica indica un flujo proveniente de ese sentido, este flujo es una interconexión entre el acuífero artesiano y el acuífero aluvial del Vallo. De la parte norte de esta zona es muy difícil pensar en una alimentación, pues los pozos que abastecen la ciudad de el Paso Texas, explotan la misma formación, a ello aunado el gran número de aprovechamiento del lado americano, que hacen similar ese lado como una barrera.

Por otra parte no se puede pensar en una recarga por infiltraciones laterales del Río Bravo, ya que hay que tener presente que el acuífero artesiano explotado, su confinamiento se lo dan estratos de espesores no uniformes de materiales poco permeable. Además el agua que satura las áreas que descansan sobre esos lechos confinantes, está muy concentrada en sales a diferencia de las aguas artesianas.

Las líneas equipotenciales del acuífero libre en la primera unidad del Valle de Juárez, indican una ramificación en el sentido de los flujos subterráneos entre Cd. Satélite y Waterfil a la altura de Cd. Satélite en toda esa área, se tiene que la dirección predominante del flujo converge hacia el oeste esto es hacia la zona artesiana

na de Cd. Juárez. Así mismo a la altura de Waterfil, la dirección del flujo subterráneo es paralelo al Río Bravo. Este acuífero aluvial es alimentado en parte por el Río Bravo, además de la recarga que recibe por percolación debida al retorno por riego.

#### II.11.- CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS ACUIFEROS.

Con las tres pruebas de bombeo realizadas, se calcularon los parámetros de transmisibilidad y almacenamiento.

Los valores del coeficiente de transmisibilidad resultaron de  $1.4 \times 10^{-2}$  M<sup>2</sup>/Seg. y  $1.5 \times 10^{-2}$  M<sup>2</sup>/seg. en la zona artesiana. En la prueba efectuada en pradera dorada, cuyo funcionamiento es el de un acuífero libre, la transmisibilidad es de  $8.21 \times 10^{-3}$  M<sup>2</sup>/seg.

El coeficiente de almacenamiento en las dos pruebas de la zona artesiana es de  $4.52 \times 10^{-4}$  y  $5 \times 10^{-5}$ . En la tercera prueba de pradera dorada, el valor del rendimiento específico es de  $1.6 \times 10^{-3}$ . Estos parámetros obtenidos, son representativos para cada tipo de sistema acuífero, esto es, en el acuífero confinado (zona artesiana), se tienen altas transmisibilidades y bajos almacenamientos; en el acuífero libre el rendimiento específico es mayor y menor la transmisibilidad.

#### II.12.- EXTRACCION DE AGUA SUBTERRANEA.

Los pozos que alumbran el agua de la zona artesiana para el abastecimiento de Cd. Juárez, explotan un volumen anual del orden de  $69.5 \times 10^6$  M<sup>3</sup> (datos de la Junta Municipal de Aguas y Saneamiento). La extracción mensual se presenta con variaciones siendo máximas en los meses de Julio, Agosto y Septiembre. En los meses de invierno las extracciones bajan notoriamente. Esto es natural debido al consumo por habitante diario, según la temperatura ambiente.

Los volúmenes extraídos anualmente en la primera unidad del Valle de Juárez, estimados de acuerdo a tiempos de bombeo de los aprovechamientos, caudales de operación de los mismos, son del orden de

69.0 millones de metros cúbicos. (Datos proporcionados por Operación de Distritos de Riego de la S.A.R.H.).

II.13.- INFLUENCIA DEL TIEMPO DE BOMBEO EN EL RADIO DE INFLUENCIA Y EL ABATIMIENTO.

Con el objeto de determinar el emplazamiento de futuros pozos en la zona artesiana de Cd. Juárez, de acuerdo a la búsqueda de un mejor manejo de los recursos acuíferos, se simuló la operación y extracción, utilizando los parámetros hidrodinámicos representativos de la zona, - derivados de las pruebas de bombeo. Esto es un  $Q = 55$  l.p.s.; 180 días ininterrumpidos de bombeo;  $T = 0.015$  M<sup>2</sup>/seg. y  $S = 4.5 \times 10^{-4}$ . En base a lo anterior, se calculó una separación óptima entre pozos de 600 mts. que asegura que la interferencia de los radios de influencia no - tenga gran efecto en sus abatimientos debido a causas y efectos de los mismos.

II.14.- CUANTIFICACION DE RECURSOS HIDRAULICOS.

La mejor disponibilidad de los recursos hidráulicos subterráneos del - área de Juárez está en el manejo del sistema de acuíferos, de acuerdo a un modelo conceptual bien real, que se tenga de ellos. De antemano, el incremento en el descenso de los niveles piezométricos que se ha -- presentado con el tiempo, manifiestan un desequilibrio entre la recarga y descarga del agua subterránea de los acuíferos que abastecen a dicha ciudad.

II.15.- TERMINOS DE LA ECUACION DE BALANCE.

La ecuación de balance establecida para la zona artesiana, para determinar la recarga vertical que pueda aportar el acuífero superior es la siguiente:

$$E_1 + E_2 - S_1 - S_2$$

= Cambio en el almacenamiento en  
10 M.

donde:

- $E_1$  = entradas verticales por diferencias de presiones en 10 M .
- $E_2$  = entradas subterráneas horizontales en 10 M .
- $S_1$  = Extracción por pozos en 10 M .
- $S_2$  = salidas subterráneas horizontales.

#### II.16.- DISPONIBILIDAD HIDRAULICA.

De los resultados anteriores, la disponibilidad que tiene Cd. - Juárez, está en el aprovechamiento de la recarga que recibe del lado del acuífero aluvial del Valle y del lado sur-este de la - ciudad a la altura del fraccionamiento municipal.

#### II.17.- CONCLUSIONES.

Por todo lo anterior, se concluye lo siguiente:

El funcionamiento hidráulico de los acuíferos del área de estudio es el de un sistema múltiple, en el que se definen claramente cambios en la composición química del agua. Siguiendo un orden descendente en la zona de Cd. Juárez se tiene lo siguiente: un acuífero libre con agua muy concentrada en sales, no apta para agua potable, con espesor saturado de 80 a 120 mts. Una capa poco permeable arcillosa, de espesor no uniforme y carácter lenticular. Un acuífero semiconfinado por la capa antes mencionada, con carácter de artesianismo y con agua de buena calidad; esta formación es la explotada por los pozos de Cd. Juárez, su espesor es de 90-180 metros.

Abajo de los 300 metros el agua subterránea está fuertemente concentrada en sales hasta profundidades de más de 500 mts.

El acuífero aluvial del Valle de Juárez es el tipo libre, con aguas aptas para consumo hasta los 130 metros de profundidad, más abajo el agua subterránea se vuelve muy concentrada en sales.

La hidrogeoquímica y las redes de flujo indican una interconexión,

al este de Cd. Juárez, entre la zona artesiana de la ciudad y el acuífero aluvial del Valle.

Las exploraciones geofísicas efectuadas al sur-este de la ciudad, indican posibles espesores saturados, los que pueden ser correlacionables con los actualmente explotados. Los sondeos ejecutados al este de la ciudad, indican probables espesores saturados aptos, en los 50-135 metros de Profundidad. La cantidad de agua disponible en la zona alta y no explotada hasta la fecha es de 500 l.p.s., mientras en la zona baja alcanza fácilmente la cifra de  $1.5M^3$ /seg., por lo que se asegura el abastecimiento de agua potable hasta el año 2,020, de acuerdo a las necesidades proyectadas por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.

#### II.18.- RECOMENDACIONES.

- a).- Se recomienda, continuar con el programa de piezohidrometría, con recorridos mensuales en los pozos de Cd. Juárez y del Valle de Juárez, orientado a la obtención de datos para su posterior manejo, integrado a la climatología y a la ecuación de balance establecida.
- b).- Efectuar perforaciones en la parte sur-este de la ciudad entre el fraccionamiento municipal y la parte sur de la nueva penitenciaría, así como en la zona baja. Estas se comenzarán en Enero efectuándose 15 definitivas y 12 de observación por parte de la S.A.H.O.P., durante 1981.
- c).- Se recomienda no llevar las perforaciones más abajo de los 350 mts. de profundidad, ya que el fuerte incremento de la salinidad de las aguas subterráneas con la profundidad, está evidenciado por los muestreos directos efectuados por el U.S. Geological Survey, y por la gran conductividad que los sondeos geofísicos acusan.
- d).- De continuar abatiendo el nivel piezométrico en la zona artesiana es de esperarse un deterioro en la calidad del agua que consume la

ciudad de Juárez al quedar el nivel freático por encima del piezométrico se establecerá un flujo vertical descendente a través del estrato semipermeable que separa los dos acuíferos. Esto de acuerdo a la ley de Darcy por la diferencia de presiones.

e).- El desequilibrio entre la recarga y descarga a que están sometidos los acuíferos actualmente explotados, ponen de manifiesto el minado continuo del almacenamiento de las mismas formaciones, con ello descensos continuos en los niveles de agua. Sin embargo debido a la ubicación geográfica y política de las formaciones explotadas y dada la condición de Frontera de Cd. Juárez, y el gran número de aprovechamientos que explotan las mismas formaciones acuíferas del lado americano, es de esperarse que, una restricción en la política de explotación de las mencionadas formaciones, no solucionaría en gran parte la problemática del manejo de las aguas subterráneas en el área de Juárez.

f).- Por lo que para el abastecimiento más allá del año de 2,020, es necesario contemplar el cambio de uso del agua, impidiendo así la extracción para riego y aumentando la recarga al mismo tiempo.





## C A P I T U L O    I I I

### DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.

#### III. 1 -    DISEÑO DE LOS POZOS PROFUNDOS.

Cabe señalar que los pozos para explotación de aguas subterráneas deben diseñarse para obtener la mayor productividad, asociada con el máximo gasto específico, para reducir al mínimo - los costos de operación y mantenimiento, a cuyo efecto se seleccionan materiales que garanticen la vida económica del pozo, dimensionando sus elementos estructurales, a fin de obtener costos de construcción razonable. Una forma práctica de Ingeniería, demanda que estos objetivos sean considerados en conjunto.

Las guías de diseño que aquí se ofrecen son aplicables a los pozos con rejilla o cedazo alojados en materiales no consolidados; aunque los principios de diseño pueden ser aplicados también a los pozos en formaciones rocosas, se exige el tener que considerar mayor número de detalles de diseño.

Todo tipo de pozo profundo debe por lo general diseñarse para - obtener de él, el mayor rendimiento disponible en el acuífero y la mayor eficiencia en términos de capacidad específica. Estos factores inciden directamente en los costos de operación.

Resulta de utilidad considerar al pozo como una estructura que - consiste de dos elementos principales. Uno de estos elementos está constituido por aquella parte del pozo que sirve como alojamiento del equipo de bombeo y como conducto vertical a través - del cual fluye el agua en su movimiento ascendente desde el acuífero, hasta el nivel en que hace su entrada a la bomba. Por lo general ésta es la parte adernada del pozo.

El otro elemento principal, es el intervalo de captación del - pozo. Puesto que este es el lugar en donde el agua proveniente -

del acuífero hace su entrada al pozo, su diseño demanda una -  
consideración muy cuidadosa de los factores hidráulicos que in-  
fluyen en el comportamiento del pozo.

### III.2.- FACTORES BASICOS DE DISEÑO.

Diámetro de la cámara de bombeo :

Queda definido fundamentalmente por el gasto que se va a explotar  
ya que de este depende el diámetro de los tazones de la bomba. -  
Generalmente el adome ciego que formará la cámara de bombeo, se -  
le asigna un diámetro mínimo de 3" mayor que el diámetro de los -  
tazones de la bomba.

Con este criterio, se satisfacen los siguientes requisitos indis-  
pensables por especificaciones:

- a).- La bomba turbina, ya sea con o sin motor sumergible se puede  
alojar holgadamente en la cámara de bombeo.
- b).- Se tiene una satisfactoria eficiencia hidráulica con pérdida  
de fricción razonable.
- c).- Se absorben pequeñas desviaciones y torceduras de la cámara  
con lo que la columna de la bomba queda sensiblemente verti-  
cal.

En casos en que el diámetro de los tazones sean pequeños, el diá-  
metro de la cámara podrá ser tan sólo 2" mayor que el del exte -  
rior de los tazones.

### III.3.- PROFUNDIDAD DEL POZO.

La profundidad que se espera darle al pozo se determina por lo -  
general, mediante el registro de pozo de prueba, de los registros  
de otros pozos cercanos en el mismo acuífero o durante la perfo-  
ración del pozo de producción. Generalmente los pozos se termi-  
nan hasta el fondo del acuífero. Esto se hace por las siguientes  
razones.

- a).- Cuanto mayor sea la penetración del pozo en el acuífero - mayor será la capacidad específica del mismo.
- b).- Para lograr mayor abatimiento disponible.

Sin embargo, hay ocasiones en que se encuentra agua de mala calidad en la parte inferior del acuífero en este caso, el pozo deberá completarse hasta una profundidad que excluya -- esa agua, para ello debe tenerse cuidado de rellenar el pozo nuevamente hasta el nuevo fondo deseado, para evitar que el - agua indeseable fluya hacia arriba al ser bombeado el pozo. - Esto es que debe utilizarse un material relativamente impermeable en el relleno del pozo. También el relleno debe irse apisonando, lo mejor que sea posible, con las herramientas - de perforar, para evitar que ocurra asentamiento de la rejilla.

Longitud de la rejilla.- (Según tipo de acuífero).

La longitud óptima de rejilla debe escogerse con relación a:

- a).- Espesor del acuífero.
- b).- Abatimiento disponible.
- c).- Estratificación de la formación.

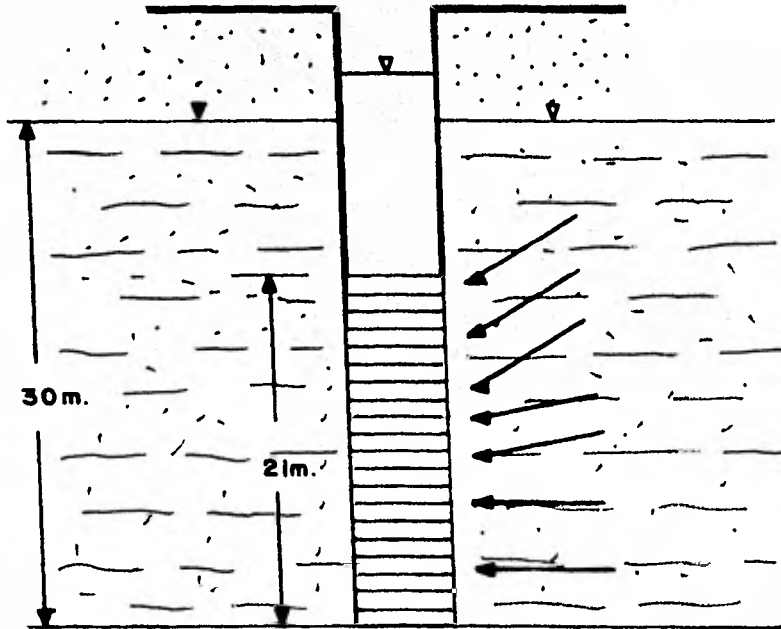
Existen cuatro situaciones típicas:

Acuífero artesiano homogéneo: Se recomienda enrejillarse de un 70-80 % del espesor del material acuífero, suponiendo que el nivel del agua no descienda por debajo del techo de este. Una buena práctica de diseño nos indica que el máximo abatimiento disponible de un acuífero artesiano debe ser igual a la diferencia entre el nivel estático y el techo del acuífero.

ESPESORES:  $\left\{ \begin{array}{l} 0 \text{ Mts. enrejillar } 70\% \\ 0-15 \text{ Mts. enrejillar } 75\% \\ \geq 15 \text{ Mts. no menos del } 80\% \end{array} \right.$

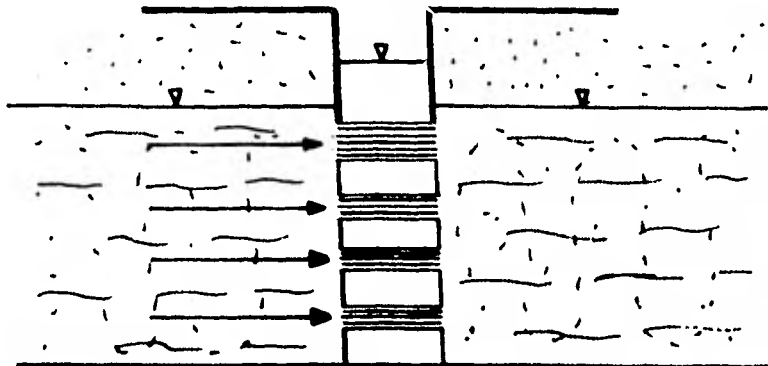
Con lo anterior, es posible captar alrededor del 90% o más - de la máxima capacidad específica que se podría obtener al -

enrejillar todo el acuífero, tal y como se muestra en la siguiente figura:



Corte de un pozo con enrejillado continuo.

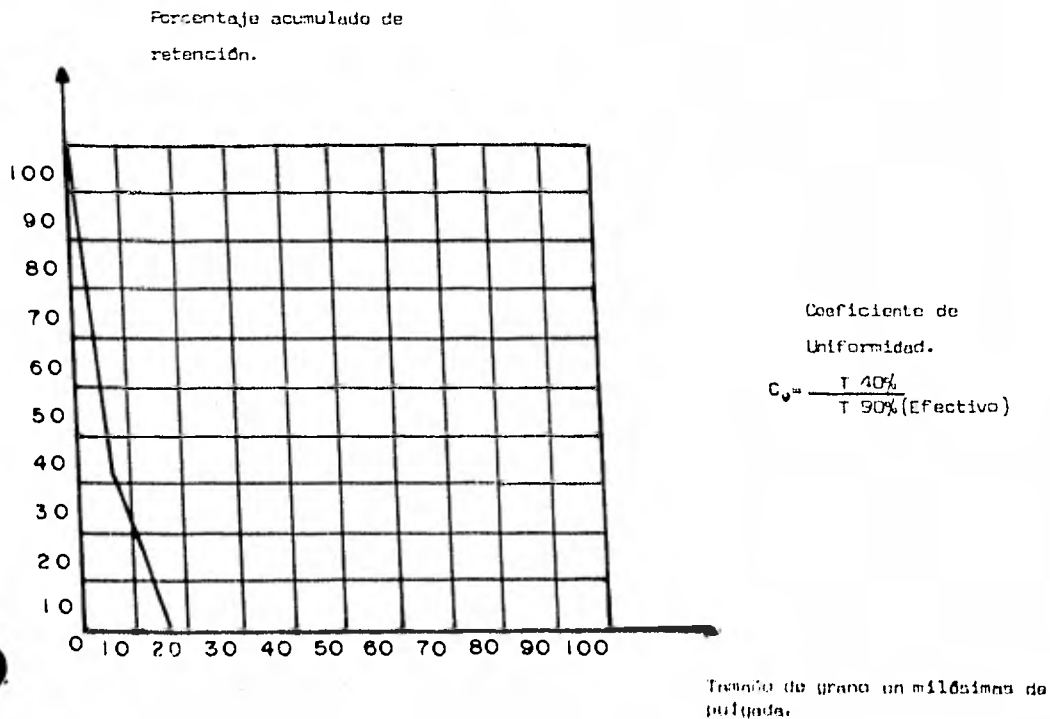
El comportamiento de un pozo se puede mejorar usando secciones múltiples de rejilla, ver la sig. figura.



Corte de un pozo con enrejillados de secciones múltiples.

acuifero artésiano heterogéneo: en este tipo de formación acuifera, obviamente lo mejor es enrejillar el estrato más permeable y para lograrlo puede hacerse de la siguiente manera:

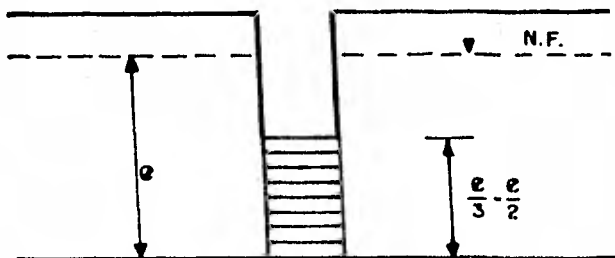
- a).- Análisis granulométrico de aquellas muestras que representan los correspondientes estratos de la formación mediante una comparación de las curvas granulométricas, se deduce la permeabilidad relativa de cada muestra. Aquellas curvas con las pendientes inclinadas indicarán por lo general, los materiales más permeables. Una curva que tienda más a la vertical representa una arena de graduación más uniforme. La mayor uniformidad en el tamaño de los granos aumenta la permeabilidad Véase la sig. figura:



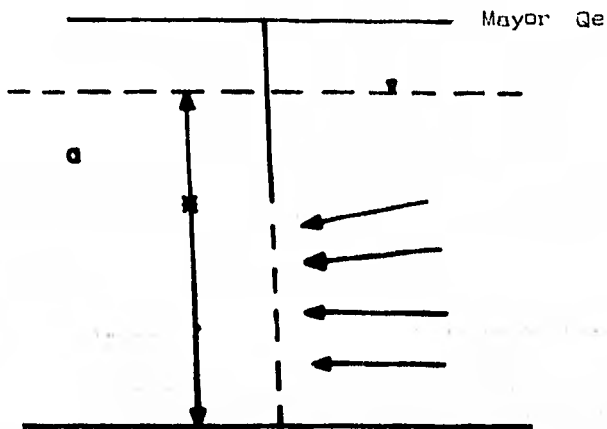
b).- Inspección visual y comparación de los materiales que representan cada estrato. La permeabilidad relativa de cada uno se estima mediante una apreciación de laastedad y limpieza (ausencia de limo y arcilla del material).

### III.4.- ACUIFERO FREATICO HOMOGENEO.

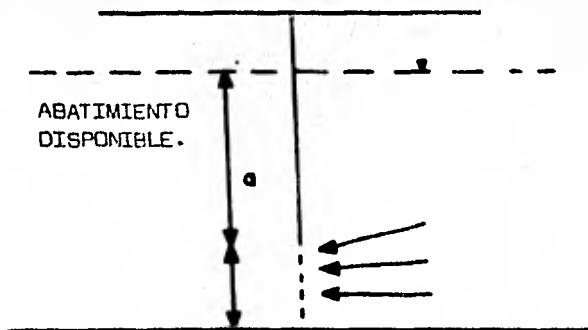
Tanto la teoría como la experiencia, han demostrado que un buen diseño de cedazo conviene ubicarlo en la parte inferior del acuífero con una longitud entre un tercio y un medio de su espesor.



En los pozos de nivel freático la longitud de la rejilla representa algo así como una alternativa de dos factores: Por un lado con la mayor longitud posible de tubo filtro se obtiene una mayor capacidad específica ( $Q_e$ ) ello hace que se reduzca la convergencia del flujo con el resultado de una mayor capacidad específica ( $Q_e$ ). ver la siguiente figura:



Si se utiliza la menor longitud posible de rejilla, se cuenta entonces con un mayor abatimiento disponible.



De lo anterior se deriva que es necesario analizar conjuntamente estos efectos. Ambas posibilidades quedan satisfechas en parte, mediante el uso de una rejilla eficiente.

La razón de que el cedazo se enfrente al fondo del acuífero es que la zona superior de este, necesariamente se deseca al desplazarse el agua hacia el pozo.

Acuíferos libres Heterógeneos.

Se aplican los mismos principios de diseño que se aplican en los confinados, esto es buscar la zona más permeable.

La diferencia consiste en que la parte ranurada debe ser colocada en la parte más baja del estrato y más permeable del acuífero, para así lograr el mayor abatimiento disponible.

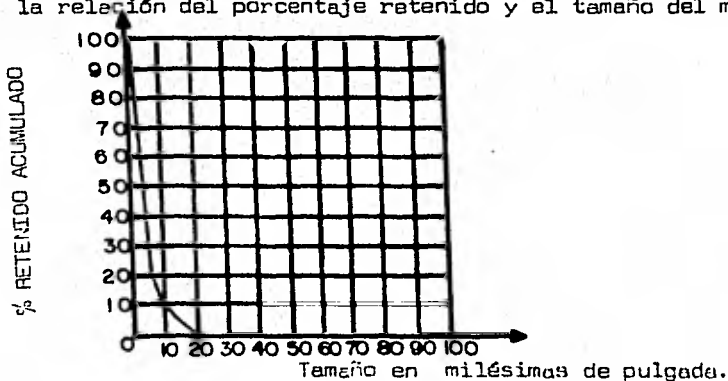
### III.5.- ABERTURAS DEL CEDAZO.

La terminación de un pozo por el método natural, exige que la abertura del tubo filtro o cedazo dependa directamente de la curva granulométrica, de las formaciones acuíferas y de la calidad del agua.

La abertura de la rejilla se selecciona como el tamaño que retendrá del 40- 50% del material.

Cuando existe el 40% de retenido acumulado el agua no es excesiva-

mente corrosiva, cuando se presenta el 50% implica agua extra-  
madamente corrosiva; en la siguiente gráfica podremos observar  
la relación del porcentaje retenido y el tamaño del material.



Esto es porque un aumento de la abertura de una o dos milésimas de pulgada causada por la corrosión, podría hacer que el pozo produjera arena al ser bombeado.

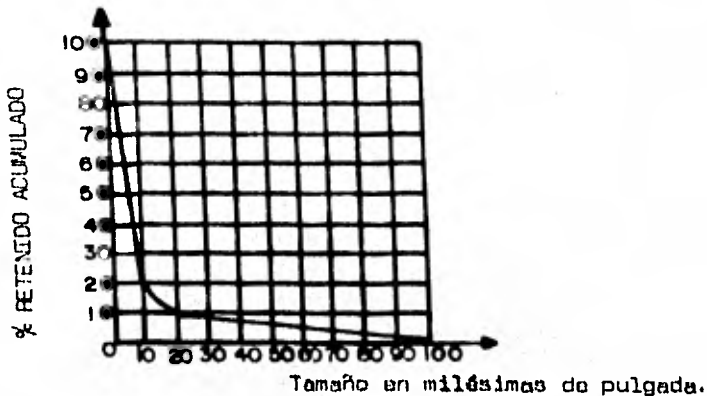
En formaciones homogéneas de arenas finas y gruesas, la abertura del cedazo se fijará para el tamaño del material que re tenga:

30%- agua excesivamente incrustada

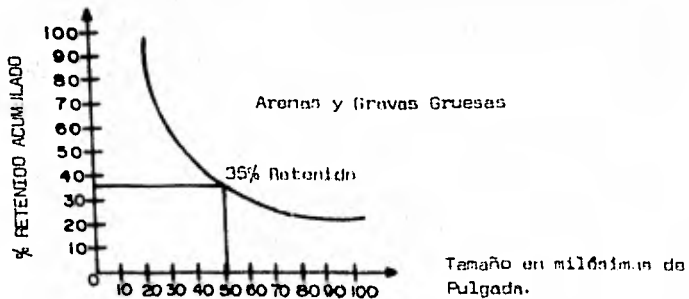
40%- agua ligera corrosiva.

50%- agua muy corrosiva.

40- 50%- ligeramente incrustante cuando el tiempo de desa-  
rrollo es limitado. ver las siguientes figuras:

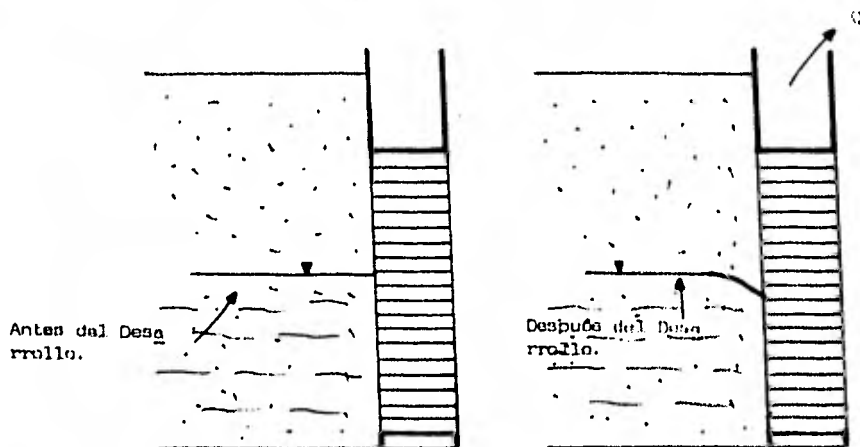






En formaciones heterogéneas las aberturas se seleccionarán - aplicando los criterios anteriores, a cada estrato siguiendo las dos reglas siguientes:

- a).- La capa de material fino sobre una de material grueso - debe prolongarse 0.5 a 1.00 m. de rejilla diseñada para el material fino en la zona de material grueso



- b) Cuando el diseño requiere la colocación de un prefiltro o filtro de grava, entonces la abertura será menor que dos veces el tamaño del material retenido para las aberturas antes mencionadas.

$$Ac < 2 Tan.$$

Diametro del tubo filtro.- El diámetro del cedazo es el único factor que puede variar en función de la velocidad de entrada del agua através de las ranuras ya que la longitud y la abertura del cedazo están condicionadas por el espesor y granulometría del material que constituye el acuífero.

Se ha encontrado práctica y experimentalmente que si la velocidad de entrada del agua a la rejilla es igual o menor que 3 cm/seg. Se lo - gran los siguientes resultados:

- a) Las pérdidas por fricción através del cedazo se reducen al mínimo.
- b) La incrustación se reduce a un mínimo aceptable
- c) La corrosión se reduce a un mínimo aceptable.

La velocidad de acceso se calcula dividiendo la descarga deseada a la que se espera obtener por el área total abierta de las ranuras de la rejilla.

Sabemos que  $Q = A V$  entonces

Si  $\frac{Q}{A \text{ ranuras}} = 3 \text{ cm/seg.}$  Se considera normal

Si  $\frac{Q}{A \text{ ranuras}} > 3 \text{ cm/seg.} \Rightarrow$  Aumentar el diámetro de la rejilla

Si  $\frac{Q}{A \text{ ranuras}} < 3 \text{ cm/seg.} \Rightarrow$  Disminuir el diámetro de la rejilla

Los fabricantes de rejillas y tubería ranurada proporcionan tablas que indican el área abierta por metro en función del diámetro del cedazo y del tamaño de las aberturas.

### III.6.- SELECCION DEL MATERIAL.

Principales aspectos que gobiernan la selección del material.

- Calidad del agua (contenido mineral)
- Presencia de bacterias.
- Requisitos de resistencia.

Agua Corrosiva.- Indices de entrada, excesiva, corrosividad de arenas al agrandarse las aberturas; en las cuales se presentan los siguientes factores:

- Si el  $P H < 7$  se presenta agua ácida agresiva.
- Si  $SOT > 1000$  aumenta la conductividad eléctrica con la consiguiente corrosión electrolítica.
- Si  $Cl > 500$  P P M, la corrosión es imminente.

Agua Incrustante.- Tendencia a depositar minerales en las superficies de la rejilla.

Los índices de incrustabilidad aumentan cuando se presenta :

- Alto valor del P H.
- Dureza de carbonatos (  $Ca$   $CO_3$  )<sub>2</sub>.

Las incrustaciones son removidas con adiciones de una fuerte concentración de ácido clorhídrico ( muriático ) que los disuelve. Por lo tanto las rejillas deberán estar construidas con metales resistentes que soporten la acción corrosiva del tratamiento con ácido.

Bacterias.- En las aguas subterráneas a veces se tiene la presencia de la llamada bacteria ferrosa o ferruginosa, la cual no es ofensiva a la salud. Estas bacterias producen un material

pegajoso y causan oxidación y precipitación de hierro disuelto y de Mn con ello en un corto tiempo se produce la obstrucción del pozo para eliminar esto se le da un tratamiento al pozo con soluciones concentradas de cloro además de ácido clorhídrico, con lo que el material de la rejilla debe resistir la acción corrosiva de estos tratamientos químicos.

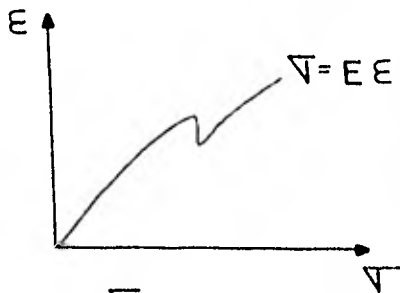
### III.7.- RESISTENCIA DE LA REJILLA.

Fuerzas a la que está sometida:

- a).- Carga de columna.
- b).- Presiones laterales.

Cuando una rejilla larga soporta un peso considerable de tubo -- por encima de ella, la rejilla actúa como una columna esbelta. Cuando la presión de los materiales y el socavamiento de estos -- aplastan la rejilla, ésta debe disponer de adecuada resistencia -- para soportarlo.

La resistencia de la rejilla a ambas fuerzas es directamente proporcional al módulo de elasticidad del material empleado en su fabricación, lo cual gráficamente se representa como sigue:



Donde:

- $V$  = Resistencia
- $E$  = Módulo de elasticidad.
- $E$  = Deformación unitaria.

Acero inoxidable :  $E=2.1 \times 10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>.

Acero con aleación de Cobre:  $E \approx 1.5 \times 10^6$  Kg/cm<sup>2</sup>.

### III.8.- DISEÑO DEL FILTRO O EMPAQUE DE GRAVA

En la Mayor parte de las formaciones constituidas por materia- - les granulares, existe un % variable de granos finos, que duran- te el bombeo del pozo tienden a ser arrastrados hacia el inte- - rior del ademe y posteriormente arrojados por la bomba.

Si esta cantidad de finos en las vecindades del pozo es grande - y durante el bombeo se arrastran significativamente, tendrán con- secuencias catastróficas, ya que en el mejor de los casos, el equi- po de bombeo resultará destruido en sus partes más vitales por la abrasión derivada de los sólidos bombeados . Aunque lo más frecuen- te es que el pozo sufra aplastamiento por derrumbes de las forma- ciones vecinas.

Para evitar lo anterior, es necesario un filtro de grava colocado en el espacio anular que para el efecto se deja entre las paredes de la formación y el ademe del pozo.

Las estadísticas señalan que en niveles de pozos perforados y que se han colocado filtros de grava correctamente diseñados, no se - han tenido problemas, en tanto que han fracasado muchos que no - quedaron debidamente protegidos por un filtro adecuado.

De acuerdo con la experiencia se proponen las siguientes recomen- daciones según lo cual se han tenido buenos resultados.

Cualquier clase de material por finos que sean se puede controlar con un filtro constituido por grava granulada con partículas limi- tadas entre 1/4" y 1/2" de  $\phi$ .

Obviamente la granulometría del filtro debe ser proporcionada con las aberturas de las ranuras en los cedazos.

Debe tenerse muy presente, que la grava deberá estar formada por - partículas redondeadas, con objeto de tener la máxima porosidad - y permeabilidad en el filtro. El empleo de grava triturada no es

recomendable, ya que las partículas se acuñan entre sí, reduciendo notablemente la porosidad y permeabilidad. Puesto que la teoría de diseño de la gradación de los filtros de grava se basa en la retención mecánica de las partículas de la formación, lo único que se necesitaría es un espesor de filtro de solamente dos o tres tamaños de grano, para que el filtro retuviese y controlase la arena de la formación. Para asegurarse de que toda la envoltura de grava rodeo a la rejilla se necesita por lo tanto un espesor de unos 8 cms. que se considera práctico para su instalación.

### III.8.a).- PROTECCION SANITARIA.

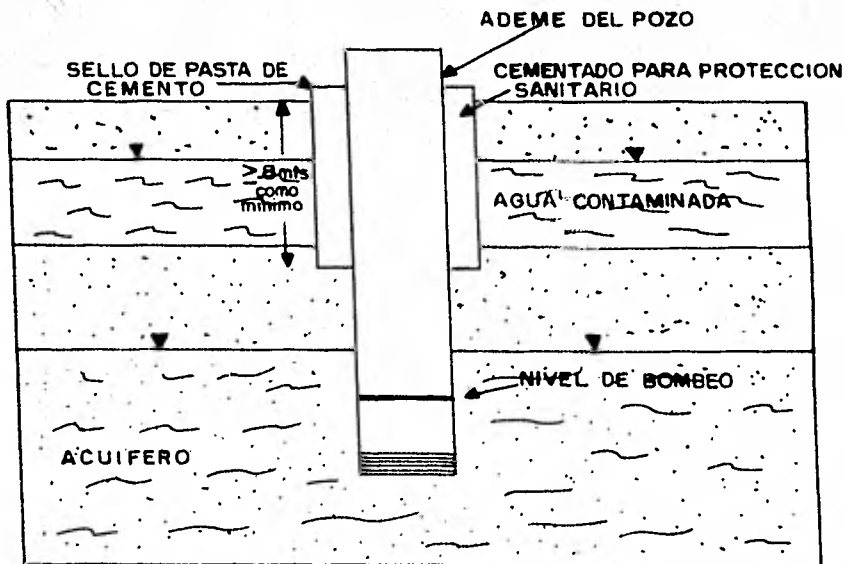
Debido a las inevitables irregularidades del tamaño del acuífero y puesto que este debe ser necesariamente mayor que el tubo que se una como ademe, es de suponer que ciertas aberturas se encuentran alrededor del exterior del ademe, sea cual fuere el método de instalación.

En esta forma bien podría ser que agua contaminada proveniente de drenaje o escurrimiento superficial o de otras formaciones ajenas al acuífero mismo se desplace hacia abajo y a través de esos espacios. Ello daría como resultado la contaminación del agua que está siendo bombeada del pozo. Por regla general entonces se necesita algún medio que pueda sellar las aberturas que se encuentran por fuera del ademe.

Esta construcción sellada de la porción ademada del pozo, deberá llevarse hasta el estrato impermeable, si el acuífero es confinado o hasta una profundidad segura por debajo del nivel dinámico o de bombeo previsto.

Con lo anterior, el abastecimiento de agua obtenida del acuífero se hallará libre de bacterias patógenas ya que una construcción adecuada constituye los factores naturales que normalmente protegen a la mayoría de los acuíferos, especialmente a las formacio-

ciones arenosas de la contaminación, observese la siguiente figura:



### III.9.- HIDRAULICA DE POZOS.

Un pozo es una estructura hidráulica que debidamente diseñada - y construida, permite efectuar la extracción económica de agua de una formación acuifera. Para lograr lo anterior partiremos de las siguientes bases :

- a).- Una aplicación inteligente de los principios de la hidráulica en el análisis del pozo y del comportamiento del acuifero.
- b).- La destreza al perforar y construir pozos, lo que permite - tomar ventaja de las condiciones geológicas.
- c).- Una selección tal que los materiales, den una larga duración a la estructura.

#### III.9.a).- FUNCIONES DEL ACUIFERO.

Las funciones más importantes que realiza un acuifero son dos a saber: una función almacenadora y otra transmisora. El acuifero -

almacena agua sirviendo como depósito y transmite agua como -  
lo hace un conducto. Las aberturas o poros de una formación  
acuifera sirven, tanto de espacio de almacenamiento como de -  
red de conductos. El desplazamiento del agua subterránea es -  
muy lento, con velocidades que se miden en metros por día y  
a veces en metro por año.

Naturaleza del flujo convergente.- Cuando se inicia el bombeo  
el nivel del agua en la velocidad del pozo bombeado, desciende.  
El mayor abatimiento tiene lugar en el propio pozo. El abati -  
miento es menor a mayores distancias desde el pozo, y existe -  
un punto a cierta distancia de este en que el abatimiento es -  
casi imperceptible.

El nivel del agua en el pozo de bombeo es más bajo que en cual -  
quier otro lugar de la formación que rodea a este, de manera -  
que el agua se desplaza desde la formación hacia el pozo, tra -  
tando de reponer el volumen extraído por la bomba. La fuerza  
o presión que impulsa el agua hacia el pozo, es la carga repre -  
sentada por la diferencia de niveles del agua dentro del pozo -  
y en otro punto cualquiera fuera de aquel.

El agua fluye en todas direcciones, desde el acuífero hacia el  
pozo. Conforme el agua se mueve más y más, cerca de este, lo -  
hace pasando a través de sucesivas superficies cilíndricas que  
cada vez van siendo menores en área. Consiguientemente, la velo -  
cidad del agua aumenta conforme está se acerca al pozo.

La ley de DARCY nos indica que en el flujo, a través de medios -  
porosos el gradiente hidráulico varía directamente con la velo -  
cidad. Con velocidad creciente, el gradiente hidráulico aumenta  
conforme el flujo converge hacia el pozo. La forma de esta su -  
perficie se asemeja a una depresión cónica y de ahí que recibe -  
el nombre de cono de depresión. En una formación de transmisibi



lidad baja, el cono es profundo y tiene una base pequeña con los extremos empinados. En otra con alta transmisibilidad el cono es poco profundo y presenta una extensa base y pendientes laterales moderadas.

### III.10.- DEFINICION DE TERMINOS.

- Radio de influencia (R).- Es la distancia desde el centro del pozo hasta el límite del cono de depresión. Este radio es mayor en los conos de depresión que rodean a pozos artesianos que en aquellos situados al rededor de pozos freáticos.
- Coeficiente de Almacenamiento (S).- Es la cantidad de agua liberada por una columna de área horizontal unitaria y altura igual al espesor saturado del acuífero, cuando la carga hidráulica decrece una unidad (Adimensional). El valor de S en los acuíferos libres varía desde 0.01 hasta 0.35, estos mismos valores en un acuífero artesiano van desde 0.00001 hasta 0.0001
- Coeficiente de Transmisibilidad (T).- Es la razón a la cual fluye el agua a través de una franja vertical del acuífero de ancho unitario y de altura igual al espesor saturado del mismo cuando el gradiente hidráulico es igual a 1.

El coeficiente de transmisibilidad indica que cantidad de agua se mueve a través de la formación y S indica la cantidad que puede ser obtenida por bombeo o drenaje. Conociendo ambos coeficientes para un acuífero particular se podrían hacer las siguientes predicciones, entre otras:

- Capacidad específica de pozos de diferentes tamaños.
- Abatimiento del acuífero a diversas distancias del pozo de bombeo.
- El abatimiento en un pozo en cualquier tiempo después de haber comenzado el bombeo.

### III.11.- PERMEABILIDAD.

En el campo de la geohidrología, la permeabilidad tiene importancia primordial, de ella depende fundamentalmente el rendimiento de las captaciones y la velocidad de circulación del agua subterránea; su conocimiento es esencial para cuantificar los caudales de flujo subterráneo y la velocidad de propagación de un contaminante en el subsuelo.

La propiedad de una formación acuífera en lo referente a su formación transmisora o de conducto se denomina permeabilidad, la cual se define como la capacidad de un medio poroso para transmitir agua. El movimiento del agua de un punto a otro del material tiene lugar cuando se establece una diferencia de presión o carga entre dos puntos.

### III.12.- LEY DE DARCY.

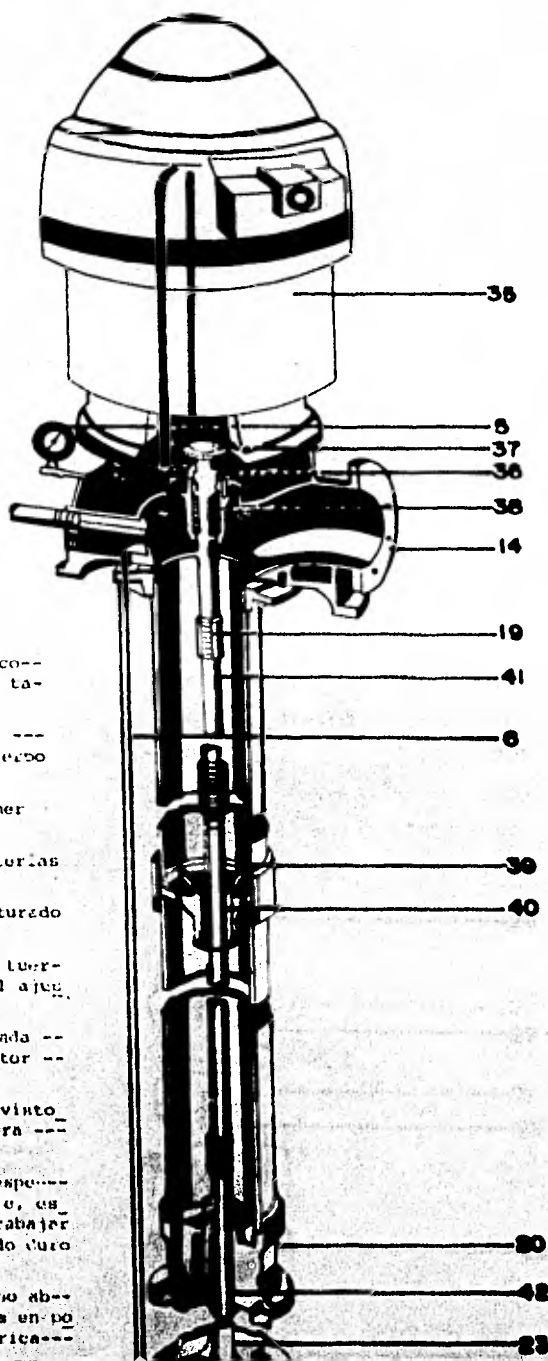
En 1856 Henry Darcy estudió experimentalmente el fenómeno del flujo a través de filtros de arena. Como resultado de sus observaciones estableció la ley que lleva su nombre, la cual constituye una de las bases de la teoría del flujo en medios porosos. De acuerdo con esta ley la velocidad con que circula un fluido a través de un material poroso es directamente proporcional a la pérdida de carga hidráulica e inversamente proporcional al gradiente hidráulico.

El agua subterránea, en su curso, experimenta una pérdida de energía debida al rozamiento con las superficies del medio granular a través del que circula. Para el movimiento laminar en medios porosos, esta pérdida por unidad de longitud de la distancia recorrida o gradiente hidráulico es proporcional a la velocidad del agua subterránea.

# BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA

## LUBRICADA POR AGUA CON IMPULSORES DE TIPO SEMIABIERTO

- 21.- TUBO ADAPTADOR.- De hierro colado grano fino, alta resistencia. En su interior lleva un sello de goma hidráulica especial.
- 22.- CHUMACERA DEL TUBO ADAPTADOR.- Conecta el sistema de tubos de cubierta con el cuerpo de tazones.
- 23.- FONTE DEL TAZON DE DESCARGA.- De bronce especial y de gran longitud para asegurar un buen sello a la lubricación por aceite.
- 24.- ANILLO "O".- Centrifuga el líquido y elimina resonancias remanentes en el sistema.
- 25.- FLECHA DEL CUERPO DE TAZONES.- De acero inoxidable, rectificado y bruñido a precisión. Alineada a milésimas de pulgada. De diámetro muy sobrado y maquinada a precisión.
- 26.- TAZON INTERMEDIO.- De hierro colado de alta calidad, con ranuras de agua tersas y de diseño avanzado.
- 27.- IMPULSORES.- De tipo cerrado y bronce especial, fundidos con medidas precisas. Maquinados a precisión, pulidos a mano y balanceados estáticamente.
- 28.- CARRILLO DEL IMPULSOR.- De acero especial. Mantiene el impulsor firmemente sobre la flecha del cuerpo de tazones.
- 29.- BAJE DEL TAZON INTERMEDIO.- Combinación de bronce especial y elastómero.
- 30.- ANILLO DE AJUSTE.- De bronce especial, de gran resistencia al desgaste, pulidos a precisión. De tipo reversible.
- 31.- CAJA DE SUCCIÓN.- Actúa como elemento de conexión entre el tubo de succión y el cuerpo de tazones.
- 32.- BUJE CAJA DE SUCCIÓN.- De bronce especial --- actúa como la primera guía de la flecha del cuerpo de tazones.
- 33.- TUBO DE SUCCIÓN.- Guía el líquido al primer impulsor eliminando turbulencias.
- 34.- COLADERA CONICA.- Evita la entrada de materias extrañas al interior de la bomba.
- 35.- MOTOR VERTICAL DE FLECHA HUECA.- Manufacturado especialmente para bombas de tipo turbina.
- 36.- PERNAS ESTOPAS.- De bronce, con birlos y tuercas de latón. El sistema es bipartido de fácil ajuste y renovación.
- 37.- DEFLECTOR.- De elastómero. Evita la llegada del líquido de lubricación del estopero al motor eléctrico.
- 38.- CAJA DEL ESTOPERO.- De hierro colado provisto de anillo linterna, empaque y ducto con grasera --- para la lubricación del sistema.
- 39.- TORMENTINACERA.- De bronce y de diseño especial que permite que el sistema sea reversible, es decir que la chumacera de elastómero puede trabajar sobre la parte superior o inferior del cromado duro de la flecha de línea.
- 40.- CHUMACERA.- De elastómero especial que no absorbe agua, provista de cofas para mantenerla en posición y con ranurado en espiral para la lubricación.



31.- CAJA DE SUCCION.- Actúa como elemento de conexión entre el tubo de succión y el cuerpo de tazones.

32.- BUJE C/JA LE SUCCION.- De bronce especial --- actúa como la primera guía de la flecha del cuerpo de tazones.

33.- TUBO DE SUCCION.- Guía el líquido al primer impulsor eliminando turbulencias.

34.- COLADERA CONICA.- Evita la entrada de materias extrañas a interior de la bomba.

35.- MOTOR VERTICAL DE FLECHA HUECA.- Manufacturado especialmente para bombas de tipo turblina.

36.- PRENSA ESTOPAS.- De bronce, con birlos y tuberías de latón. El sistema es bipartido de fácil ajuste y renovación.

37.- DEFLECTOR.- De elastómero. Evita la llegada del líquido de lubricación del estopero al motor eléctrico.

38.- CAJA DEL ESTOPERO.- De hierro colado provisto de anillo linterna, empaque y ducto con grasera para la lubricación del sistema.

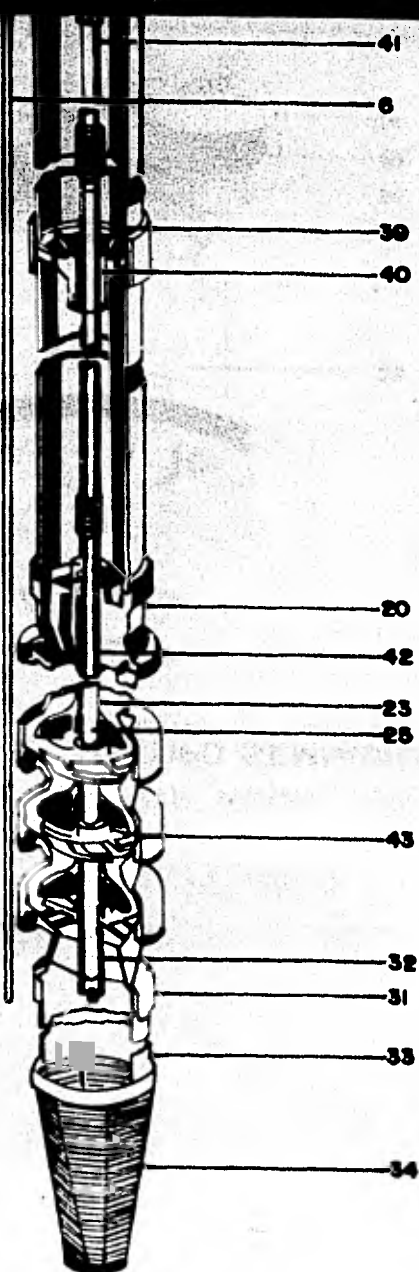
39.- PORTACHUMACERA.- De bronce y de diseño especial que permite que el sistema sea reversible, es decir que la chumacera de elastómero puede trabajar sobre la parte superior o inferior del cromado duro de la flecha de línea.

40.- CHUMACERA.- De elastómero especial que no absorbe agua, provista de cajas para mantenerla en posición y con ranurado en espiral para la lubricación.

41.- FLECHA DE LINEA.- De acero rectificad, bruñido y pulido. En la parte en donde la flecha entra en contacto con la chumacera de hule, se suministra una capa adecuada de cromado duro industrial de gran resistencia a la abrasión y a la oxidación.

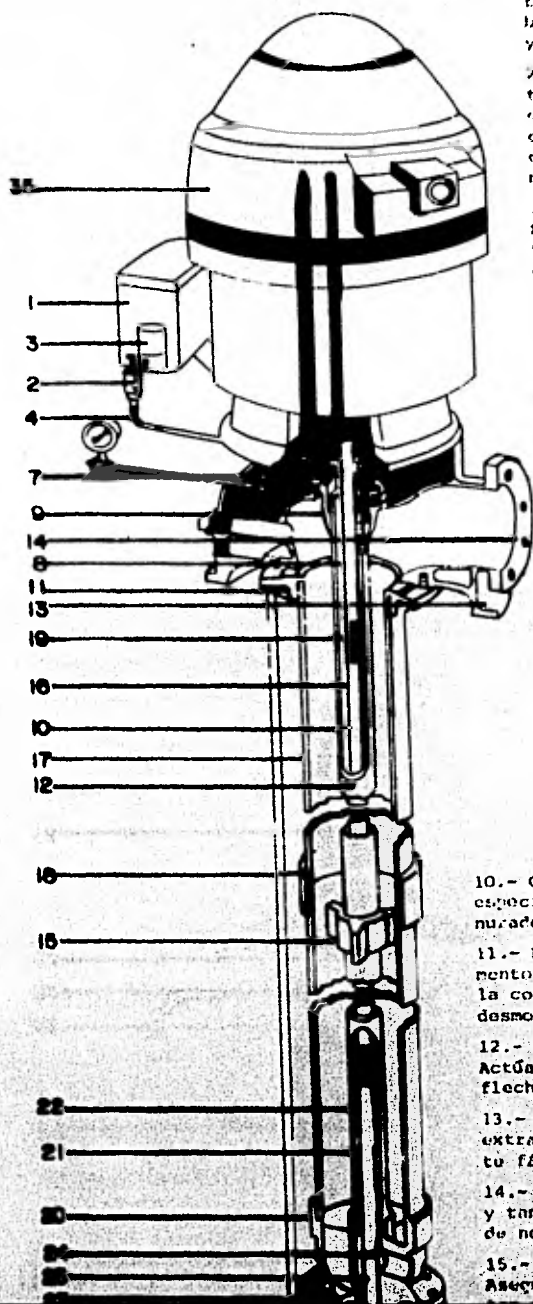
42.- BUJE DE LA CAJA DE DESCARCA.- De bronce especial.

43.- IMPULSORES.- De tipo semiabierto y de bronce especial fundido con moldes precisos, balanceados estáticamente, maquinados a precisión y terminados a mano.



# BOMBA VERTICAL TIPO TURBINA

LUBRICADA POR ACEITE CON  
IMPULSORES DE TIPO CERRADO



1.- DEPOSITO DE ACEITE.- De aluminio -- fundido con una capacidad de 3.785 litros (1 galon) para recibir el aceite lubricante. Provisto de tapa para llenado y servicio de limpieza.

2.- REGULADOR DE GOTA VISIBLE.- Consiste en una válvula de aguja regulable con mira para poder regular la alimentación del aceite lubricante de las flechas de línea y sus correspondientes chumaceras de bronce.

3.- VALVULA ELECTRICA DE TIPO SOLENOIDE. Se conecta a los cables electricos del motor con el objeto de iniciar la lubricación cuando el equipo se para.

4.- TUBERIA DE ACEITE.- De cobre para alimentar el estopero de la bomba.

5.- MANOMETRO DE LA SONDA NEUMATICA. -- Para determinar los niveles estáticos y de bombeo del agua en el pozo.

6.- TUBERIA DE LA SONDA NEUMATICA.- De PVC Industrial.

7.- TUERCA DE TENSION.- Con su respectivo lujero de bronce actúa como cojinete de la flecha superior y como cierre del estopero.

8.- FLECHA SUPERIOR.- De acero rectificado C-1045, bruñido y pulido de acuerdo a las normas ASTM. Se suministra con una tuerca de ajuste, cuña y prisioneros. -- Actúa como elemento de conexión entre las flechas de línea de la columna y el coplo del motor. Mediante la tuerca de ajuste se posicionan adecuadamente los impulsores dentro del cuerpo de tazones.

9.- PLATO DE TENSION.- De fierro fundido ASTM, clase 30. Hace parte de conexión la tubería de cubierta de las flechas de línea, asegurando una alineación perfecta de las chumaceras de línea.

10.- CHUMACERAS DE FLECHA DE LINEA.- De bronce especial colocado a intervalos de 1.52 m (5') en el eje para asegurar una lubricación efectiva.

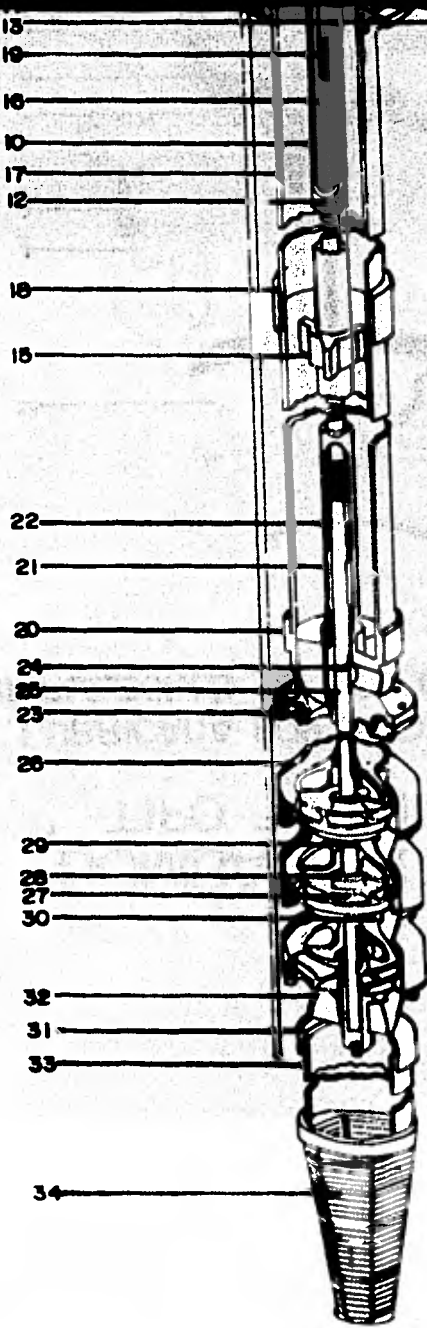
11.- BRICA SUPERIOR DE COLUMNA.- Actúa como elemento de unión entre el cabezal de descarga y la columna de la bomba. Facilita el montaje y desmontaje del equipo.

12.- TUBO CUBIERTA.- De acero extrapesado. -- Actúa como tubo protector y lubricador de las flechas de línea.

13.- CABEZAL DE DESCARGA.- De diseño moderno y extrafuerte. Es de instalación sencilla y permite fácil acceso al estopero.

14.- BRIDA DEL CABEZAL DE DESCARGA.- De diseño y tamaño estándar para las tuberías de acero de norma. Se suministra brida compañera.

15.- ESTABILIZADOR.- De elastómero reforzado. -- Asegura el control de las flechas de línea don-



13.- TUBO DE COLUMNA.- De acero especial de acuerdo a las normas ASTM. Se suministra con una tuerca de ajuste, cuña y prisioneros. Actúa como elemento de conexión entre las flechas de línea de la columna y el cople del motor. Mediante la tuerca de ajuste se posicionan adecuadamente los impulsores dentro del cuerpo de tuzones.

9.- PLATO DE TENSION.- De fierro fundido ASTM, clase 30. Mantiene en tensión la tubería de cubierta de las flechas de línea, asegurando una alineación perfecta de las chumaceras de línea.

10.- CHUMACERAS DE FLECHA DE LINEA.- De bronce especial colocado a intervalos de 1.52 m (5') ya curado para asegurar una lubricación positiva.

11.- BRIDA SUPERIOR DE COLUMNA.- Actúa como elemento de unión entre el cabezal de descarga y la columna de la bomba. Facilita el montaje y desmontaje del equipo.

12.- TUBO CUBIERTA.- De acero extrapesado. Actúa como tubo protector y lubricador de las flechas de línea.

13.- CABEZAL DE DESCARGA.- De diseño moderno y extrafuerte. Es de instalación sencilla y permite fácil acceso al estopero.

14.- BRIDA DEL CABEZAL DE DESCARGA.- De diseño y tamaños estándar para las tuberías de acero de norma. Se suministra brida compañera.

15.- ESTABILIZADOR.- De elastómero reforzado. Asegura el centrado de las flechas de línea dentro de la columna. Colocado a intervalos recomendados por los ingenieros de Sistema de Bombeo, S.A.

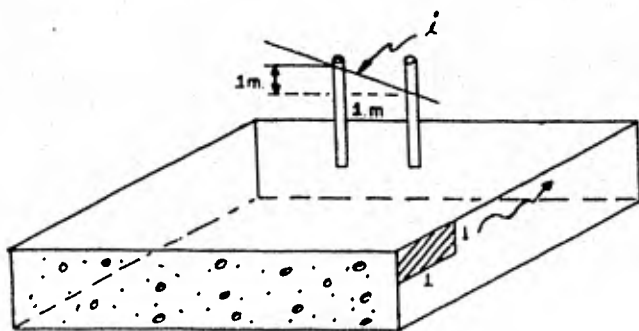
16.- FLECHA DE LINEA.- De acero rectificado C-1045, bruñido y pulido de acuerdo con las normas ASTM. Se suministra en tramos de 3.05 m (10'). Maquinada a precisión y alineada a milésimas de pulgada para asegurar larga vida al sistema de flechas y chumaceras.

17.- TUBO DE COLUMNA.- De manufactura de calidad. Se suministra con rosca especial con largos de 3.05 m (10 pies).

18.- COPLE DE TUBO DE COLUMNA.- Para juntas a tpe reforzadas para asegurar adecuada resistencia para columnas muy largas y pesadas.

19.- COPLE DE FLECHA DE LINEA.- Maquinados a precisión, de acero especial de alta resistencia, bajo normas ASTM.

20.- CAJA DE DESCARGA.- Conecta el cuerpo de tuzones con la tubería de columna.



$$v \sim i$$

$$v \sim \frac{\Delta H}{\Delta l}$$

$$v = k i$$

Donde:

$v$  = Velocidad aparente del flujo.

$i$  = gradiente hidráulico.

$k$  = Coeficiente de permeabilidad, también llamado permeabilidad efectiva y conductividad hidráulica.

III.12 a).- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL VALOR DE LA PERMEABILIDAD.

El valor del coeficiente  $k$ , depende tanto de las características del medio como de algunas características del fluido. Para considerar separadamente la influencia de ambos factores, dicho coeficiente puede expresarse:

$$k = k_i \frac{\gamma}{\mu} \quad \text{Donde:}$$

$k_i$  = La permeabilidad intrínseca o específica dependiente exclusivamente de las características del material.

$\gamma$  = Peso específico del fluido.

$\mu$  = Viscosidad dinámica del fluido.

A su vez  $k_i$  puede expresarse en función de una longitud característica, llamada "radio hidráulico" del medio:

$$k_i = c d^2$$

En que :  $d$  es el diámetro efectivo y  $c$  el llamado factor de forma, que toma en cuenta: forma y acomodo de los granos, estructura y estratificación, grado de compactación o cementación presencia de acuíferos o fisuras, etc.

### III.13.- DETERMINACION DE LA PERMEABILIDAD.

Existen varios procedimientos para determinar la permeabilidad de un material algunos de ellos consisten en la utilización de aparatos específicamente diseñados para tal fin como los permeómetros; otros en cambio permiten determinar el valor del coeficiente en cuestión mediante pruebas que persiguen otro objetivo, tales como la prueba de consolidación y la prueba horizontal de capilaridad.

Todos estos procedimientos fueron desarrollados en el campo — de la mecánica de suelos y proporcionan valores muy precisos de la permeabilidad más aún son valores puntuales. Ahora bien en — el campo de la geohidrología las condiciones del subsuelo en las formaciones geológicas presentan una mayor o menor heterogeneidad.

Por lo que un valor puntual de la permeabilidad, por preciso que sea, obtenido mediante los métodos antes señalados resulta de muy poca utilidad y esto independientemente de la gran dificultad — que existe para producir en el laboratorio las condiciones que el material tenía insitu . Por esta razón dentro de la geohidrología se han desarrollado pruebas de campo tendientes a determinar más bien un valor medio de la permeabilidad correspondiente a un cierto volúmen de material. Tal es el objetivo de las llamadas — pruebas de bombeo.

Planeadas en forma apropiada y realizadas cuidadosamente, las — pruebas revelan hechos importantes relativos al depósito de agua subterránea que no se puede establecer de ninguna otra manera.



El objetivo de la prueba, es el de suministrar datos de los -  
cuales se obtienen los factores principales para calcular el -  
comportamiento de los acuíferos. Con esto la prueba de bombeo es  
en sí una "prueba de acuífero", pues es la formación productora  
la que se está probando.

En cortos términos, una prueba de bombeo consiste en bombear  
de un pozo y registrar tanto el abatimiento de éste, como el pro  
ducido por el bombeo en otros pozos vecinos de observación. Si -  
la prueba se ha realizado adecuadamente, los datos que se obten-  
gan pueden analizarse para descubrir las características hidráu -  
licas del acuífero.

Las condiciones que deben hacerse para lograr el propósito antes  
descrito, incluyen : niveles estáticos antes de empezar el bombeo,  
descarga del pozo de bombeo, niveles dinámicos durante varios in-  
tervalos de tiempo a lo largo de todo el periodo de bombeo, las  
mediaciones de los niveles dinámicos después de cesar el bombeo, -  
son también de utilidad para el estudio de la recuperación.

### III. 14. - REQUISITOS PARA LA PRUEBA DE BOMBEO

Los preparativos de una prueba de bombeo deberán permitir que se  
realicen las siguientes regularizaciones y mediciones.

- 1.- Caudal constante de bombeo.
- 2.- Precisión en las mediciones del abatimiento, tanto en el pozo  
de bombeo como en uno o varios pozos de observación situados -  
en las cercanías de aquél.
- 3.- Registros precisos del tiempo a que tienen lugar las medicio-  
nes que se tomen conforme avanza el bombeo.
- 4.- Mediciones precisas de los niveles de recuperación en cada po-  
zo conforme avanza el tiempo después de suspendido el bombeo.
- 5.- Mantener una razón constante de bombeo en pozos vecinos si no -  
es posible interrumpir su funcionamiento durante el periodo de

la prueba.

C.V. THEIS, Explicó (1935-1938), la manera en que el tiempo, la distancia y el abatimiento que tienen lugar en un acuífero, idealizado, se relacionan matemáticamente cuando se bombea agua de un pozo a razón constante. Las mediciones que se toman durante una prueba de bombeo suministran valores que pueden introducirse en la ecuación de Theis, lo que permite el cálculo de la permeabilidad media del acuífero.

Los resultados obtenidos con lo anterior, resultan más exactos que las pruebas de permeabilidad de laboratorio realizadas en muestras de arena obtenidas de pozos exploratorios, puesto que estas no son totalmente representativas de la formación natural. La prueba de bombeo bien llevada, revela el comportamiento del acuífero en su estado natural.

Además de permitir la determinación de la permeabilidad, la información brindada por la prueba puede utilizarse para determinar el coeficiente de almacenamiento del acuífero y la interferencia que podría tener lugar entre pozos situados a varias separaciones y a razones de bombeo diferentes a la empleada en la prueba. Bajo ciertas condiciones, con los datos obtenidos, se podrá estimar el abatimiento que es de esperarse, después de un bombeo a largo plazo y conocer la existencia de barreras impermeables que limitan la extensión del acuífero y la presencia de fuentes de recarga que de otra manera no serían identificables.

### III. 15.- FLUJO INICIAL DESDE EL ACUÍFERO AL POZO.

#### REGIMEN DE EQUILIBRIO.

Cuando se bombea agua de un pozo, la cantidad que se obtiene, inicialmente proviene de lo almacenado en el acuífero en la vecindad del mismo. Conforme continúa el bombeo se va obteniendo más agua de la almacenada a distancias cada vez mayores del pozo de bombeo. Esto

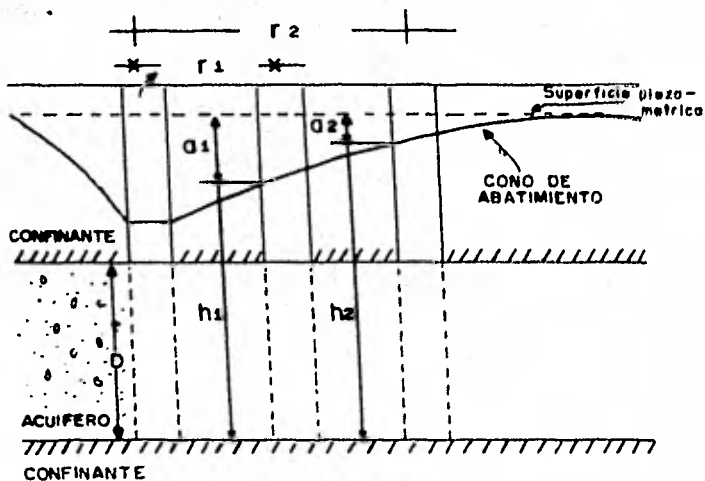
significa que la forma circular del cono de depresión se debe expandir de forma que se desplace agua hacia el pozo, desde distancias - cada vez mayores. El radio de influencia del pozo aumenta conforme - continúa expandiéndose. El abatimiento también aumenta conforme el - cono se profundiza para suministrar la carga adicional necesaria a - fin de que el agua se desglose desde una distancia mayor. Sin embar- go el cono se expande y se ahonda a una velocidad, que disminuye con el tiempo, puesto que con cada metro adicional de expansión horizon- tal se dispone de un volúmen de agua almacenada mayor que en el pre- cedente. Con lo anterior, vemos que después de algunas horas resulta - rá imposible apreciar la profundización o expansión del cono durante . intervalos cortos de tiempo de bombeo. Sin embargo el cono seguirá - creciendo hasta que el acuífero reciba una recarga igual a la extraç- ción. La recarga puede tener lugar en una o más de las formas siguien- tes:

- 1.- El cono se extiende hasta interceptar una recarga natural del --- acuífero o alguna masa superficial de agua que pueda suministrar el acuífero la cantidad necesaria para igualar la descarga.
- 2.- El cono se extiende hasta que exista la suficiente percolación - a través de las formaciones sub- o sobre- yacentes que iguale la descarga.
- 3.- El cono se extenderá hasta interceptar la suficiente recarga ver- tical, de la precipitación que caiga dentro del radio de influen- cia que iguale a la descarga.

Quando el cono se detiene su expansión debido a una o varias de las - razones anteriores, se alcanza una condición de equilibrio. ya no se observará ningún incremento de abatimiento con el transcurso del tiem- po de bombeo. En algunos pozos, el equilibrio se alcanza unas pocas - horas después de haber empezado el bombeo; en otros este nunca se al- canza aunque el período de bombeo se prolongue por mucho tiempo.

III.- 16.- FORMULAS DE REGIMEN DE EQUILIBRIO.

Acuifero Confinado:



$$Q = k i A = K \frac{dh}{dr} 2 \pi r d$$

$$\int_{r_1}^{r_2} dh = \frac{Q}{2 \pi k d} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2 \pi k d} \left[ \ln h \right]_{r_1}^{r_2}$$

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2 \pi k d} \left[ \ln r_2 - \ln r_1 \right]$$

$$h_2 - h_1 = \frac{Q}{2 \pi k d} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \leftarrow \text{FORMULA DE THIEM}$$

Análogamente en acuíferos libres, thiem, llegó a:

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

donde  $h_1$  y  $h_2$  son las elevaciones del nivel del agua a las distancias  $r_1$  y  $r_2$  del pozo de bombeo, respectivamente;  $Q$  el caudal bombeado;  $k$  la permeabilidad del acuífero y  $D$  su espesor saturado.

La expresión anterior, llamada ecuación de Thiem, permite calcular la permeabilidad cuando se conoce la posición del nivel del agua en dos pozos de observación.

$$k = \frac{Q}{2\pi D(a_1 - a_2)} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Cuando solo se dispone de un pozo de observación, la permeabilidad se deduce mediante la ecuación.

$$k = \frac{Q}{2\pi D(a_p - a_1)} \ln \frac{r_1}{r_2}$$

En donde  $r_p$  es el radio del pozo de bombeo, y  $a_1$  es el abatimiento registrado en el mismo.

La solución de Thiem se basa en las siguientes hipótesis:

- a).- Acuífero homogéneo e isotrópico en el área afectada por el bombeo.
- b).- El espesor del acuífero es constante (acuífero confinado) o el espesor saturado inicial es constante antes de iniciar el bombeo. (acuífero libre).
- c).- El pozo es totalmente penetrante.
- d).- La superficie piezométrica o freática es horizontal antes de iniciarse el bombeo.
- e).- El abatimiento en las proximidades del pozo no varía en tiempo (flujo establecido)

### III.17.- REGIMEN DE NO EQUILIBRIO.

En 1935, C.V.T. Theis desarrolló la fórmula de no equilibrio que se aplica a pozos que funcionan dentro de este régimen. Dicha fórmula fue la primera que tomó en cuenta el tiempo de bombeo en la descarga. Mediante el uso de la ecuación de Theis, se puede predecir el abatimiento a

a cualquier tiempo después de iniciado el bombeo. Los coeficientes de almacenamiento y transmisibilidad se pueden deducir mediante la fórmula, a partir de los abatimientos registrados en uno o varios pozos de observación para diferentes tiempos de bombeo en este caso la ventaja de que no es necesario esperar la estabilización del cono de abatimiento como en el caso anterior.

$$\nabla^2 h = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$$

La expresión anterior es la ecuación diferencial de flujo para un elemento cualquiera en un medio poroso.

Haciendo analogía con el calor Theis llegó a esta solución:

$$a = \frac{Q}{4\pi T} W(u) \text{----- (1)}$$

Donde. A es el abatimiento registrado a la distancia r del pozo de bombeo; Q es el caudal; T la transmisibilidad; W(u) la función pozo y S el coeficiente de almacenamiento.

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \text{----- (2)}$$

La derivación de la fórmula de Theis se basa en las siguientes suposiciones:

- El acuífero es homogéneo e isotrópico.
- El espesor saturado del acuífero es constante.
- El acuífero tiene extensión lateral infinita.
- El caudal bombeado procede del almacenamiento del acuífero.
- El pozo es totalmente penetrante.
- El acuífero libera el agua instantáneamente al abatirse la superficie piezométrica.

En base a las expresiones (1) y (2), Theis desarrolló el método gráfico numérico de solución para determinar los parámetros T y S que a continuación se describen:

- a) Trazar la curva tipo en papel con trazado doble logaritmico.
- b) Construir la gráfica abatimiento-tiempo del pozo de observación en papel idéntico al utilizado al inciso a)
- c) Superponer las graficas manteniendo los ejes paralelos y buscar la coincidencia de la curva de campo y curva tipo.
- d) Seleccionar un punto de ajuste y obtener sus coordenadas en los cuatro ejes.
- e) Substituir los valores de las coordenadas en las ecuaciones 1 y 2 , despejando los valores de T y S.

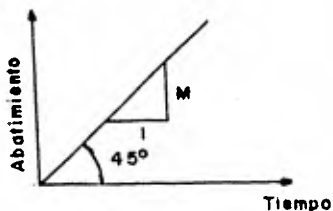
III.18. Formula modificada de no equilibrio. C.E. JACOB, llego a la conclusión de que para tiempos largos ( $t \gg 5 S r^2 / T$ ), la ecuación de Theis puede expresarse como:

$$a = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \log. \frac{2.25 It}{r^2 S}$$

Apartir de esta formula, desarrolló el método gráfico de interpretación que lleva su nombre, y que consiste en lo siguiente :

- a).- Construir la gráfica abatimiento (en escala aritmética) contra tiempo (en escala logarítmica).
- b).- Pasar una recta por los puntos que se alinean, y determinar su pendiente. Los puntos correspondientes a los primeros minutos de la prueba se aportan generalmente de la recta, debido a que corresponden a tiempos cortos ( $t < 5r^2 S/T$ ) para los cuales no es válida la fórmula de Jacob.
- c).- Si la pendiente de la recta de ajuste es "M" la transmisibilidad puede obtenerse de la expresión.

$$T = \frac{0.183 Q}{M}$$



- d).- Determinar el valor de  $t_0$ , para lo cual la prolongación de la recta de ajuste intercepta la línea de abatimiento nulo.
- e).- Calcular el coeficiente de almacenamiento mediante la expresión:

$$S = \frac{225 T t_0}{r^2}$$

Con el propósito de profundizar más, el esclarecimiento de los conceptos anteriores se presenta un problema a manera de ejemplo, con aplicaciones directas al Proyecto integral de Cd. Juárez, Chih.



EJEMPLO:

En el pozo 99 de explotación en Cd. Juárez, Chih., se espera obtener un gasto de 55 l.p.s. durante un tiempo de bombeo — aproximado de 15 minutos, el cual tiene una pendiente de ajustes de 0.72. Se pide encontrar el abatimiento que se presentaría en un pozo de observación que se encuentra a una distancia de 760 Mts. al iniciar el bombeo en el pozo de explotación.

DATOS

$r = 760$  mts.  
 $t = 15$  min.  
 $m = 0.72$   
 $a = ?$

SOLUCION

$$T = \frac{0.183Q}{m} = \frac{(0.183)(0.055)}{0.72} =$$

$$= 0.014 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$S = \frac{2.25 Tt}{r} = \frac{(2.25)(0.014)(15)(60)}{760}$$

$$= 5 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$a = \frac{2.30}{4T} + \log \frac{2.25 Tt}{r^2 S} = \frac{(2.3)(0.055)}{4(0.014)} +$$

$$+ \log \frac{(2.25)(0.014)(15)(60)}{(760)^2 (5 \times 10^{-5})} = \frac{0.13}{0.06} + \log \frac{28.35}{29} =$$

$$= 2.17 + \log 0.98 = 2.17 + (-0.01) =$$

$$= 2.17 - 0.01 = 2.16$$

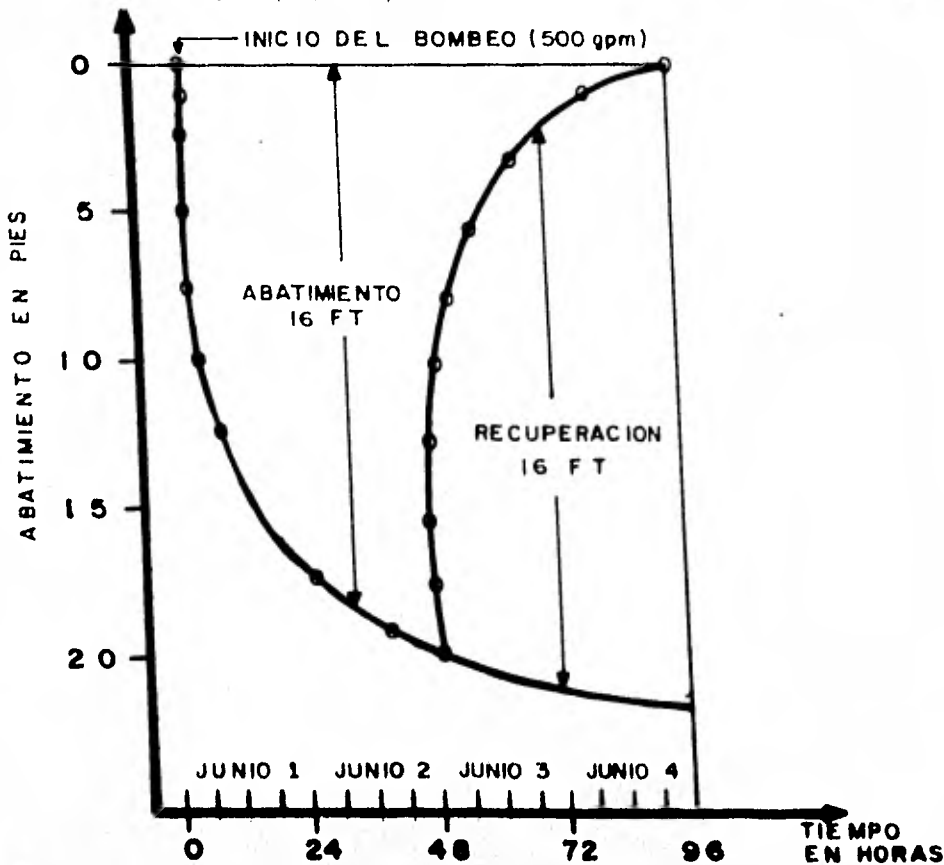
∴ el abatimiento será de 2.16 m.l.

III.19.- ETAPA DE RECUPERACION.

Las mediciones de tiempo.- Abatimiento durante el período de bombeo, y las de tiempo- recuperación, durante el período de recuperación, proporcionan dos grupos distintos de información mediante una sola prueba de bombeo. Los valores obtenidos en la etapa de recuperación, sirven para verificar los cálculos basados en la etapa de abatimiento.

Cuando se dispone al menos de un pozo de observación los datos de recuperación del nivel del agua, obtenidos de aquel revelan plenamente las características del acuífero.

La teoría hidráulica de los pozos y del comportamiento del acuífero, describe los cambios de nivel del agua, durante el período de recuperación como el resultado del efecto de un pozo imaginario de recarga. La siguiente figura muestra la curva de recuperación que ostentará un pozo después del cese de bombeo.



### III.20.- PENETRACION PARCIAL.-

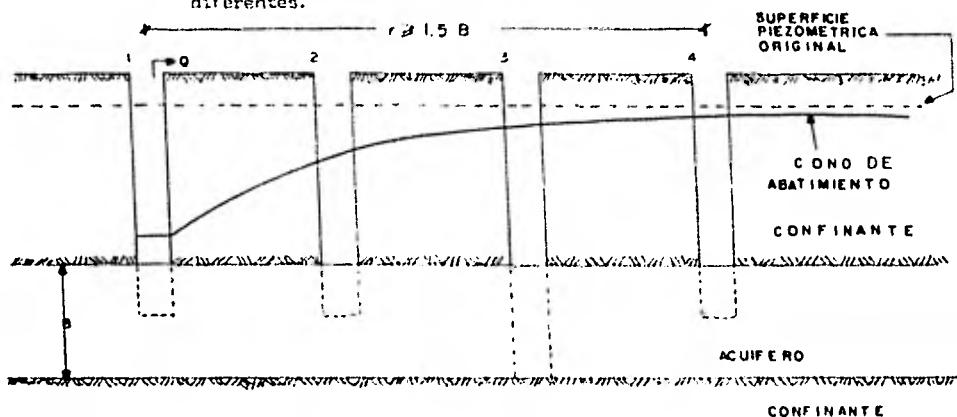
Cuando un pozo capta solo una parte del espesor saturado del acuífero, se le denomina "Parcialmente Penetrante".

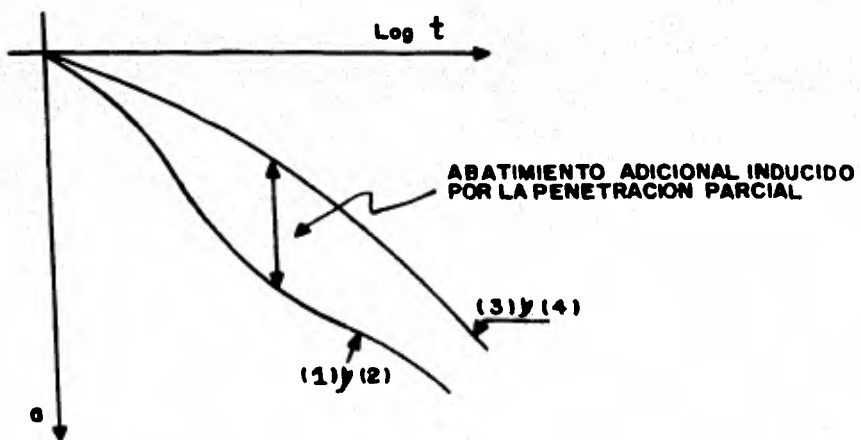
En la parte del acuífero no penetrado por el pozo de bombeo, el agua recorre trayectorias de mayor longitud para entrar al cedazo, por consiguiente, las pérdidas de carga en la formación son mayores en este sistema que en el de penetración total esto es: los abatimientos en un pozo parcialmente penetrante para un mismo caudal de extracción, aumentando el abatimiento conforme disminuye la penetración del pozo.

En las proximidades de estos pozos el flujo es tridimensional; por ello el abatimiento registrado en el pozo de bombeo y en pozos de observación próximos a él, depende entre otros factores de la longitud y posición del cedazo. Esto complica la interpretación de las pruebas de bombeo, ya que los abatimientos son función también de las características constructivas de los pozos.

Para simplificar la interpretación es conveniente ubicar los pozos de observación a una distancia 1.5 veces el espesor del acuífero.

La siguiente figura ilustra el comportamiento del nivel del agua en pozos de observación a distancias y de características constructivas diferentes.





COMPORTAMIENTO CORRESPONDIENTE A UN POZO DE BOMBEO TOTAL  
PENETRANTE .

De acuerdo con los conceptos anteriores, dadas las características que conforman el Valle de Juárez como son:

- a) Su baja precipitación (250 mm.)
- b) Los depositos no consolidados del Bolson el Hueco.
- c) La interpretación del funcionamiento hidráulico de los acuíferos en el Bolson.
- d) La sobre-explotación de los acuíferos. y
- e) La calidad del agua subterránea.

Fue necesario diseñar doce pozos de observación, localizados indistintamente dentro de la superficie que ocupa Cd. Juárez, Chih.

Para la elaboración del diseño, se tomaron como base:

- a) La litología mostrada, a cada dos metros de profundidad.
- b) El registro eléctrico de cada pozo.
- c) Recopilación de información de fuentes existentes.

En base a lo anterior el procedimiento de perforación de cada uno de los pozos de observación, se iniciará con un diámetro de  $12\frac{1}{4}$ " hasta la profundidad de 250 m., mostrando cada dos metros, profundidad, se correrá el respectivo registro eléctrico para correlacionarlo con el corte litológico y así delimitar que partes del entubado llevarían tubo tipo cadazo de  $2/16 \times 1/8$ ".

Una vez que se efectúe el registro eléctrico se detectará hasta — que profundidad proceda la ampliación a diámetro de 18" para su cementación respectiva, y control de aguas nocivas de la superficie.

Por lo que respecta al filtro de grava (arena) utilizado para este tipo de pozos, se optó por la granulométrica comprendida entre  $3/8$ "  $\times$   $1/4$ ", positiva para contrarrestar los finos de la profundidad entre 60 a 250 m. La entubación fue de un diámetro de 4" tanto para tubería ciega como ranurada, así como el contradame que en

todos los casos se usa de 12" de diámetro por  $\frac{1}{2}$ ".

Con los doce pozos de observación, de los cuales se anexa un croquis representativo, se espera obtener información como:

- a) Niveles piezométricos
- b) Abatimiento y recuperación del acuífero.
- c) Datos al realizarse pruebas de Bombeo.
- d) Variación en la calidad del Agua.

Así mismo de acuerdo con las consiguientes necesidades de demanda de agua y de la propia disponibilidad hidráulica en los acuíferos se optó por la construcción de 15 pozos de explotación los cuales se espera que sean suficientes para satisfacer la demanda de Agua Potable para la primera etapa del Proyecto integral de Cd. Juárez, Chih., ya que la segunda etapa se iniciara a partir de 1985.

Una vez terminado el pozo para su explotación se procederá a la instalación del equipo electromecánico con las características y diámetros que se requieran de acuerdo con el gasto obtenido.

A continuación presento un esquema de los dos tipos de bombas más comunes que se utilizan para la extracción del agua, siendo éstas verticales de tipo turbina lubricadas por aceite y agua con impulsores de tipo cerrados y semiabiertos; así como las principales piezas de las que están formadas.

Debido a que este trabajo está orientado básicamente a lo que respecta la obra civil de pozos profundos, no se expondrá detalladamente — lo que se refiere a las instalaciones de equipos electromecánicos — así como su funcionamiento, debido a que en lo que respecta en materia de turbo maquinaria se requiere prácticamente un estudio amplio y detallado para su buen entendimiento.

C A P I T U L O IV.

ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCION.

Las presentes especificaciones y procedimientos constructivos para la perforación de pozos comprenden también trabajos auxiliares básicos y terminación de los mismos.

IV. 1.- GENERALIDADES.

Debido a que como todo tipo de obra civil tiene un tiempo límite de iniciación, así como de su terminación de acuerdo con lo programado, a menudo se presentan problemas imprevistos que obstaculizan la iniciación de la perforación o el avance de ésta, cuando el sitio señalado para efectuar la perforación no sea accesible, el contratista deberá efectuar los trabajos necesarios con el fin de iniciar la obra en el tiempo indicado.

Es por demás importante la presencia de un profesionalista en el campo con la capacidad técnica y administrativa suficiente para poder en un momento dado, solucionar los problemas inherentes a los trabajos que se ejecuten.

IV. 2.- EQUIPO DE PERFORACION.

Para la perforación de los pozos deberá emplearse el tipo de equipo de perforación que señale la Secretaría o Dependencia encargada de la contratación de la obra.

El equipo empleado en cualquier caso deberá tener la capacidad suficiente para alcanzar una profundidad mínima equivalente a 1.5 veces la profundidad de proyecto con el diámetro indicado en el mismo, debiendo el mastil tener la capacidad de levante suficiente para colocar con seguridad los ademes que se especifiquen.

Los equipos de perforación, deberán estar provistos de un calibrador de diámetro de perforación y de los instrumentos necesarios para verificar la verticalidad y alineamiento de la perforación y ademe.

Como fluido de perforación podrá utilizarse aire con los aditivos -



adecuados, así como agua a los lodos bentoníticos de perforación, procurando que su viscosidad sea la menor posible. El empleo de cualquier tipo de material obturante deberá sujetarse a la previa autorización de la Dependencia.

IV.3.- PROGRAMA DE PERFORACION. (Ver anexo al final de este Capítulo)

Se deberá iniciar la obra en la fecha fijada y terminar ésta en un plazo no mayor a la que se especifique en la orden de trabajo. Se iniciará la perforación con diámetro máximo de 305 mm (12"), - llevandola hasta la profundidad de proyecto o la que específicamente señale la Dependencia.

Durante la perforación, deberán obtenerse muestras de los materiales atravesados, a cada dos metros de avance, deben tomarse también muestras adicionales en los cambios de formación. La muestra deberá ser fielmente representativa del tramo de perforación atravesado.

Cuando se utilicen equipos de percusión al llegar a la profundidad de la toma de la muestra, se limpiará el pozo de todos los detritus y con una cuchara de válvula plana se extraerá el producto que será representativo de la profundidad determinada.

Cuando el equipo empleado sea rotativo, de circulación directa o inversa, las muestras representativas de la formación deberán tomarse en la boca del pozo de la siguiente manera: al llegar a la profundidad programada, se circulará el tiempo necesario, para retirar los recortes de las formaciones cortadas y que al no haber sido desalojados se encuentren en suspensión, lo cual se obtendrá cuando el lodo descargado en la superficie se encuentre limpio; - en este momento se sacará la muestra la cual será entregada sin lavar a menos de que el supervisor de obra indique todo lo contrario.

Si el equipo de Perforación es del tipo neumático, con tubería -

normal o doble, las muestras se tomarán en la boca del pozo de la siguiente manera: al llegar a la profundidad deseada, se inyectará el fluido de perforación el tiempo que sea necesario para desalojar el material cortado que se encuentra en suspensión; lo que se logrará cuando el fluido descargado en la superficie aparezca exento de recorte. Como se indica en el inciso anterior, las muestras deberán entregarse sin lavar a menos de que el supervisor de obra indique lo contrario.

Las muestras obtenidas deberán guardarse en frascos de vidrio de aproximadamente 0.250 litros de volumen etiquetándose por fuera con el nombre o número de identificación del pozo, número progresivo de La Muestra y profundidad a la que corresponde, claramente escritos.

Por ningún motivo se enviarán las muestras en otro recipiente que no sea el citado quedando estrictamente prohibido el empleo de frascos de plástico o similares.

Las muestras deberán ser enviadas, tanto al departamento de fuentes de abastecimiento de la dependencia como a la residencia general dependiente de ésta, en una fecha fijada de cada mes.

Durante la perforación, el perforista o el Jefe del pozo, deberá llevar las formas para registro diario de avance.

Una vez alcanzada la profundidad de proyecto señalada, se correrá en el pozo un registro eléctrico empleándose cualquier equipo capaz de proporcionar curvas de potencial natural, resistividad normal y resistividad inversa.

El equipo empleado en cada caso, deberá tener la capacidad suficiente para alcanzar la profundidad total de la perforación exploratoria.

El contratista, deberá informar oportunamente a la Residencia de obra, la fecha y hora en que se efectuará la corrida del registro eléctrico, con objeto de que la dependencia pueda efectuar la super-

visión conducente.

Si la perforación se efectuó con equipo de percusión se extraerá con una cuchara los recortes y sedimentos que se encuentren en el pozo y con la misma se agitará este a fin de uniformizar la columna de fluido.

Si la perforación se ejecutó con equipo rotatorio de circulación directa se introducirá hasta el fondo del pozo la tubería de perforación con barrena y se circulará en forma continua hasta desalojar los recortes y uniformizar la columna de lodo.

Si la perforación se realizó con equipo neumático, se introducirá hasta el fondo del pozo, la barrena con la tubería de perforación y se inyectará el fluido, hasta desalojar la totalidad de los recortes que se encuentren dentro del pozo una vez logrado esto se procederá a correr el registro eléctrico.

El registro eléctrico deberá ser presentado en papel apropiado para registros eléctricos y en la parte superior, a manera de encabezado especificar los siguientes datos.

Secretaría o Dependencia Oficial encargada de la dirección y/o supervisión de la obra.

- Cía. perforadora.
- Nombre y número de pozo.
- Municipio
- Estado.
- Fecha de corrida del registro.
- Número de la corrida del pozo.
- Profundidad perforada.
- Tipo de máquina perforadora.
- Diámetro de la perforación.
- Fluido de la perforación.
- Nivel estático.
- Marca y modelo del equipo para registros.

- Resistividad y temperatura del lodo.
- Temperatura en el fondo de la perforación.
- Compañía que corrió el registro.
- Persona que dirigió el registro.
- Nombre y firma de aprobación del Residente General en la Entidad - o el Residente de Obra.
- La parte superior del registro eléctrico, deberá estar dividida -- en cuatro secciones que llevará los siguientes encabezados:
  - Potencial natural ( Milivolts).
  - Resistividad ( Ohms- Metros).
  - Profundidad (metros)
  - Litología.

Las escalas de la curva de potencial natural, resistividad normal y - resistividad inversa, deberán estar claramente especificadas debajo de los encabezados de las columnas. En el caso de potencial natural, los signos negativos y positivos deberán marcarse en los lados correspondientes.

Las curvas de resistividad normal e inversa deberán estar trazadas en la misma sección aunque fácilmente diferenciables; esto es entintas - de colores diferentes u otro método que se considere conveniente.

La profundidad en metros deberá ser especificada claramente en la columna correspondiente.

Todos los datos encabezados y escalas especificadas en el registro - eléctrico deberán venir escritos en el idioma español exclusivamente.

Una vez aprobado el registro eléctrico por el Residente de obra, este dispondrá de 72 horas para girar sus instrucciones al contratista, si se deshecha o se aprovecha la perforación exploratoria.

#### IV.4.- AMPLIACION, ENTUBADO Y ENGRAVADO.

Si el resultado de la exploración es considerado favorable, el Residente entregará por escrito al contratista, el diseño de construcción

del pozo, en el que se indicarán:

- a).- Diámetro definitivo.
- b).- Profundidad total.
- c).- Diámetro de las tuberías.
- d).- Longitudes y ubicaciones de las tuberías lisa de contrademe y adema, y de la tubería tipo cedazo.
- e).- Características del filtro de grava.
- f).- Cementaciones.

Con estos datos el contratista procederá a la terminación del pozo, conduciendo los trabajos bajo un control que permita garantizar la correcta calibración y verticalidad del mismo.

Una vez definido el proyecto de terminación de cada pozo en particular se procederá a ampliar la perforación, hasta la profundidad correspondiente al tramo donde quedará instalado el contrademe cementado.

Seguidamente se instalará el contrademe Liso de acero uniendo los tramos de tubería con cordón continuo de soldadura a tope, en V con abertura de raíz. Una vez terminada la colocación del contrademe, se procederá a efectuar la cementación del espacio anular — comprendido entre la perforación y tubería. En casos específicos y por escrito se podrá ordenar cementación forzada; para esto, mediante el sistema de tipo petrolero de doble tapón, el cemento deberá — introducirse a presión por el interior de la tubería de contrademe y penetrar al espacio anular a través de orificios perforados expresamente en la parte inferior de la columna del contrademe. De cualquier forma y para que la cementación se considere terminada el cemento deberá invariablemente, rebasar o aflorar, según el caso en la superficie a entera satisfacción de la Secretaría o Dependencia Oficial.

A continuación deberán suspenderse todos los trabajos en el pozo —

durante un período suficiente que permita el fraguado del cemento.

Seguidamente se reconocerá el fondo de la perforación con barrena - de 305 mm. (12") y se procederá a ampliar la perforación hasta el - diámetro del proyecto, o la profundidad que para cada caso en parti- cular señale la Residencia de Obra.

Una vez terminada la perforación se iniciará la colocación del ademe proyectado. Este reformará con tramos completos de tubería lisa y cedazo unidos con cordón continuo de soldadura a tope, en V con - abertura de raíz, y refuerzos cuando así lo solicite la Secretaría. La longitud total del ademe será tal que sobresalga un metro del te- rreno natural.

Antes de Proceder al entubado el contratista deberá informar a la - Residencia con objeto de que un representante de ésta supervise y - certifique la operación.

La tubería deberá entrar holgada en la perforación, quedando termi- nantemente prohibido, hincarla a golpes. El ademe deberá quedar cen- trado en la perforación.

En cualquier punto la verticalidad del ademe tendrá como límite má- ximo de inclinación, el ángulo formado entre el eje vertical del - ademe en la superficie y el trazo a un punto situado a cien metros de Profundidad, distante del mismo eje vertical, la distancia equi- valente a un diámetro del ademe.

Como opción podrá realizarse una prueba de verticalidad. Esta prue- ba consistirá en la calibración de toda la longitud del ademe insta- lado en el pozo, mediante el empleo de dos tramos de tubería lisa - perfectamente unidos mediante el empleo de soldadura eléctrica, de tal manera que formen un solo cuerpo. La tubería antes mencionada - se introducirá dentro del ademe del pozo, sostenida por un cable pa- ra lo cual se le soldará el extremo superior una asa de forma oval, con el objeto de evitar desplazamientos horizontales con el asa. Los

diámetros de las tuberías que formarán esta herramienta serán dos -  
pulgadas menores a los ademes calibrados.

Antes de proceder al grabado del pozo y en caso de emplearse má-  
quina rotativa, deben adelgazarse los lados de perforación mediante  
la circulación de agua a fin de evitar puentes en el filtro de gra-  
va.

Se procederá entonces a colocar el filtro de grava en el espacio --  
anular entre la perforación y el tubo de ademe, de acuerdo con las  
características que se indiquen en el proyecto.

La grava deberá estar limpia, lavada redondeada y del calibre que -  
se especifique en cada caso. Queda estrictamente prohibido el em --  
pleo de grava triturada o de la obtenida en bancos de préstamo que  
se encuentren en estado anguloso o laminar.

Para formar el filtro, la grava tiene que ser colocada mediante un  
flujo tan continuo y lento como sea posible con objeto de reducir  
al mínimo la reparación de los diferentes tamaños de la grava y ---  
evitar "puentes"

El descenso de la grava se verificará frecuentemente con una sonda  
adecuada. Durante la formación de este filtro, deberá continuarse  
con la circulación de los lados de perforación para facilitar y -  
activar el acarreo de grava cuando el equipo sea rotativo. Para el  
caso de máquina de percusión deberá pistonearse continuamente en los  
tramos grabados.

#### IV.5. - LIMPIEZA.

Terminado de grabar el pozo, se procederá a limpiar el interior -  
del mismo extrayendo todos los materiales y lodos que hayan quedado  
procedentes de la perforación.

Esta labor se ejecutará mediante circulación de agua limpia con la -  
bomba de lodos, o empleando la cuchara de perforación.

A continuación, se efectuará un tratamiento a base de dispersor de -

arcillas con una proporción de 20 l.p.s. por cada m. este tratamiento podrá auxiliarse con aplicaciones de hielo seco en cargas variables desde 50 hasta 500 Kg.

Una vez terminado el tratamiento anterior, se procederá a "pistonar" el pozo, utilizando un pistón debidamente ajustado al diámetro del ademe por medio de empaques de hule o cuero a fin de realizar una agitación enérgica. El trabajo de pistoneo podrá reemplazarse mediante circulación de agua con la bomba de lodos (formaciones arenosas muy finas).

La maniobra de agitación deberá iniciarse efectuando mediante un tiempo razonable el movimiento recíproco del pistón empezando por la parte baja de los cedazos. Esta operación se repetirá elevando de diez en diez metros el pistón, hasta alcanzar la tubería ciega superior del pozo o bien el nivel estático del agua si se encuentra a un nivel inferior al de la tubería ciega.

Periódicamente mediante cuchareo, se limpiará el pozo de los sedimentos que tenga.

Una vez terminadas las etapas señaladas, el pozo se dejará reposar un mínimo de 36 horas con objeto de que el agente dispersor de arcillas complete su acción.

Posteriormente debe lavarse de nuevo cuenta el pozo, ya sea mediante pistoneo o circulación de agua, a fin de retirar los residuos provocados por la acción del dispersor.

Para que el equipo de perforación pueda retirarse es necesario que un representante de la Dependencia ratifique la profundidad del pozo.

Finalmente debe soldarse una tapa con corchón continuo, como medida preventiva para la conservación del pozo.

#### IV. 6.- DESARROLLO Y AFORO.

El desarrollo y aforo del pozo en cuestión, deberá iniciarse dentro de un plazo máximo de 5 días, a partir de la terminación del pozo.

Para el desarrollo y aforo de los pozos mediante equipo de bombeo,-



deberán instalarse un motor y una bomba con la longitud de columna ----- que en cada caso señale la residencia, capaz de proporcionar el caudal mínimo que también será señalado por la dependencia para cada caso.

El bombeo de desarrollo se iniciará con el caudal correspondiente al mínimo de revoluciones con el que pueda trabajar el equipo de bombeo.

Se mantendrá constante en ese caudal hasta que el agua salga limpia, es decir, sin sólidos en suspensión. Inmediatamente a partir de este momento se agitará el pozo en tres ocasiones consecutivas, excepto cuando por la naturaleza del subsuelo no sea recomendable.

Por una etapa de agitación del pozo con este sistema, deberá entenderse el paro de la bomba hasta que el volumen de agua que se encuentre en la columna de succión, haya sido desalojada a través del cuerpo de tazones, e iniciar nuevamente el movimiento de la bomba hasta que brote agua por la descarga de la misma. Cuando después de agitar tres veces el pozo y el agua continúe sacando sólidos en suspensión se repetirá el ciclo inicial es decir, esperar a que salga el agua limpia y agitar periódicamente.

Cuando por el contrario el agua salga limpia después de la agitación señalada, se aumentará en 100 el número de revoluciones de la bomba, a menos que el supervisor de la dependencia juzgue conveniente cambiar la velocidad de la bomba en intervalos distintos, a partir de los cuales se repetirá el ciclo anterior, aumentando gradualmente en esta forma la velocidad del equipo de bombeo hasta llegar a la última etapa, es decir al límite máximo de revoluciones que sea capaz de proporcionar el equipo que se haya considerado o bien hasta agotar la capacidad del acuífero.

Una vez terminada la etapa de desarrollo se iniciará el aforo del pozo con los caudales que en cada caso indique la Residencia de Obras.

Antes de iniciar la prueba de aforo es necesario que el nivel de agua en el pozo, se encuentre en su posición original y empiece con el

mínimo de revoluciones con el que pueda trabajar el equipo de bombeo.

Durante esta etapa de aforo por ningún motivo se suspenderá el bombeo. En caso de que esto último llegara a suceder, se esperará la recuperación de los niveles y se iniciará nuevamente la prueba de aforo.

Las horas de bombeo durante las etapas de desarrollo y aforo de los pozos no estarán limitadas por un número determinado de horas, sino por el comportamiento del acuífero.

Deberán tomarse muestras del agua bombeada durante las etapas mínimas media y máxima de la prueba de aforo siguiendo las especificaciones marcadas a continuación:

Muestras para Análisis Físicoquímicos:

El volumen de las muestras no será menor de dos litros en caso de análisis físico-químico general, tres litros cuando se requiera de terminaciones especiales como arsénico, plomo, sílice y cianuro y 20 litros para las pruebas de clasificación blandamiento o demanda de cloro.

Para la determinación de ácido sulfhídrico, nitrógeno en todas sus formas, demandas química y bioquímica de oxígeno, será necesario solicitar instrucciones especiales de la dependencia para la toma y conservación de las muestras.

Se deberá anotar siempre el tiempo transcurrido después de iniciado el bombeo, a la toma de cada muestra, las cuales se enviarán al laboratorio en un máximo de 48 horas después de terminado el aforo.

Muestras para exámenes bacteriológicos.

Para tomar este tipo de muestras es necesario que la dependencia envíe al lugar personal especializado de laboratorio, para lo cual deberá informarse en caso de requerirse este tipo de estudios.

Durante las pruebas de desarrollo y aforo deberán tomarse cada media

hora todos los datos que marca la forma correspondiente que se anexa, la cual deberá entregarse junto con la gráfica de recuperación y abatimiento a la Dependencia o Secretaría encargada de la Dirección y Su supervisión de la Obra.

Al terminar la prueba de aforo se introducirán al pozo 200 litros de una solución al 5% de hipoclorito de calcio con el propósito de desinfectarlo.

Finalmente, debe medirse nuevamente la profundidad del pozo y colocar la tapa de protección en la forma antes señalada.

PROGRAMA PARA LA PERFORACION DE DOCE POZOS

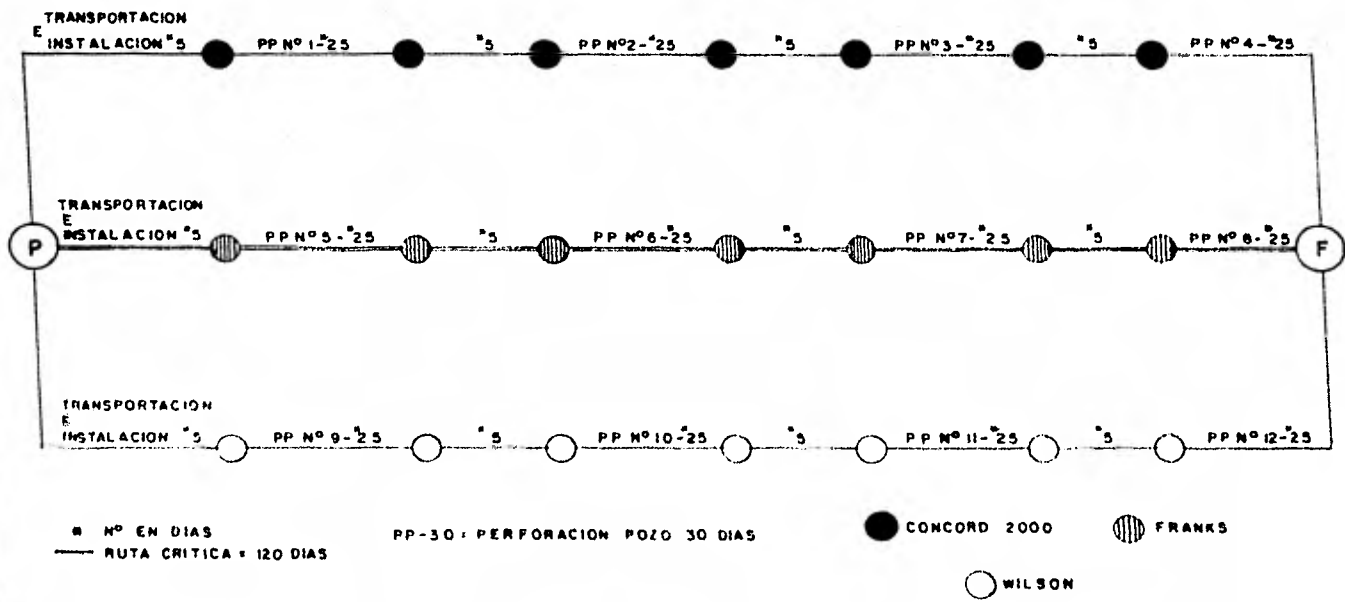
DE

OBSERVACION

PROGRAMA DE TRABAJO Y EQUIPO

OBRA PERFORACION DE 12 POZOS DE OBSERVACION

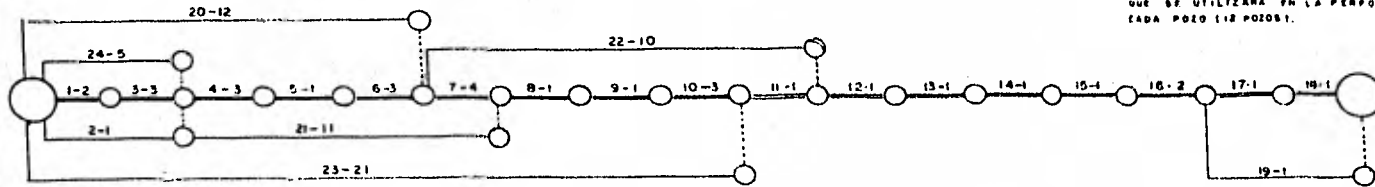
### RUTA CRITICA



- 77 -

### RUTA CRITICA

DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTO CONSTRUCCION QUE SE UTILIZARA EN LA PERFORACION DE CADA POZO (12 POZOS).

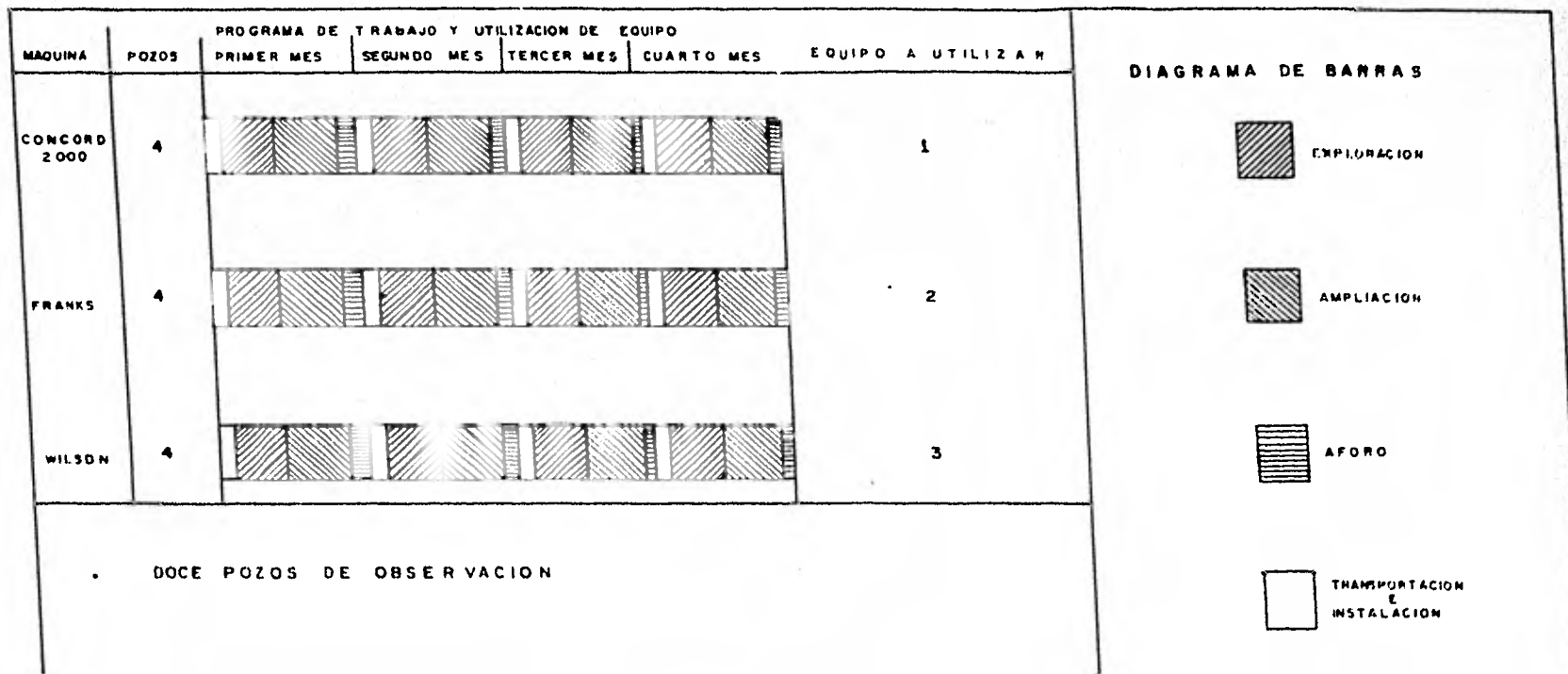


	DIAS
1 TRANSPORTACION	2
2 EXCAVACION	1
3 INSTALACION	3
4 EXPLORACION 30 cm Ø x 250 m	3
5 REGISTRO	1
6 ESPERA ORDENES T POZO	3
7 AMPLIACION (17" Ø x 9 m) 30 cm Ø x 18 m	4
8 ENTUBADO TUBO Ø 140 cm x 27'	1
9 CEMENTACION	1
10 ESPERA FRAGUADO	3
11 ENTUBADO TUBO Ø 140 cm x 14'	1
12 LAVADO	1

	DIAS
13 ENGRAVADO	1
14 PISTONEO	1
15 CUCHARDO	1
16 LAVADO	2
17 DISPERSOR	1
18 DESMANTELAMIENTO	1
19 RELLENO DE POZAS	1
20 SUMINISTRO TUBERIA 30 cm Ø x 112'	12
21 SUMINISTRO CEMENTO	11
22 SUMINISTRO GRAVA	10
23 SUMINISTRO TUBERIA Ø 14 cm Ø (14')	21
24 SUMINISTRO BENTONITA	5

———— RUTA CRITICA - 150 DIAS

70

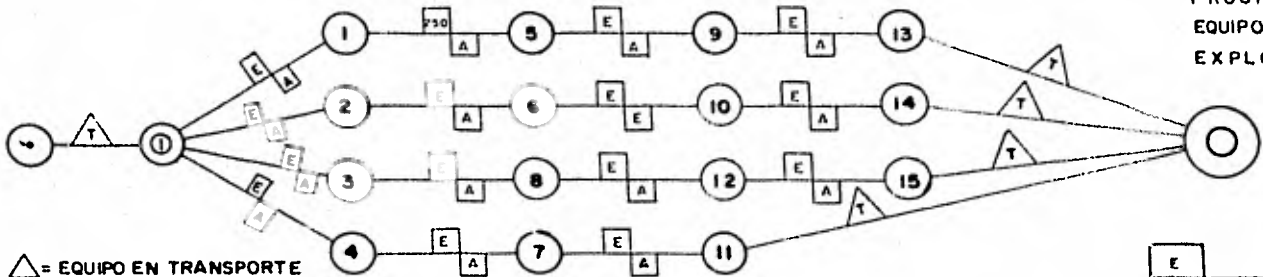


PROGRAMA PARA LA PERFORACION DE QUINCE

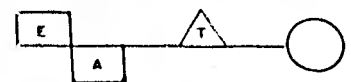
POZOS DE EXPLOTACION



PROGRAMA DE TRABAJO Y EQUIPO (15 POZOS DE EXPLOTACION)



△ = EQUIPO EN TRANSPORTE  
 E = EXPLORACION A 250.00m.  
 A = AMPLIACION A 250.00 m.  
 ① = POZO



I	2	3	4	5	6	M E S E S							8
						1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	
MAQ.	POZO	CAT.	UNI	IMPORTE	POR SEMANA AVANCES								
A	8 1	250.00	M 1	2'460,882.54	483,119.64								
B	8 2	"	"	"	483,119.64								
C	8 9	"	"	"	402,599.70								
D	9 1	"	"	"	483,119.64								
A	9 4	"	"	"	"								
B	10 5	"	"	"	"								
D	10 6	"	"	"	"								
C	10 7	"	"	"	402,599.70								
A	8 7	"	"	"	483,119.64								
B	9 7	"	"	"	"								
D	9 9	"	"	"	"								
C	10 3	"	"	"	402,599.70								
A	10 4	"	"	"	483,119.64								
B	10 8	"	"	"	"								
D	10 9	"	"	"	"								

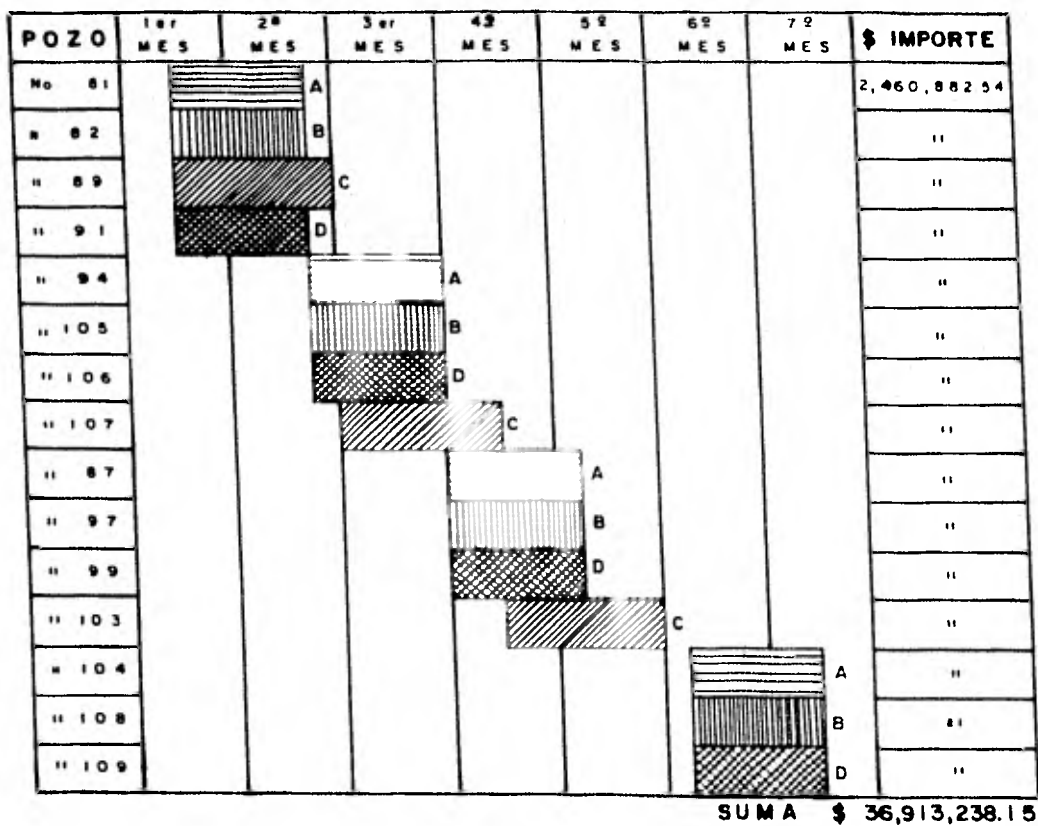
A WALKER NEER R-1  
 B 2500 GARDNER DENVER





C 1500 GARDNER DENVER  
 D SS-25 SPEED STARR

# D I A G R A M A D E B A R R A S

## PROGRAMA PERFORACION DE 15 POZOS

### DE EXPLOTACION



- (A)  MAQUINA WALKER NEER R-1
- (B)  2500 GARDNER DENVER
- (C)  1500 " "
- (D)  SS-25 SPEED STAR

CAPITULO V

PRESUPUESTO

En este capítulo dedicado a la elaboración de un presupuesto para la perforación de pozos profundos; se presenta como ejemplo el realizado para la perforación, que se lleva a cabo en Cd. — Juárez, Chih., y que de acuerdo a sus características tanto del subsuelo como de Ciudad Fronteriza se engloban dentro del mismo. Para el citado presupuesto se ha considerado desde la clasificación de las formaciones geológicas, transporte, maniobras e instalación del equipo de perforación, además, ampliaciones, colocación de tubería, cementaciones, engravado, etc; de cada una — de las fuentes por construir de acuerdo a los precios actuales del mercado, con sus naturales variantes.

Es necesario hacer mención que en el caso de los quince pozos — de explotación para el Sistema de Agua Potable de Cd. Juárez, — Chih., fue obligada la importación de grava de 3mm. de diámetro y de tubería renurada de 1mm. de espesor. Lo cual motivó un incremento mayor dentro del presupuesto de perforación, ya que — las características y cualidades de estos materiales no se en — cuentran en el País.

Así mismo se anexan tanto el presupuesto para pozos de observa — ción como el de los de explotación, debidamente desglosados para que sirvan de ejemplo del como se realiza un presupuesto de perforación de pozos profundos para una Ciudad de tamaño medio, exponiéndose por separado para 12 pozos de estudio de observa — ción y 15 pozos de estudio de explotación, se considera dicha — cantidad de pozos de observación y explotación, respectivamente debido a que está cantidad es la que contempla el Proyecto, in — tegral de Agua Potable en Cd. Juárez, Chih., los precios son actualizados a 1981.

- 84 -

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE OBSERVACION**

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.01.00	Perforación de pozos de observación en Cd. Juárez, Chih.				
1.01.0	Movimiento de equipo pesado de perforación hasta el sitio de la obra, incluyendo instalación y desmantelamiento.	12	Pozo	39,653.80	475,845.60
1.01.02	Equipo de perforación trabajando en operaciones ordenadas por la Secretaría o Dependencia encargada de la supervisión.	864	Hora	1,541.59	1,331,923.76
1.01.03	Equipo de perforación parado en espera de ordenes de la Secretaría o Dependencia encargada de la Supervisión o durante el fraqueado de cementaciones.	864	Hora	1,117.75	965,736.00
1.01.04	Perforación de pozos de 205 mm. (12") de diámetro, en material clase "I"				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	1,200	Mts.	644.00	
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	600	Mts.	923.00	541,800.00
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.05	Perforación de pozos de 305 mm. (12") de diámetro en material clase "II"				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	600	Mts.	1,780.00	1,068,000.00
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	600	Mts.	1,923.00	1,153,800.00
1.01.06	Perforación de pozos de 305 mm. (12") de diámetro en material clase "III"				

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS  
DE OBSERVACION**

- 85 -

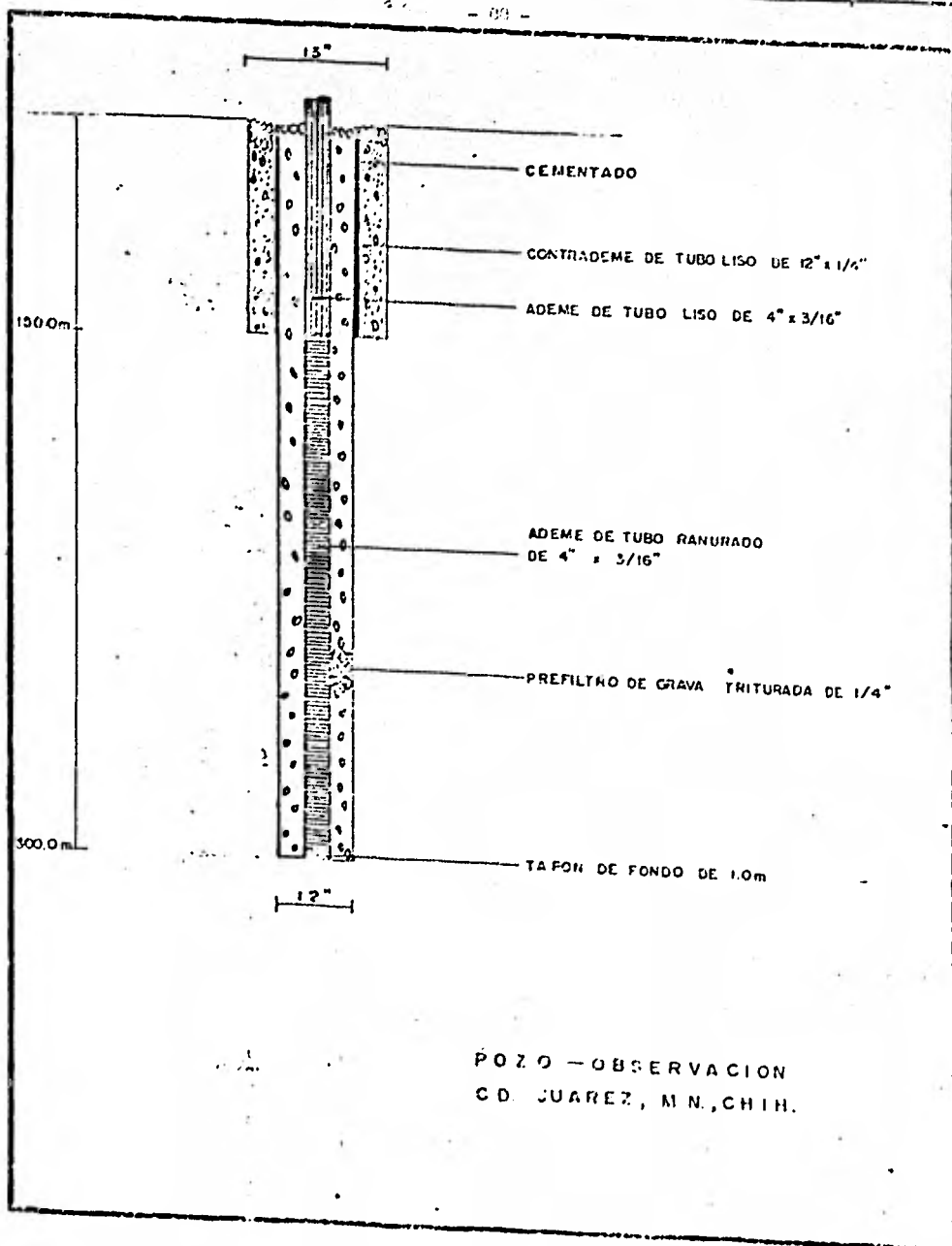
PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.01.07	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro en material clase "I"				
1.01.08	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	1,200	Mts.	151.00	177,200.00
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	500	Mts.	104.00	422,400.00
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro en material clase "II"				
1.01.09	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro en material de clase "III"				
1.01.10	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
	Suministro de tubería lisa de acero grado "B" para ademe de pozo en diferentes diámetros y con extremos biselados para soldar a tope, incluyendo el transporte hasta el sitio de la obra.				

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS**  
DE OBSERVACION

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.01.11	a).- De 305 mm. (12") de diámetro nominal, por 6.3 mm. (1/4") de espesor.	1,800	Mts.	1,834.00	3,301,200.00
	b).- De 102 mm (4") de diámetro nominal por 6.3 mm. (1/4") de espesor.	1,800	Mts.	411.00	739,800.00
1.01.11	Suministro de tubería de acero para ademe de pozo, ranurada en diferentes diámetros y con extremos biselados para soldar a tope, incluyendo su transporte hasta el sitio de la obra.				
1.01.12	a).- De 102 mm. (4") de diámetro nominal por 6.3 mm. (1/4") de espesor.	1,200	Mts.	515.00	618,000.00
	Suministro de grava seleccionada para prefiltro redondeada, lavada y cribada de 6.3 mm. (1/4") de diámetro, incluyendo acarreo hasta el sitio de la obra y colocación entre tuberías, o entre tuberías y perforaciones de diferentes diámetros.				
1.01.13	a).- Entre tubería de 305 mm. (12") de diámetro nominal y tubería de 102 mm. (4") de diámetro nominal.	3,000	Mts.	71.10	213,300.00
	b).- Entre tubería de 102 mm. (4") de diámetro nominal, y perforación de 203 mm. (8") de diámetro.	0	Mts.		
1.01.13	Colocación de tubería de ademe soldando las juntas con doble cordón al arco, eléctrico, en diferentes diámetros.				
1.01.14	a).- Tubería de 305 mm. (12") de diámetro nominal.	1,800	Mts.	135.30	245,340.00
	b).- Tubería de 102 mm. (4") de diámetro nominal.	3,000	Mts.	50.75	152,250.00
1.01.14	Suministro y aplicación de 0.7 litros de dispersor de arcilla por metro de la zona de captación, incluyendo tiempo de maquinaria operando para distribuirlo uniformemente.	1,200	Mts.	112.00	134,400.00

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE OBSERVACION** - 87 -

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
10.01.15	Limpieza de pozo mediante circulación de agua limpia, incluyendo 48 horas de máquina operando.	12	Pozo	73,926.32	887,595.04
1.01.16	Registro eléctrico con curvas de potencial natural y resistividad normal e inversa.				
	a).- Cargo fijo a 100 m. de profundidad.	12	Pozo	10,200.00	122,400.00
	b).- Metro adicional a los primeros 100 m.	1,800	Mts.	102.00	183,600.00
1.01.17	Excavación y relleno de fosas para lodos de 3 x 4 x 2 m.	24	Fosa	2,500.00	60,000.00
1.01.18	Tapón de fondo de concreto precolado de un metro.	12	Pozo	725.00	8,700.00
1.01.19	Cementación del espacio anular por el sistema petrolero de doble tapón y desplazando el cemento del interior al exterior de la tubería, utilizando un equipo HALLIBURTON o similar, incluyendo costo de operación del equipo y cemento.				
	a).- Entre tubería de 305 mm. (12") de diámetro nominal y perforación de 444 mm. (17 1/2") de diámetro.	1,800	Mts.	534.63	962,334.00
1.01.20	Lodo de perforación preparado con agua dulce y bentonita sin aditivos químicos especiales de 36 segundos de viscosidad en prueba de viscosímetro MARSH-FUNNEL A. P. I.	1,050	M3.	304.62	415,400.40
	<b>TOTAL DE POZOS DE OBSERVACION.</b>				<b>14,821,495.00</b>





CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS  
DE EXPLOTACION

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.01.00	Perforación de pozos de estudio explotación en Cd. Juárez, Chih.				
1.01.01	Movimiento de equipo pesado de perforación hasta el sitio de la obra, incluyendo instalación y desmantelamiento.	15	Trazo	39, 53.00	592.95.00
1.01.02	Equipo de perforación trabajando en operaciones ordenadas por la Secretaría o Dependencia encargada de la supervisión.	1,000	Hora	1,241.80	1,241,800.00
1.01.03	Equipo de perforación parado en espera de ordenes de la Secretaría o Dependencia encargada de la supervisión, o durante el frugado de cementaciones.	1,000	Hora	1,112.00	1,112,000.00
1.01.04	Perforación de pozos de 305 mm. (12") de diámetro en material - clase "I"				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	1,500	Mts.	644.00	966,000.00
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	750	Mts.	903.00	677,250.00
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.		Mts.		
1.01.05	Perforación de pozos de 305 mm. (12") de diámetro en material clase II:				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.		Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	700	Mts.	1,960.00	1,372,000.00
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	250	Mts.	1,920.00	480,000.00
1.01.06	Perforación de pozos de 305 mm. (12") de diámetro en material clase "III".				

CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE EXPLOTACION

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
1.01.07	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 Mts. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.07	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro en material clase I.				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	1,500	Mts.	681.00	1,021,500.00
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	750	Mts.	704.00	528,000.00
1.01.08	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	0	Mts.		
	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro, en material clase II.				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.09	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 m. de profundidad.	750	Mts.	725.00	543,750.00
	Ampliación de pozos de 305 mm. a 444 mm. (12" a 17 1/2") de diámetro, en material clase III.				
1.01.10	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
	c).- Entre 200 y 300 M. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.10	Ampliación de agujero de 444 mm a 762 mm. (17 1/2" a 30") de diámetro, en material clase I.				

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE EXPLOTACION**

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	1,500	Mts.	809.00	1'213,500.00
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	750	Mts.	1,387.00	1'040,250.00
1.01.11	Ampliación de agujero de 424 mm. a 762 mm. ( 17 1/2" a 30" ) de diámetro, en material clase II.				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.12	Ampliación de agujero de 444 mm. a 762 mm. ( 17 1/2" a 30" ) de diámetro, en material clase III.				
	a).- Entre 0 y 100 m. de profundidad.	0	Mts.		
	b).- Entre 100 y 200 m. de profundidad.	0	Mts.		
1.01.13	Suministro de tubería lisa de acero grado "B" para adome de pozo, en diferentes diámetros y con extremos biselados para soldar a tope, incluyendo su transporte hasta el sitio de la obra.				
	a).- De 559 mm. (22") de diámetro nominal, por 6.3 mm. (1/4") de espesor.	2,250	Mts.	3,423.00	7'701,750.00
	b).- De 406 mm. (16") de diámetro nominal, por 6.3 mm. (1/4") de espesor.	2,250	Mts.	2,403.00	5'406,750.00
1.01.14	Suministro de tubería de acero de bajo carbono 10-15 de ranura continua marca Johnson, con alambre de calibre 4.01 (0.158") y varillas de 4.49 (0.177") soldadas en sus intersecciones, con un mínimo de 4 varillas, y un área mínima de abertura del 22% para ranura 1.06 mm. (0.042") y 11% para ranura 0.58 mm. (0.23") con una uniformidad de abertura de 15% en diferentes diámetros				

- 92 -  
**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE EXPLOTACION**

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
	incluyendo su transporte hasta el sitio de la obra.				
	a).- De 254 mm. (10") de diámetro nominal, por 5.3 mm. (1/2") de espesor.	1,500	Mts.	1.810.00	1.715,000.00
1.01.15	Suministro de grava seleccionada para prefiltro, redondeada, lavada y cribada de 1.5 a 3. cm. de diámetro, incluyendo acarreo hasta el sitio de la obra y colocación entre tuberías o entre tuberías y perforaciones, de diferentes diámetros.				
	a).- Entre tubería de 559 mm. - (22") de diámetro nominal y tubería de 400 mm. (15") de diámetro nominal.	2,250	Mts.	127.90	287,955.00
	b).- Entre tubería de 254 mm. - (10") de diámetro nominal y perforación de 444 mm. (17 1/2") de diámetro.	1,500	Mts.	125.71	188,415.00
1.01.16	Suministro de grava seleccionada para prefiltro, redondeada, lavada y cribada de 3.0 mm. a 7.0 mm. de diámetro, incluyendo acarreo hasta el sitio de la obra y colocación entre tuberías, o entre tuberías y perforaciones de diferentes diámetros.				
	a).- Entre tubería de 559 mm. - (22") de diámetro nominal y tubería de 400 mm. (15") de diámetro nominal.	2,250	Mts.	127.90	287,955.00
	b).- Entre tubería de 254 mm. - (10") de diámetro nominal y perforación de 444 mm. - (17 1/2") de diámetro.	1,500	Mts.	125.71	188,415.00
1.01.17	Colocación de tubería de ademe, soldando las juntas con doble surtidor al arco eléctrico, en diferentes diámetros.				
	a).- Tubería de 559 mm. (22") de diámetro nominal.	2,250	Mts.	250.00	564,412.50

- 93 -  
CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE EXPLOTACION

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
	b).-- Tubería de 406 mm. (16") de diámetro nominal.	2,250	Mts.	182.75	411,075.00
	c).-- Tubería de 254 mm. (10") de diámetro nominal.	1,500	Mts.	121.80	182,700.00
1.01.18	Suministro y aplicación de 0.7 litros de dispersor de arcilla por metro de la zona de captación, incluyendo tiempo de máquina. Operando para distribuirlo uniformemente.	1,500	Mts.	112.00	168,000.00
1.01.19	Limpieza de pozo mediante circulación de agua limpia, incluyendo 48 horas de máquina operando.	15	Pozo	73,995.32	1,109,944.80
1.01.20	Registro eléctrico con curvas de potencial natural y resistividad normal e inversa.				
	a).-- Cargo fijo a 100 m. de profundidad.	12	Pozo	10,200.00	133,000.00
	b).-- Metro adicional a los primeros 100 m.	2,250	Mts.	102.00	229,500.00
1.01.21	Excavación y relleno de fosas para lodos, de 3 x 4 x 2 m.	30	Fosa	2,500.00	75,000.00
1.01.22	Tapón de fondo de concreto precolado, de un metro.	15	Pozo	725.00	10,875.00
1.01.23	Cementación del espacio anular por el sistema petrolero de doble tapón y desplazando en cemento del interior al exterior de la tubería, utilizando un equipo HALLIBURTO o similar, incluyendo el costo de operación del equipo y cemento dosificado en planta.				
	a).-- Entra tubería de 559 mm. (22") de diámetro nominal y perforación de 72 mm (30") de diámetro.	2,250	Mts.	1,195.07	2,688,907.50

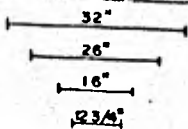
- 94 -

**CATALOGO DE PRECIOS UNITARIOS PARA LA CONSTRUCCION DE POZOS DE EXPLOTACION**

PARTIDA	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	IMPORTE
01.01.24	Lodo de perforación, preparado con agua dulce y bentonita, sin aditivos químicos especiales de 30 segundos de viscosidad en prueba de viscosímetro WASH - FUNNEL A.P.I.	1,976	M3.	364.33	750,026.00
1.01.25	Desarrollo y aforo con equipo de bombeo capaz de proporcionar 120 l.p.s. con una longitud de columna de 150 m. incluyendo traslado del equipo, instalación y desmantelamiento, 72 hrs. de bombeo, registro de campo y toma de muestras para análisis.	15	Pozo	123,254.39	1,848,965.15
1.01.26	Hora de bombeo adicional durante el desarrollo y aforo	300	Hora	1,139.43	410,194.80
TOTAL DE POZOS DE EXPLOTACION:					36,913,238.15

- 95 -

**POZO - EXPLOTACION**  
**CD. JUAREZ, M. N. CHIH.**



Cementación hasta 80.57

Tubo liso para contrademe de 26" x 5/16"  
 (660mm. x 7.94mm.)

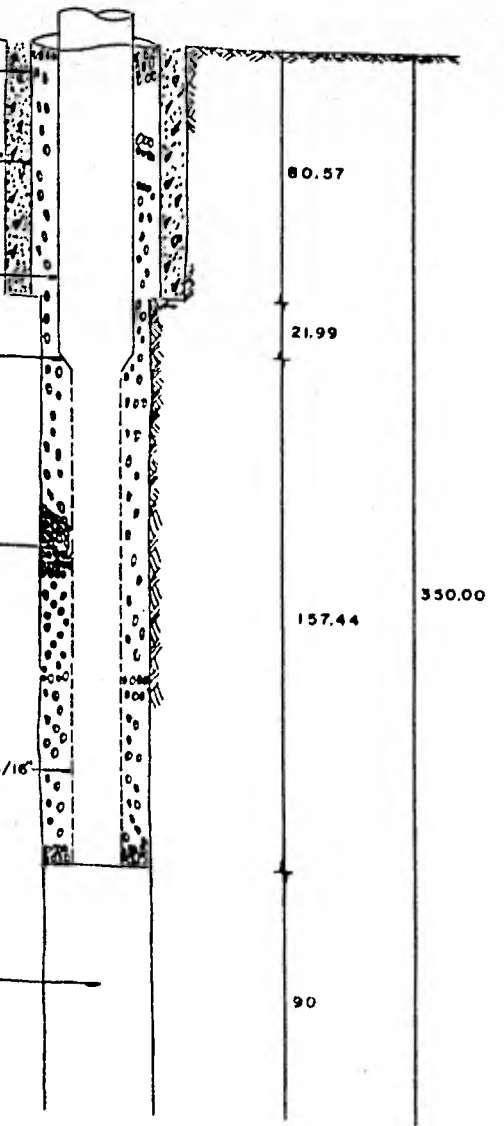
Tubo liso para ademe de 16" x 5/16"  
 (406mm. x 7.94mm.)

Campana reducción de 16" a 2 3/4"  
 (406mm. a 324mm.)

Filtro de grava redondeada y lavada  
 tamaño de 1/8" a 1/4"

Tubo cedazo tipo canastillo de 2 3/4" x 5/16"  
 (324mm. x 7.94mm.)

Repleno



B I B L I O G R A F I A

- 1.- " PROSPECCION DE AGUAS SUBTERRANEAS "  
CASTAGNY.
- 2.- " HIDROLOGIA DE AGUAS SUBTERRANEAS "  
D.K. TODD.
- 3.- " HIDROLOGIA "  
SN. DAVIS R.D.E. WIEST.
- 4.- " HIDROLOGIA PARA INGENIEROS "  
LINSLEY, KOHLZR, PAULUS.
- 5.- " ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCION DE AGUAS RESIDUALES (I) "  
FAIR Y GEYER
- 6.- " CAPTACION DE AGUAS SUBTERRANEAS "  
ALBERTO BENITEZ.
- 7.- " HIDROLOGIA SUBTERRANEA "  
CUSTÓDIO Y LLAMAS.
- 8.- " MANUAL DE LOS POZOS PEQUEÑOS "  
ULRIC P., GIBSON, REXFORD, D. SINGER.