



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## Diseño y Construcción de un Pozo Profundo para Abastecimiento de Agua Potable en la Ciudad de México

### TESIS

Que para Obtener el Título de  
**Ingeniero Civil**

Presentan

**Rafael Dorantes Ramírez**  
**Noé Martínez Martínez**  
**Carlos Bello Adame**  
**Rafael Medina Perea**

Director de Tesis

**Ing. Rafael Aburto Valdés**



Ciudad Universitaria

2004

## **AGRADECIMIENTOS**

*A la memoria de padres Luis de Gonzaga † y Flora † por su ejemplo de fortaleza en todos los momentos y cuyo recuerdo e inspiración hicieron posible este trabajo.*

*A mi esposa Patricia por sus acertados consejos y por brindarme apoyo y orientación para la realización de este proyecto.*

*A mis hijos Adrián, Patricia y Rafael que me animaron siempre y por todo su amor que son un regalo de Dios a mi vida.*

*A mis hermanos Rogelio, María de Lourdes, Martha Amelia, Rosa María, José Luis, Ernesto, Flora Irma y Sergio por todo su apoyo, educación y paciencia,*

*A la Facultad de Ingeniería (UNAM), por apoyar mi educación y crecimiento profesional, a mis maestros, a mis amigos y a todos aquellos que de alguna forma me impulsaron a finalizar esta tesis.*

*Y este logro es gracias a ustedes y por ustedes.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres Noé y Daría por darme su apoyo y estar siempre detrás de mí cuando lo he necesitado en todo lo que he hecho en mi vida.*

*A mi esposa Norma Leticia por apoyarme e impulsarme a terminar lo que había empezado, por lo que me motivo a hacer este trabajo y seguir hacia delante.*

*A mis hermanos Rosa María, Juan Carlos, María Magdalena, Esteban, Laura †, Rafael, Javier y Víctor Manuel que siempre están conmigo, impulsándome a cumplir siempre mis metas.*

*A todos mis maestros que siempre me guiaron con el ejemplo.*

*A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México por darme la oportunidad de pasar por sus aulas y en especial a mi Facultad de Ingeniería.*

*A mi maestro Miguel Ángel Montaña V. por todos sus consejos que me han ayudado a superarme.*

*Y a todos los que de alguna forma, que con sus consejos me motivaron a finalizar mi carrera.*

# Diseño y Construcción De un Pozo Profundo para Abastecimiento de Agua Potable en la Ciudad de México

Por: Rafael Dorantes Ramírez  
Rafael Medina Perea  
Carlos Bello Adame  
Noé Martínez Martínez

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN POZO PROFUNDO PARA ABASTECIMIENTO  
DE AGUA POTABLE EN LA CIUDAD DE MÉXICO

INDICE

	INTRODUCCIÓN	5
	ANTECEDENTES	12
I	GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
1	Calidad del agua subterránea en el área de estudio	18
2	El agua subterránea en la ciudad de México	19
3	El agua subterránea en el ciclo hidrológico	22
4	Características hidráulicas de la rocas	24
5	Principales acuíferos en México	30
A	Acuíferos aluviales	31
B	acuíferos sedimentarios	31
C	Acuíferos en rocas ígneas y sedimentarias	32
II	ELABORACIÓN DEL DICTAMEN TÉCNICO DEL POZO EN ESTUDIO	45
1	Ubicación y dimensiones del predio	45
2	Problemática del aprovechamiento hidráulico	47
3	Características geohidrológicas	47
A	Características litológicas generales	47

4	Comportamiento de los niveles piezométricos	48
5	Grado de exploración del área	49
6	Estudio de la calidad del área	49
7	Parámetros hidráulicos del pozo	49
III	ANTEPROYECTO CONSTRUCTIVO PROPUESTO DEL POZO	51
1	Sitio propuesto para la nueva perforación	51
2	Corte litológico propuesto del pozo	51
3	Diseño del pozo	53
4	Equipo de perforación a utilizar	55
5	Perforación exploratoria y sus ampliaciones	55
6	Verticalidad del pozo	55
7	Registro de televisión	56
IV	EQUIPOS DE PERFORACIÓN DE Y FUNCIONES DE LOS LODOS	57
1	Equipos de sistema de percusión	57
2	Equipos de sistema rotatorio	60
3	Funciones de los fluido de perforación en los equipos rotatorios	68
4	Propiedades de los fluido de perforación	73
5	Problemas que se presentan durante la perforación	73
V	ETAPA EXPLORATORIA DE POZO EN ESTUDIO	75
1	Perforación	76

2	Descripción detallada del proceso de construcción del pozo	76
3	Perforación exploratoria	78
4	Clasificación de muestras	79
5	Análisis granulométrico	80
6	Registro eléctrico	80
VI	ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEFINITIVO DEL POZO	83
1	Factores de diseño	83
2	profundidad del pozo	84
3	Diámetro de la tubería de ademe	84
4	Diámetro de la cámara de bombeo	85
5	Espesor del ademe	86
6	Sección de admisión	89
	A Aperturas de la rejilla de la ranura	
	B Tipos de rejilla	
7	Diseño del filtro de grava	91
8	diseño definitivo del pozo en estudio	92
VII	COSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DEL POZO	94
1	Terminación	94
2	Ademado	95

3	Colocación del tapón de fondo	97
4	Engravado	97
5	Lavado preliminar del pozo	98
6	Prueba o registro de verticalidad	99
	A Datos obtenidos del registro de verticalidad	
7	Aplicación del dispersor de arcillas	108
8	Pruebas de desarrollo y aforo del pozo	110
9	Curva de aforo para poder determinar el punto de explotación óptimo	112
10	Registro del video en sitio	115
VIII	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	117
1	Perforación	117
2	Obra civil	127
3	Alta y baja tensión	128
4	Equipamiento	131
IX	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	133
	BIBLIOGRAFÍA	142

## **INTRODUCCIÓN**

El agua ha sido el elemento básico durante el desarrollo de las sociedades humanas, la han utilizado a lo largo de la historia como satisfactor de sus necesidades básicas, en el desarrollo de la agricultura, industrial, de servicios y para preservar el medio ambiente en que habita.

La cantidad de agua que hay en el planeta es la misma año con año, mientras que el crecimiento demográfico de la población aumenta a un ritmo acelerado por lo tanto el hombre tiene que afrontar problemas de abastecimiento de agua cada día más difíciles.

Nuestro país, enfrenta problemas de abastecimiento hidráulico, que requieren de mayores esfuerzos técnicos, humanos y administrativos para su solución, tal es el caso de la Ciudad de México.

La Ciudad de México es objeto de especial atención, porque en ella se encuentra el máximo crecimiento demográfico, así como la máxima actividad económica y social del país, por lo que el suministro de agua potable constituye uno de los problemas más graves y urgentes que enfrenta.

En 1965 México contaba con una población de 42 millones de habitantes y la disponibilidad de agua per cápita era de 11,300 m<sup>3</sup>, había un mínimo grado de contaminación y casi nula sobreexplotación de los mantos acuíferos. El agua se consideraba un bien social y el gobierno federal era responsable absoluto de la administración y prestación de los servicios para todos los usos del recurso. La participación de la sociedad era prácticamente inexistente en el proceso de toma de decisiones y en su implementación.

Hoy tenemos una población rondando los 100 millones de habitantes y una disponibilidad de agua del orden de 4,900 m<sup>3</sup> por habitante por año, 50 % menos que en 1965, volumen que nos ubica a nivel mundial como país con baja disponibilidad media. Esta disminución se debe principalmente al crecimiento demográfico y a un manejo inadecuado del agua en sus diversos usos, lo que ha propiciado un desequilibrio hidrológico y el que conlleva en los ecosistemas.

La situación es más aguda por la desigual distribución del recurso, algunas regiones del país, como el Golfo Sur, registran hasta 24,000 m<sup>3</sup> anuales per cápita, mientras que en la cuenca Lerma-Santiago, por ejemplo, se estiman 1,200 m<sup>3</sup> y en el Valle de México escasos 120 m<sup>3</sup>. Con disponibilidades menores a 12,000 m<sup>3</sup> se tienen muy serias dificultades para el desarrollo sostenido de un país.

En México, la presión sobre el recurso es creciente y el panorama es preocupante para futuras generaciones. A nivel nacional la eficiencia promedio en el manejo del agua es baja, el saneamiento está relegado a un segundo término, las inundaciones y la sequía son recurrentes, la profesionalización del sector es discontinua, la cultura del agua es incipiente, al igual que la participación de la sociedad y de la iniciativa privada.

La competencia por el agua se intensifica. Las ciudades recurren a fuentes de abastecimiento cada vez más lejanas y en el campo el volumen para riego disminuye, con los problemas económicos y sociales inherentes.

Hoy hablamos del agua como un bien económico y escaso; se trabaja en la regulación y administración de su aprovechamiento, y se promueve la participación corresponsable entre gobierno y usuarios.

La cobertura de agua potable en el país a mantenido un paso creciente, aunque no a una tasa constante. De los 97.4 millones de mexicanos que se estimaron para el

2000, el 88.0 % de los habitantes contaron con los servicios de agua potable. En las poblaciones mayores a 2,500 habitantes, zonas urbanas, la cobertura fue del 95.2 % y en poblaciones menores de 2,500 habitantes, zonas rurales, fue de 68.0 %. En las Tablas 1, 2 y 3 se ilustra con más detalle esta información

**Tabla 1. Cobertura del Servicio de Agua Potable a Nivel Nacional**

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	83.50	69.40	18.60	1.80	77.70
1991	85.10	67.20	17.90	2.20	79.00
1992	86.70	69.70	17.00	2.50	80.40
1993	88.40	71.90	16.50	2.20	81.30
1994	90.00	74.00	16.00	2.10	82.20
1995	91.20	76.70	14.40	2.70	84.20
1996	92.70	78.70	13.90	2.10	85.00
1997	94.30	80.70	13.50	1.90	85.70
1998	95.80	82.80	13.00	1.90	86.40
1999	97.30	85.00	12.30	2.20	87.60
2000	97.40	83.80	13.60	1.20	88.00

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.  
Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

En el país, la red de alcantarillado no es suficiente para captar la mayoría de las aguas residuales producidas, lo que implica que exista un gran número de descargas sin control. Para atender esta problemática es necesario construir redes, colectores y emisores.

Para el servicio de alcantarillado, para el año 2000, el 76.0 % de los habitantes del país contaron con el servicio de alcantarillado. En las zonas urbanas la cobertura por este servicio fue de 90.0 % y en las zonas rurales, fue de 37.0 %. En las Tablas 4, 5 y 6 se muestra dicha información.

Tabla 2. Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Urbanas

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	59.8	52.9	6.9	1.4	88.5
1991	61.1	54.5	6.6	1.6	89.2
1992	62.4	56.3	6.1	1.8	90.2
1993	63.7	57.9	5.8	1.6	90.9
1994	65.1	59.4	5.7	1.5	91.2
1995	67.0	62.0	5.0	2.6	92.6
1996	68.2	63.5	4.6	1.5	93.2
1997	69.3	64.9	4.3	1.4	93.7
1998	70.5	66.5	4.0	1.4	94.3
1999	71.6	68.1	3.5	1.60	95.1
2000	72.7	67.3	5.4	0.8	95.2

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.

Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Tabla 3. Cobertura del Servicio de Agua Potable en Zonas Rurales

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	23.7	12.1	11.6	0.4	51.1
1991	24.0	12.7	11.3	0.6	52.9
1992	24.3	13.4	10.9	0.7	55.1
1993	24.7	14.0	10.7	0.6	56.7
1994	24.9	14.6	10.3	0.6	58.6
1995	24.2	14.7	9.4	0.1	61.0
1996	24.6	15.3	9.3	0.5	62.2
1997	25.0	15.8	9.2	0.5	63.2
1998	25.3	16.3	9.0	0.5	64.4
1999	25.7	17.0	8.7	0.6	65.7
2000	24.7	16.5	8.2	0.5	68.0

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.

Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

Tabla 4. Cobertura de los Servicio de Alcantarillado a Nivel Nacional

Año	Población Total	Habitantes (Millones)		Beneficiados	Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio		
1990	83.5	51.2	32.3	1.7	61.3
1991	85.1	53.1	32.0	1.9	62.4
1992	86.7	55.3	31.4	2.2	63.8
1993	88.4	57.1	31.3	1.9	64.6
1994	90.0	59.1	30.9	1.9	65.7
1995	91.2	65.7	25.5	6.6	72.1
1996	92.7	67.2	25.6	1.5	72.4
1997	94.3	68.3	26.0	1.1	72.4
1998	95.8	69.4	26.4	1.1	72.4
1999	97.3	71.1	26.2	1.7	73.1
2000	97.4	72.7	24.7	1.6	76.0

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.  
Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

En la actualidad los volúmenes de extracción de agua subterránea, han alcanzado ya proporciones considerables por la sobreexplotación de sus acuíferos y la consiguiente ruptura de la estructura del subsuelo, causando hundimientos considerables, agrietamientos y fallas que desarticulan todas las obras y servicios urbanos, afectando la estabilidad de edificaciones.

Con el aumento en la explotación de los acuíferos y al no haber recarga de los mismos, se propicia el descenso de los niveles estáticos a un ritmo acelerado, esto es suficiente para dejar fuera de operación a varios pozos dentro y fuera de la Ciudad de México.

**Tabla 5. Cobertura del Servicio de Alcantarillado en Zonas Urbanas**

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	59.8	46.5	13.3	1.2	77.8
1991	61.1	47.9	13.2	1.4	78.4
1992	62.4	49.5	12.9	1.6	79.3
1993	63.7	50.8	12.9	1.3	79.7
1994	65.1	52.2	12.9	1.4	80.2
1995	67.0	58.6	8.4	6.4	87.4
1996	68.2	59.7	8.5	1.1	87.5
1997	69.3	60.5	8.8	0.8	87.3
1998	70.5	61.3	9.2	0.8	87.0
1999	71.6	62.6	9.0	1.3	87.4
2000	72.6	63.8	8.9	1.2	90.0

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.  
Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

**Tabla 6. Cobertura del Servicio de Alcantarillado en Zonas Rurales**

Año	Población Total	Habitantes (Millones)			Porcentaje de Cobertura
		Con Servicio	Sin Servicio	Beneficiados	
1990	23.7	4.7	19.0	0.5	19.8
1991	24.0	5.2	18.8	0.5	21.7
1992	24.3	5.8	18.5	0.6	23.9
1993	24.7	6.4	18.3	0.6	25.9
1994	24.9	6.9	18.0	0.5	27.7
1995	24.2	7.1	17.0	0.2	29.5
1996	24.6	7.5	17.0	0.4	30.6
1997	25.0	7.8	17.2	0.3	31.3
1998	25.3	8.1	17.2	0.3	32.1
1999	25.7	8.6	17.1	0.5	33.3
2000	24.7	8.9	15.8	0.3	37.0

Fuente: Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, CNA.  
Compendio Básico del Agua en México 2002, CNA.

El presente trabajo tiene como finalidad, seleccionar los factores dimensionales así como desarrollar una metodología para el correcto diseño y construcción de pozos profundos que actualmente se construyen en la Ciudad de México y su área Metropolitana en base a los siguientes:

#### **OBJETIVOS**

##### **OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un pozo profundo para explotar el acuífero con un gasto de 90 lps.

##### **OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Seleccionar los factores dimensionales apropiados para la construcción del pozo profundo.
- 2.-Evitar la contaminación entre el medio externo y el acuífero.
- 3.-Desarrollar una metodología para la construcción y diseño de los pozos profundos que actualmente se perforan en la Ciudad de México (Sistema de aguas de la Ciudad de México).

## ANTECEDENTES

Desde hace varias décadas el abastecimiento de agua a la Ciudad de México, D.F. ha planteado problemas cuya magnitud y complejidad han venido en aumento, con su explosivo crecimiento demográfico y expansión acelerada de la mancha urbana así como la proliferación de ciudades perdidas, que rebasa ya los límites razonables de tamaño para un control ordenado y equilibrado de su desarrollo.

Este crecimiento explosivo de la población y de la mancha urbana, ha generado una gran demanda de agua potable para poder satisfacer sus necesidades entre otros. En la actualidad los volúmenes de extracción de las aguas subterráneas son muy grandes, y los costos de extracción se incrementan constantemente, debido a la sobreexplotación de los acuíferos, lo que se refleja en niveles de bombeo cada vez más profundos.

Por otra parte, ante la incesante presión de la demanda de agua potable, las autoridades del Sistema de Aguas de la Ciudad de México responsables del suministro de agua se han visto obligadas a importarla de cuencas cada vez más lejanas, mediante gigantescas y complejas obras de infraestructura, que implican altos costos de construcción y operación, estas obras en la mayoría de los casos, originan graves conflictos sociales, puesto que afectan los legítimos derechos de uso de los vecinos y el potencial de producción regional por alterar gravemente los sistemas ecológicos locales. Sin embargo en la Ciudad de México D. F., el abastecimiento de agua constituye uno de los problemas más graves y urgentes que enfrenta, el cual todavía no es percibido por la población de nuestra ciudad como un problema grave.

El abastecimiento del agua a la Ciudad de México proviene tanto de fuentes externas como internas. Los aportes que provienen de fuentes externas, proceden de sitios localizados fuera de la Ciudad de México como son el sistema Cutzamala, el cual

aporta un 50% de aguas superficiales, el sistema Chiconautla un 10%, el sistema Chalmita un 15% y el sistema Lerma un 25%, estos tres últimos son de origen subterráneo, por lo cual el abasto de agua por fuentes externas es en promedio de 18 m<sup>3</sup>/s.

Por otra parte, los aportes que provienen de fuentes internas proceden de diferentes sitios localizados dentro de la Ciudad de México, y están compuestos en su mayoría por medio de pozos profundos que aportan un porcentaje del 90% de aguas de origen subterráneo, y el otro 10% proviene del río Magdalena y de los manantiales localizados al sur poniente de la Ciudad de México por lo cual el abasto de agua por fuentes internas es en promedio de 17 m<sup>3</sup>/s. De lo anterior se deduce que el agua que entra al Distrito Federal es de 35 m<sup>3</sup>/s. aproximadamente. (Gobierno del Distrito Federal, 2000).

Otro problema que se presenta, es la disminución del rendimiento de los pozos que se encuentran localizados dentro y fuera del Distrito Federal y el Área Metropolitana, ocasionando un déficit muy importante en el suministro de agua a la Ciudad de México por lo que actualmente se está llevando a cabo una revisión de los caudales que se extraen en cada uno de los pozos existentes en el Distrito Federal y el Área Metropolitana; esto con la finalidad de que aquellos pozos cuya operación resulte antieconómica, ya sean por el deterioro natural de sus ademes, por falta de verticalidad, por su longitud de columna que se ha quedado corta ante el descenso de los niveles estáticos, se les realice las rehabilitaciones correspondientes o en su caso se de un dictamen para su rediseño y reconstrucción de dichos pozos tal como en el caso del pozo denominado Av. Universidad el cual se va a tomar como referencia para realizar el presente trabajo de investigación.

Para el caso del pozo Av. Universidad, el cual se terminó de perforar el día 8 de octubre de 1965, se deberá tomar en cuenta el hecho de que actualmente tiene 39 años, lo cual indicaría que el aprovechamiento en estudio habría llegado a una edad avanzada y su vida útil, aproximadamente de 20 a 25 años, ya estaría superada, es por eso que se planteó una nueva reubicación, por lo tanto se realizó también un nuevo diseño constructivo.

Los pozos como todas las obras de ingeniería, deben proyectarse y diseñarse de una manera eficiente para obtener un alto nivel de funcionamiento y una máxima vida útil de servicio.

En tal virtud, es necesario contar con las generalidades de la zona en la que se desarrollará tal proyecto, razón por la que podemos decir que en este caso la Cuenca del Valle de México, durante muchas décadas ha sido tema de investigación permanente, debido a que en su porción Sur-Occidental se ubica el Distrito Federal, y es donde se asienta parte de la Ciudad de México, capital del país, con problemas múltiples y complejos, causados por la explosión demográfica que la caracteriza. Por otro lado, la Cuenca en sí, es parte de la provincia geológica de gran riesgo sísmico conocido como Cinturón Volcánico Transmexicano.

En particular, la Cuenca de México es el resultado de las interacciones naturales de procesos tectónicos, volcánicos, sedimentarios y climáticos; es una cuenca cerrada ya que está rodeada por montañas, carente de salidas naturales, sin embargo, actualmente cuenta con cuatro salidas artificiales para el desalajo de aguas residuales y pluviales.

El Distrito Federal está situado en la parte suroeste de la cuenca, aproximadamente entre las latitudes norte 19° 03' 53" y 19° 35' 33" y las longitudes 98° 57' 09" y 99° 22' 15" al oeste del meridiano de Greenwich. Colinda al norte, este y oeste

con el Estado de México (27 municipios, la mayoría de ellos que conforman la zona metropolitana del D.F.); y al sur con el Estado de Morelos, su extensión aproximada es de 1,504 Km<sup>2</sup> y una altura media sobre el nivel del mar de 2,200 m; ocupando el terreno plano 511 Km<sup>2</sup>, la zona de lomeríos 342 Km<sup>2</sup> y la montañosa 651 Km<sup>2</sup> (Gobierno del Distrito Federal, 2000).

Se tienen identificados seis tipos de climas, predomina el templado con sus variantes semiárido y subhúmedo. El clima cambia de árido en el noreste a subhúmedo en la parte suroeste, y en las partes más altas de la cuenca, se presentan semifríos y muy fríos.

La temperatura media anual es de 20° C, las precipitaciones pluviales, fluctúan entre 385 mm y 1400 mm anuales, aumentando en dirección de norte a sur. La temporada de lluvias es de mayo a octubre, con lluvias aisladas en los meses restantes. Los principales ríos, arroyos y canales que tiene influencia en el Distrito Federal y su Área Metropolitana, son los que están incluidos en las subcuencas hidrológicas Xochimilco y son los siguientes: Churubusco, Ciudad de México, Cuautitlán, Teotihuacán, Téxcoco y Chalco.

En cuanto a su extensión territorial, la Ciudad de México se ha expandido considerablemente rebasando los límites del Distrito Federal, su área urbana, que en 1900 ocupaba 21.1 Km<sup>2</sup>, alcanzó una superficie de 257 Km<sup>2</sup> en 1950; crecimiento que conformó en 1994, una extensión integrada por 16 Delegaciones, en el Distrito Federal y 27 municipios en el Estado de México, de 1,273 Km<sup>2</sup> (Gobierno del Distrito Federal, 2000).

La población actual del Distrito Federal es de 10 millones de habitantes aproximadamente, los cuales demandan entre otros recursos, el abastecimiento de agua.

Por decreto constitucional en el año de 1824, se creó el Distrito Federal como sede de los Poderes de la Unión, segregando su territorio del Estado de México; se establece como un área circular con centro en la Plaza Mayor y un radio de dos leguas. Tanto en lo político como en lo económico, su gobierno quedaba bajo la jurisdicción del gobierno nacional. La superficie del Distrito Federal se incrementó en 1842, al incorporarse las zonas de Guadalupe Hidalgo, Mexicaltzingo, Iztapalapa e Iztacalco. En 1898 se establecen los límites actuales. Finalmente, la ley orgánica de 1971 confiere al Distrito Federal su estructura administrativa actual y transforma a los que fuesen los doce antiguos cuarteles de la ciudad de México, en cuatro nuevas delegaciones, con lo cual la totalidad del Distrito Federal quedó constituida por las 16 delegaciones que actualmente conocemos.

La población del Distrito Federal inicia su desarrollo a principios de este siglo, esta afluencia se intensifica en 1910 cuando la ciudad de México ya reporta una población de 721,000 habitantes. Un elevado porcentaje del crecimiento y de la explosión demográfica que se registra proviene de la emigración de áreas rurales que en cierto momento se desborda y ocupa más de las áreas del propio Distrito Federal y saltando los límites políticos de la entidad, incluye a los municipios inmediatos del Estado de México, tanto que para 1994 se reportan 15 millones de habitantes, trasladándose este problema a toda la cuenca, proceso que conduce a la conurbación y que se traduce en que la ciudad de México sea la mayor área metropolitana del país y una de las más grandes ciudades a nivel mundial.

Como parte del Plan Maestro de Drenaje de la Zona Metropolitana de la ciudad de México el Colegio de México realizó un estudio en el año 1994 con la finalidad de conocer las expectativas de crecimiento de la población de la zona metropolitana, se hizo bajo tres diferentes hipótesis de crecimiento, considerando también diversas condiciones socio-políticas y económicas que se podrían presentar en el horizonte de planeación.

Se obtuvo como resultado para la hipótesis intermedia que la población contada para el año 2010 en el área metropolitana será de 21'925,000 habitantes; con estos datos se realizaron cálculos y se retroalimentaron algunos estudios complementarios para la evaluación y simulación de la infraestructura hidráulica de los grandes drenes de la zona urbana.

El crecimiento demográfico impone a los dirigentes del gobierno de la ciudad de México la responsabilidad de operar día con día con máxima eficiencia la infraestructura hidráulica de la ciudad, brindando mayores y suficientes servicios, adquiriendo una nueva personalidad urbana que se define como un centro urbano en franco proceso de desarrollo sustentable.

La Dirección General de Obras Hidráulicas fue creada por el jefe del Departamento del Distrito Federal en el año de 1953, con la finalidad de estudiar, proyectar y ejecutar las obras necesarias para evitar el hundimiento de la ciudad, suplir las deficiencias en el abastecimiento de agua potable y rehabilitar el sistema de drenaje, de tal forma que a corto plazo se eliminara el peligro de inundaciones en el área urbanizada.

El 15 de agosto de 1978 surge, mediante el acuerdo 236, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), como resultado de la fusión de la Dirección General de Obras Hidráulicas y la Dirección General de aguas y saneamiento, esta última se había incorporado al Departamento del Distrito federal en 1941.

Entre las atribuciones de la DGCOH tiene encomendadas, se pueden mencionar las siguientes: Proyectar, ejecutar y supervisar las obras necesarias para eliminar las inundaciones y controlar los hundimientos y movimientos de suelos cuando éstos sean de origen hidráulico. Actualmente se encuentra en proceso de transformación bajo el nombre de Sistema de aguas de la Ciudad de México.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE LA ZONA EN ESTUDIO

#### 1 Calidad del agua subterránea en el área de estudio.

Los acuíferos de la Cuenca del Valle de México han sido sometidos a una explotación intensiva, observándose desde las primeras perforaciones de pozos profundos una calidad fisicoquímica y bacteriológica variable a lo largo y ancho de la geografía del Distrito Federal.

En las últimas décadas el desarrollo urbano ha generado fuente de contaminación que está deteriorando la calidad del agua subterránea en los acuíferos primarios. La zona más afectada en este sentido se encuentra en la porción oriental del valle, comprendiendo a casi la totalidad de la Delegación Iztapalapa y parte de la Delegación Tláhuac.

Las fuentes principales de contaminación, son los tiraderos de basura emplazados en la parte alta de la Sierra de Santa Catarina, donde el agua de lluvia al infiltrarse lixivia y acarrea en solución diversos contaminantes.

Los basureros de Santa Cruz Meyehualco también contribuyeron por mucho tiempo a contaminar a los acuíferos en el subsuelo de esta zona.

En la otra porción sur del valle se encuentra otra zona de agua de mala calidad, atribuyéndose la contaminación a las aguas negras.

Los canales que conducen agua negra de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella al área de chinampas de Xochimilco y Mixquic, han deteriorado seriamente la calidad del agua captada por los ramales San Luis, Tulyehualco y Tecómiltl.

Otra fuente de contaminación son las descargas de aguas negras de los numerosos núcleos de población que carecen de drenaje.

Localmente, el Gran Canal de desagüe ha contaminado a los acuíferos en sus inmediaciones, especialmente en el área de San Cristóbal Ecatepec, donde ha mermado la calidad del agua captada por algunos pozos de sistema Chiconautla. Fuera de las áreas mencionadas, la calidad del agua subterránea es apta para todo uso.

## **2 El agua subterránea en la Ciudad de México.**

Las aguas subterráneas son un recurso invaluable que yace bajo la oscuridad del suelo, jamás se podría exagerar la importancia de las aguas subterráneas, ya que representan el 97% de todo el abastecimiento de agua dulce que se encuentra en la tierra. Durante años casi todo el mundo pensó que el agua era una fuente inagotable, muy pocas personas se preocuparon de que los recursos del agua pudieran agotarse, perderse debido a la contaminación, de que la presión de una población creciente pudiera crear variaciones físicas y químicas tales es el caso que se encuentra el Distrito Federal.

Al cerrarse el valle de México hace aproximadamente 700,000 años, se formaron lagos en lo que ahora se denomina la cuenca del valle de México, la acumulación de sedimentos arcillosos en ellos son lo que actualmente forma el subsuelo de la zona plana, por lo que podríamos asemejar a la cuenca del Valle de México con una presa azolvada, rellena con arcillas de alta plasticidad y consistencia blanda que corresponde a los sedimentos de esos antiguos lagos. Esta capa tiene un espesor promedio que fluctúa entre los 40 y 60 metros en la mayor parte del valle, llegando a máximos de 120 m. En la zona de Chalco y Texcoco, reduciéndose en forma de cuña hacia las elevaciones topográficas.

De acuerdo con su comportamiento hidráulico, las formaciones arcillosas constituyen el Acuífero del Valle de México. La capa dura posee un importante abatimiento de su nivel piezométrico por ser un dren prácticamente continuo en toda la formación. Diversas pruebas efectuadas a las arcillas más superficiales, han permitido calcular un coeficiente de comprensibilidad que va de 0.11 a 6 cm<sup>2</sup>/kg. (Cruickshank, 1979), una relación de vacíos que varía de 2 a 15 (Cruickshank, 1979), y una permeabilidad entre  $1 \times 10^{-7}$  y  $1 \times 10^{-9}$  m/seg. (DGCOH, 1990).

Estas arcillas están sobresaturadas y presentan nivel freático entre 2 y 3 m. De la superficie, bajo la formación arcillosa se encuentra el acuífero en explotación; varias son las causas de la consolidación de las arcillas, desde la desecación de la cuenca hasta la construcción de grandes edificios, aunado a esto, la exigencia de agua potable por parte de los habitantes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) incrementa la explotación de los acuíferos; los niveles piezométricos han descendido de tal forma que el acuífero se encuentra semiconfinado, ha cambiado sus características para convertirse en libre en una gran zona.

Geotécnicamente se han establecido principalmente dos formaciones denominadas la primera y segunda formación arcillosa, existe entre ambas, a profundidades que varían de 30 a 40 m., un estrato compacto con espesores de entre 1 y 3 m. Denominado capa dura o arenas azules provenientes del cerro de San miguel. En la primera formación arcillosa se detectan además, lentes formados por arenas basálticas, limos endurecidos por secado y cenizas volcánicas.

La infiltración de aguas pluviales en las elevaciones topográficas, y en especial en aquellas constituidas por materiales de alta permeabilidad, como la sierra del Chichinautzin, conforman las zonas de recarga natural y presentan los más altos volúmenes de infiltración, por lo que es muy importante conservarlas para mantener la recarga del acuífero. Actualmente se estudia la implementación de diversas obras para

procurar incrementarla de forma que permita en un futuro cercano contar con mayores recursos hidráulicos en el acuífero. En la antigua zona lacustre del valle las posibilidades de infiltrar agua de lluvia que pudieran llegar a recargar al acuífero son sumamente reducidas, en cuanto al acuífero, la baja permeabilidad de las arcillas y su sobresaturación lo impiden o limita, y su asimilación se considera mínima.

Se ha hablado del fenómeno de drenado de las arcillas como principal factor para su consolidación; sin embargo, actualmente se están reevaluando estos conceptos ya que se ha observado que en las zonas donde el acuífero es libre y ocurre este fenómeno, se nota un ligero decremento del hundimiento, no obstante la estadística aún no es suficiente para hacer de esto una generalidad.

La evolución de los niveles piezométricos del acuífero de la ciudad de México se han medido y estudiado a través de una red de pozos a cargo de la Dirección General de construcción y Operación Hidráulica de manera sistemática a partir de 1984, se ha observado el abatimiento piezométrico, esto como resultado del bombeo de pozos para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de México; y la reducción de la recarga por la urbanización en general que se extiende, como se había mencionado, a las principales zonas de recarga.

Los depósitos lacustres experimentan un acelerado abatimiento de sus niveles piezométricos. Esto ha provocado que el subsuelo de ciertas zonas se esté hundiendo en forma diferencial, con el consiguiente descenso de los niveles de la superficie del terreno, la problemática de la existencia de zonas que permanecen inmóviles en otras regiones de la misma cuenca.

### 3 El agua subterránea en el ciclo hidrológico

El agua subterránea forma parte de un gran sistema circulatorio, el ciclo hidrológico que comprende prácticamente a toda el agua que en sus diferentes formas, líquida, sólida o gaseosa, se encuentra en movimiento en nuestro planeta.

El ciclo hídrico o ciclo hidrológico, consiste en la continua circulación de humedad y de agua sobre nuestro planeta. El ciclo no tiene principio ni fin, pero el concepto de ciclo hidrológico se origina en el agua de los océanos, ríos o lagos. (Fig. 1). La radiación solar lleva el agua de los océanos, ríos o lagos hasta la atmósfera por evaporación, el vapor de agua se eleva y luego se aglomera dando lugar a la formación de las nubes.

Bajo ciertas condiciones, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a la tierra en forma de lluvia, granizo o nieve.

Parte de la precipitación, una vez que ésta ha humedecido el follaje y el terreno, escurre sobre la superficie de ésta y llega hasta los ríos.

Otra parte se infiltra dentro del suelo, una buena parte del agua que penetra dentro del suelo, se detiene en la zona radicular de las plantas y eventualmente es devuelta a la superficie por estas mismas, o mediante el fenómeno de la capilaridad. Sin embargo, otra parte percola por debajo de la zona radicular y mediante la influencia de la gravedad continúa su movimiento descendente hasta que llega al depósito subterráneo.

Una vez que se incorpora al depósito subterráneo, el agua que se ha percolado se desplaza a través de los poros de los materiales subterráneos y que puede reaparecer en la superficie en aquellas zonas que se hallan a elevaciones inferiores al nivel de las que permitieron su incorporación al depósito. El agua subterránea descarga

naturalmente en estos sitios en forma de manantiales y precolación dispersa, manteniendo así el caudal de estiaje de los ríos.

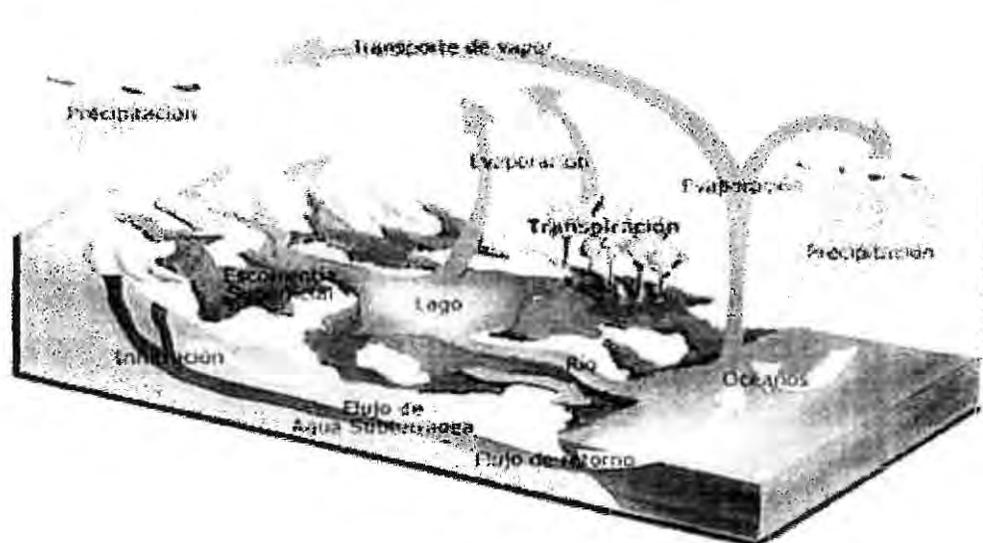
Las corrientes superficiales como las descargas naturales de agua subterránea, llegan eventualmente hasta los océanos.

Así pues, el ciclo hidrológico constituye un sistema mediante el cual la Naturaleza hace circular el agua desde los océanos hasta la atmósfera y la retoma de nuevo en forma superficial y subterránea a aquellos, a través de varias rutas, cortas algunas y largas otras en términos del espacio y tiempo.

Las fuerzas involucradas en este proceso comprenden radiación, fuerza gravitacional, atracción molecular y capilaridad.

Los hechos más destacados del ciclo hidrológico se muestran en la figura 1.

**Figura 1 Diagrama esquemático del ciclo hídrico o ciclo hidrológico.**



#### 4 Características hidráulicas de las rocas

Las características hidrodinámicas de las rocas son aquellas que determinan las cantidades de agua que pueden almacenar, ceder y transmitir; dependen a su vez, de factores litológicos, granulometría, fracturamiento, grado de cementación o compactación entre otros.

La Geología clasifica fundamentalmente las rocas en tres grupos generales a mayores, independientemente de sus edades y características, atendiendo tan solo a su origen:

Las rocas ígneas las cuales se han originado por el enfriamiento y solidificación de masas magmáticas, ya sea superficiales o a profundidades dentro de la corteza terrestre.

Las rocas sedimentarias son aquellas transportadas por los agentes de naturaleza tales como el agua, el viento, glaciales así como los originados por la acción de agentes biológicos y químicos habiendo sufrido proceso de cementación y consolidación con posterioridad a su depósito pero sin presentar cambios metamórficos.

Las rocas metamórficas son un producto de la alteración de rocas pertenecientes originalmente a cualquiera de los dos primeros grupos antes indicados, habiendo sufrido una profunda metamorfosis causada por la prolongada acción de masivos fenómenos geológicos tales como elevadas temperaturas, presión o solución química.

Las rocas sedimentarias y algunas variedades de las rocas ígneas (las de origen volcánico), tienen propiedades como acuíferos mientras que las metamórficas suelen ser muy compactas e impermeables, con cualidades nulas como acuíferas.

De acuerdo a las características geohidrológicas de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México pueden agruparse zonas de acuerdo a sus características que permiten la infiltración, circulación y almacenamiento de agua en el subsuelo. Se han identificado 9 zonas:

#### Zona 1 Lomas del Poniente

La zona 1 corresponde a las lomas del poniente de la ciudad de México, entre Chapultepec y Contreras. Esta porción se encuentra constituida por materiales granulares, cenizas, tobas y lavas. Las lavas son generalmente de composición andesítica y constituyen el núcleo de la Sierra de las Cruces. La permeabilidad que presenta este conjunto de rocas se considera como baja, debido a que los caudales de extracción registrados en la mayor parte de los pozos que se ubican en ella varía entre 20 y 40 l/s. La conductividad hidráulica de estas rocas tiene un promedio de  $2.3 \times 10^{-5}$  a  $4 \times 10^{-6}$  m/seg. (Tabla 7).

#### Zona 2 Area de transición del Poniente

Corresponde a una franja alargada orientada Norte-Sur que se extiende desde Azcapotzalco hasta la Ciudad Universitaria. Esta zona se ubica al pie de la Sierra de las Cruces y se le conoce como "zona de transición" por encontrarse formada por materiales procedentes de la erosión de la mencionada sierra y el antiguo lago de México.

La erosión y transporte de materiales de la sierra acumularon arcillas, gravas y arenas, lo cual le imprime características geológicas y geohidrológicas especiales. En general, estos materiales presentan una permeabilidad que se puede considerar de media a baja. Los pozos existentes rinden caudales de entre 40 y 60 l/s y la permeabilidad o conductividad hidráulica promedio varía de  $3 \times 10^{-3}$  a  $4 \times 10^{-6}$  m/s.

Tabla 7. Características de las zonas geohidrológicas

Zona No.	Litología	Capacidad de infiltración	Caudal de recarga por pozo lps	Profundidad de los pozos de extracción m	Nivel estático Sep.-98 m	Abatimiento anual 1997-1998 m/año	Conductividad hidráulica m/seg
1 Lomas del Poniente	Fm. Tarango material granular, cenizas, tobas y lavas.	Baja	20-40	300-350	100-180	0-1	0.00023
2 Zona de transición Lomas del Poniente	Fm. Tarango, arcillas lacustres, aluviones.	Media a baja	40-60	250	50-100	Azcapotzalco (recuperación 1.0) Lomas 0.5-1.0	0.003
3 Zona de transición Tlalpan	Materiales granulares cubiertos por arcillas lacustres.	Media a baja	60-80	200	30-50	0-1.0	-
4 Zona de transición Sierra Sta. Catarina	Basaltos y aluviones cubiertos por arcillas lacustres	Media a baja	60-90	150-350	30-60	0.5-1.0	0.000058
5 Sierra Sta. Catarina y Chichinautzín	Gravas y piroclásticos basálticos.	Alta	80-120	50-350	30-100	Sta. Catarina o Chichinautzín 0-0.5	0.07-0.007
6 Cerro de la Estrella y Peñón del Marqués	Piroclásticos y lavas basálticas anteriores a Santa Catarina y Chichinautzín.	Media a baja	80-100	50-200	50-70	0-1.0	-
7 Zona Tlalpan Xotepingo	Basaltos intercalados con materiales granulares.	Media a baja	40-70	200-400	45-100	-2	0.0058
8 Zona Ajusco	Andesitas y basaltos.	Media a baja	-	-	>100	0	-
9 Sierra de Guadalupe	Andesitas y basaltos.	Baja a nula	-	80-180	80	0-10	-

### Zona 3 Zona lacustre del centro de la ciudad

Corresponde a la zona plana de la ciudad, que incluye el centro histórico y sus alrededores.

Se extiende desde Coyoacan al sur y se continúa al norte cubriendo la mayor parte de las delegaciones Benito Juárez, Cuauhtémoc y Venustiano Carranza. El subsuelo de esta zona se encuentra constituido principalmente por materiales granulares de permeabilidad media a baja. Los pozos existentes en esta zona rinden caudales entre 60 y 80 l/s.

### Zona 4 Zona de transición Sierra de Santa Catarina

Rodeando al Cerro de la Estrella y a la Sierra de Santa Catarina, se encuentra una zona plana que fue parte de los antiguos lagos de México. En el subsuelo de esta zona se presentan intercalados derrames lávicos de composición basáltica, procedentes de diferentes centros eruptivos, como los volcanes del Cerro de la Estrella, El Peñón del Marqués y los volcanes que constituyen a la Sierra de Santa Catarina. Las lavas de basaltos de los volcanes se extendieron en el subsuelo y se intercalan con materiales granulares tales como gravas, arenas y arcillas, los que en su conjunto presentan una permeabilidad de media a alta. La mayor parte de los pozos que se encuentran perforados en esta zona, rinden caudales de extracción entre 60 y 90 l/s. Ejemplos de pozos en esta región son la batería Xotepingo, la batería Tláhuac-Neza; los pozos del oriente de la ciudad, como el pozo Santa María Aztahuacan, los pozos Iztapalapa número 4, 6 y 8, el pozo Santa Cruz Meyehualco y los pozos Purísima, entre otros.

Estos pozos se caracterizan por haber cortado en su construcción fuertes espesores de basaltos y piroclásticos de media a alta permeabilidad. La conductividad hidráulica de esta zona es de alrededor de  $5.8 \times 10^{-5}$  m/s.

## Zona 5 Sierras de Santa Catarina y Chichinautzin

Corresponden a productos de emisiones volcánicas de composición basáltica y edad reciente. Predominan gravas de tezontle las cuales se encuentran intercaladas con cenizas volcánicas, arenas (lapilli) y lavas que en general le imprimen una alta permeabilidad. Los pozos perforados en estas zonas, rinden caudales entre 80 y 120 l/s.

La conductividad hidráulica media asignada a esta zona es de  $7 \times 10^{-2}$  a  $10^{-4}$  m/s. La Sierra del Chichinautzin ubicada en la zona sur del Distrito Federal, funciona en forma natural como una gran área de recarga del agua de lluvia, la que al precipitarse sobre el terreno se infiltra sin permitir la formación de corrientes superficiales que escurran y descarguen hacia los valles de Xochimilco y Tláhuac. Se hace notar que sí existen arroyos, pero que solamente en caso de lluvias extraordinarias alcanzan a presentar escurrimientos que se infiltran al subsuelo al llegar al valle.

En la Sierra de Santa Catarina la conductividad hidráulica es ligeramente menor que en la Sierra del Chichinautzin. Se encuentra constituida también por arenas (lapilli) y tezontles, intercalados con cenizas y lavas.

En el flanco sur de la Sierra de Santa Catarina se encuentra una batería de pozos (SC-1 al SC-10). El agua de los pozos es enviada para su potabilización a la planta ingeniero Francisco de Garay por presentar el agua un alto contenido de fierro manganoso y nitratos de origen natural, no se descarta la posibilidad de que estos elementos aumenten debido a la influencia de contaminación procedente de antiguos rellenos sanitarios.

#### Zona 6 Cerros de la Estrella y Peñón del Marqués

Está constituida por piroclásticos y lavas basálticas de mayor antigüedad que las rocas y materiales de la zona 5. Presentan una permeabilidad de media a alta. Los caudales extraídos son del orden de 80 a 100 l/s.

#### Zona 7 Zona Tlalpan-Xochimilco

En la zona sur y sur-oeste de la ciudad de México, entre Tlalpan y Xochimilco, se encuentra un área que presenta características geológicas y geohidrológicas peculiares.

Está constituida principalmente por basaltos intercalados con materiales granulares, los cuales presentan alta permeabilidad.

Existen más de 1000 pozos que se encuentran ubicados en esta zona, que rinden caudales generalmente entre 40 y 70 l/s.

La conductividad hidráulica de las rocas es de  $5.8 \times 10^{-3}$  a  $10^{-5}$  m/s. Corresponde a una zona acuífera de alto rendimiento. La extracción por bombeo ha ocasionado la formación de un cono piezométrico.

#### Zona 8 Zona Ajusco

La zona denominada Ajusco se encuentra formada por productos volcánicos entre los que predominan andesitas y basaltos. Tiene una permeabilidad de media a baja. Por su posición topográfica, el nivel estático es profundo.

Forma un área de alimentación de agua de lluvia al valle, no se considera apropiada para recarga.

En la parte norte de la ciudad de México se encuentra la Sierra de Guadalupe, la cual está compuesta por rocas volcánicas de baja a nula permeabilidad, razón por la que no se considera atractiva para la recarga artificial del subsuelo, salvo condiciones locales.

## **5 Principales acuíferos en México.**

Se designa con el nombre de “acuífero” a toda estructura o formación geológica cuyas rocas constituyentes contienen agua en sus poros o conductos y son capaces de transmitirla en cantidades suficientes para alimentar manantiales o pozos.

Las propiedades de un acuífero, muy en especial su riqueza y cualidad de transmisibilidad del agua, dependen fundamentalmente de las características de las rocas que lo constituyen.

Toda formación acuífera viene siendo solamente un almacenamiento subterráneo alimentado por las aguas que se infiltran en su cuenca de captación, para seguir a continuación trayectorias subterráneas gobernadas por las fuerzas capilares y de la gravedad, así como la porosidad, fracturamiento de las rocas por donde siguen su curso hasta llegar a las formaciones acuíferas, que como quedó antes dicho son en realidad almacenamientos subterráneos.

Existen tres tipos principales de sistemas de acuíferos:

Aluvial

Sedimentario

Igneo/Metamórfico

Los dos primeros se desarrollan como resultado de la intemperización y la erosión de la roca madre. Todas las rocas ígneas y metamórficas expuestas a la superficie de la tierra se encuentran en condiciones químicas y físicas inestables, con el paso del tiempo estas rocas se dividen en partículas cada vez más finas. Estas partículas son recicladas y distribuidas mediante los tres agentes de la erosión: viento, agua corriente y glaciales.

La intemperización no solo es el primer paso en la producción de sistema de acuíferos aluviales y sedimentarios, sino que también es el proceso mediante el que se produce los suelos.

La intemperización es la desintegración física y química in situ de las rocas en respuesta a las condiciones ambientales que se encuentran en la superficie de la tierra.

#### **A).- Acuíferos aluviales.**

Los ríos y los arroyos producen yacimientos de aguas subterráneas que constan de depósitos aluviales, los arroyos y los ríos transportan material de tres maneras, como acarreo de fondo, carga suspendida y en solución. El acarreo de fondo es cuando las partículas más gruesas se mueven en el fondo del canal. La carga suspendida es material intemperizado que transporta un río en suspensión.

El material disuelto se transporta en solución, por lo general en forma de iones, a medida que esta agua regresa al mar, erosiona la tierra, deposita sedimentos como arena y grava sobre su curso y lleva los productos remanentes de la intemperización al mar.

#### **B).- Acuíferos sedimentarios.**

Los acuíferos sedimentarios se originan en las costas o cerca de ellas, los mares transgresivos y regresivos depositan arenas de playa, arcillas, limos y calizas debido a

la turbulencia de las olas, la arena de playa es gruesa y redondeada con el tiempo, la zona -de la playa migra tierra adentro y en la zona donde antes se localizaba la playa, el tirante de agua se hace más profundo.

Los sedimentos depositados en mares transgresivos regresivos cambian con el tiempo. Los cambios físicos ocurren por compactación, precipitación química de soluciones y calor. Estos cambios pueden incrementar o disminuir la capacidad de estos depósitos para almacenar agua.

Estas formaciones, en particular las de depósitos de arena, actualmente forman algunos de los mayores sistemas de acuíferos.

### **C).- Acuíferos en rocas ígneas y metamórficas.**

Las rocas ígneas intrusivas principales son el granito, la diorita y el grabo. Tal como están constituidas, no cuentan con las características hidráulicas necesarias para formar yacimientos de agua adecuadas.

Por otro lado, resulta importante conocer las características que presenta el agua subterránea en la Ciudad de México, esto podemos lograrlo a través de un análisis del balance de agua subterránea que comprende los siguientes puntos:

#### **a).- El estudio del acuífero**

La principal fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de México corresponde a la extracción de agua del acuífero por medio de pozos profundos. Ante la importancia de esta fuente, es necesario conocer la evolución de los niveles del agua subterránea ya que estos presentan una constante fluctuación, que depende del grado y forma de explotación a que se encuentre sujeto.

Con el fin de observar de forma controlada estos niveles, se lleva un registro de su variación desde el año de 1984 y se actualiza año con año.

Adicionalmente, se calcula la evolución que sufre el almacenamiento y los efectos colaterales causados por la extracción de agua subterránea. Para cumplir con los objetivos y solventar esta necesidad, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del Distrito Federal, a través de su Subdirección de Programación, realizó la actualización en 1997 de los niveles estáticos de los pozos tanto en el Distrito federal como en los valles de Chalco y Texcoco, con el fin de dar seguimiento a al evolución de los niveles del agua subterránea.

Cabe aclarar que estas mediciones constituyen la base para el balance geohidrológico, para efectuar correlaciones con los asentamientos del terreno y para actualizar el modelo matemático del acuífero.

**b).- Mediciones piezométricas**

La Dirección General De Construcción y Operación Hidráulica ha venido realizando en forma sistemática la medición de niveles estáticos del acuífero a través de pozos desde el año de 1984. Inicialmente la red piezométrica abarcaba alrededor de 200 pozos, los que en número se fueron incrementando con el paso de los años, principalmente debido a que se fue aumentando el, área que inicialmente correspondió al Distrito federal y posteriormente abarco a los valles de Chalco y Texcoco. Actualmente la red piezométrica consta de 470 puntos de medición.

**c).- División del sistema del acuífero**

Se dividió el acuífero en subsistemas que corresponde a Subsistema Acuífero Ciudad de México, Subsistema Acuífero Texcoco y Subsistema Acuífero Chalco.

La división entre los subsistemas de la ciudad de México y Texcoco se trazó tomando en cuenta las redes de flujo, de donde se marcó un parteaguas subterráneo que va de la Sierra de Santa Catarina con dirección al noroeste, pasando por el Aeropuerto internacional y, posteriormente, siguiendo rumbo al norte por la elevación topográfica de la Sierra de Guadalupe. La división de los acuíferos entre la ciudad de México y el valle de Chalco, se realizó debido a que el flujo subterráneo presenta independencia, de acuerdo con las equipotenciales y direcciones de flujo del agua subterránea que permitió el trazo de un parteaguas subterráneo a la altura de San Pedro Tláhuac.

d).- Profundidad a nivel estático

Se trazó una configuración que muestra la distribución de la profundidad al nivel del agua a partir de la superficie del terreno.

Para el subsistema acuífero de la Zona Metropolitana, se encuentran valores de profundidad que en la configuración están representados por curvas que van desde 30 hasta 180 metros. Los valores más someros se encuentran en dos áreas: zona centro-norte y Xochimilco.

La zona centro-norte está limitada por la Sierra de Guadalupe al norte, el Aeropuerto Internacional al oriente, la Avenida Insurgente y el viaducto Miguel Alemán al oeste y el sur. En esta porción el agua se encuentra a profundidades que varían entre 30 y 40 metros. Se hace notar que en esta área la extracción de agua del subsuelo es reducida, debido a que los asentamientos del terreno causados principalmente en la década de los sesentas obligó a detener la perforación de pozos y por lo tanto a disminuir la extracción.

La segunda zona con niveles estáticos relativamente someros, entre 30 y 40 metros de profundidad, corresponde al área de Xochimilco. En esta porción, además de corresponder a una de las zonas bajas del antiguo lago de Xochimilco, se caracteriza por que en ella prácticamente no existen de extracción de agua subterránea.

Alrededor del Cerro de la Estrella, el nivel estático se encuentra a profundidades de entre 60 y 70 metros, lo cual está en relación con la elevación del terreno. Conforme se aleja del cerro de la Estrella, el nivel estático fluctúa entre 50 y 60 metros, siendo la característica de una amplia área que abarca a los pozos Táhuac-Neza, a los pozos Xotepingo y a parte de los pozos ubicados al norte del Cerro de la Estrella.

La profundidad al nivel estático se encuentra influenciada por la topografía del terreno, los niveles se profundizan conforme se eleva la superficie topográfica, ocasionando que los pozos ubicados hacia la Sierra de las Cruces al poniente de la ciudad y hacia la Sierra del Chichinautzin al sur, presenten valores que varían de 60 metros al pie de la sierra y que se incrementan para llegar a alcanzar más de 100 metros. En la porción correspondiente al subsistema acuífero del lago de Texcoco, el nivel estático se encuentra a profundidades que fluctúan entre 30 y 80 metros. La configuración incluye curvas en la parte central del lago de Texcoco con el valor de 30 metros de profundidad y hacia la periferia del lago la curva 40 metros. Hacia las elevaciones topográficas se encuentra la curva 50 metros y en la porción al sureste de Texcoco se marcan también las curvas 60 y 80 metros de profundidad. En la porción sureste del área de trabajo correspondiente al subsistema acuífero de Chalco, la profundidad al nivel estático varía entre 20 y 130 metros. Hacia la parte plana del valle fue factible marcar la curva 30 metros, aunque la mayor parte del área presenta profundidades entre 30 y 40 metros. Hacia las elevaciones topográficas el nivel estático se profundiza para alcanzar entre 50 y 60 metros. Hacia la delegación de Milpa Alta existen varios pozos los que, debido a su posición topográfica alta, llegan a presentar profundidades de entre 100 y 130 metros.

e).- Elevación del nivel estático y dirección del flujo subterráneo

Se obtuvo la elevación de la superficie piezométrica respecto al nivel del mar para los datos obtenidos en el año de 1997. Estos valores se emplearon para determinar la configuración de la elevación del nivel estático respecto al nivel del mar. En dicha configuración se observa que, para el subsistema acuífero de la ciudad de México, se marcaron las curvas que presentan una distribución concéntrica. Incluye los valores más altos hacia la porción externa de la Ciudad de México donde se trazaron las curvas 2195 y 2200 msnm. Hacia la parte baja de la ciudad se forman dos conos piezométricos. Uno de ellos en la porción norte correspondiente a Azcapotzalco, el cual está delimitado por las curvas 2180 y 2190 msnm.

El segundo cono piezométrico abarca prácticamente toda la porción central y sur de la ciudad de México, estando delimitado por las curvas 2185 y 2190 msnm. Hacia la porción central de este cono piezométrico se trazó la curva 2180 msnm.

El flujo subterráneo se marcó a partir de la configuración de la elevación del nivel estático, el cual, se establece en la ciudad de México de la periferia hacia el centro, concentrándose hacia los dos conos piezométricos mencionados en párrafos anteriores y que corresponde, el primero al área de Azcapotzalco y el segundo a la porción central-sur donde se ubican los pozos de Tlalpan y Xotepingo.

En relación con el subsistema acuífero de Texcoco, el esquema de flujo muestra elevaciones de la superficie piezométrica que van de 2195 msnm en la parte central-norte, alrededor del caracol de Texcoco y que se incrementan hacia las estribaciones del valle para alcanzar hasta 2240 msnm al oriente y suroriente de Texcoco.

A partir de las elevaciones anteriores se trazó la dirección del flujo subterráneo, el cual va de las porciones topográficamente altas correspondientes a la Sierra de

Guadalupe, la Sierra Nevada, la Sierra de El Pino, el Cerro del Chimalhuacán y parte de la Sierra de Santa Catarina, hacia el centro del exlago de Texcoco.

Dentro del exlago de Texcoco existe una tendencia de flujo hacia el norte, con un gradiente sumamente bajo pero observándose que aparentemente el agua fluye y podría existir descarga y conexión hacia el norte, pasando entre las Sierras de Guadalupe y Chiconautla.

El subsistema acuífero de Chalco se encuentra limitado por elevaciones topográficas. Al pie de dichas elevaciones se trazaron las curvas equipotenciales 2210 y 2220 msnm, las cuales corresponden a los valores más altos registrados hacia este subsistema. En la parte baja y plana del valle, fue factible delimitar la curva 2200 msnm en la parte central-norte.

Con las equipotenciales mencionadas se trazó la dirección del flujo subterráneo, la cual es perpendicular a las curvas. Se observa un flujo radial a partir de las elevaciones topográficas y que circula hacia el centro del valle de Chalco.

#### f).- Evolución del nivel estático

La explotación a que se encuentra sujeto el acuífero a través de varios cientos de pozos es irregular. En ciertas zonas como Tlalpan y Xotepingo, así como al pie de la Sierra del Chichinautzin, se concentran extracciones fuertes de agua subterránea.

Otras áreas de fuerte extracción corresponden a la batería de pozos de Xotepingo y Mixquic-Santa Catarina. En contraste, existen áreas donde la cantidad de extracción de agua del subsuelo es menor, como dentro de la zona central de Xochimilco, al centro del valle de Chalco, en la zona federal del lago de Texcoco, así como en la porción del centro histórico de la Ciudad de México. La irregular distribución

de la extracción de agua subterránea, aunada a que el subsuelo presenta variaciones en cuanto a su transmisibilidad, provoca que existan fluctuaciones en el nivel estático.

En el subsistema acuífero de la ciudad de México, se observa que en la porción norte correspondiente a Azcapotzalco se presentan evoluciones positivas de entre 0 y 2 metros, lo cual aparentemente ha sido el resultado de la suspensión del bombeo de la exrefinería de Azcapotzalco.

Un efecto similar con recuperaciones de la superficie piezométrica para el periodo estudiado de 1995 a 1997, se registró en los alrededores de la Ciudad Universitaria en el sur-oeste de la ciudad, donde se llegaron a registrar entre 0 y 2 metros de recuperación del nivel estático. En el resto de la ciudad la evolución sufrida por el acuífero fluctúa alrededor de menos un metro al año.

Hacia el área de Texcoco, las principales evoluciones se registran en las zonas donde existe explotación de agua para riego, correspondiente a Texcoco y Chicoloapan de Juárez, donde los abatimientos fueron de entre -2 y -3 metros para los dos años estudiados.

El resto del área presenta poca información y en general valores de alrededor de -2 metros de evolución al año. Por lo que respecta al acuífero del valle de Chalco, es donde se presentan mayores abatimientos los cuales llegan a alcanzar hasta 4 metros.

Aproximadamente el 40% de la superficie del valle se encuentra con abatimientos mayores de -3 metros y comprende al poblado de Chalco. Hacia las orillas del valle y en el área de pozos de Mixquic-Santa Catarina, las fluctuaciones varían entre -1 y -2 metros.

g).- Hidrógrafos de pozo

Los hidrógrafos muestran la variación del nivel estático respecto al tiempo. En ellos se observa que en general en el subsistema acuífero de la ciudad de México tiene un abatimiento gradual en la mayor parte de los pozos. Destacan algunas áreas donde en los últimos años se han detectado recuperaciones del nivel piezométrico, principalmente el área de Azcapotzalco. Los pozos de esta zona presentan una recuperación en los niveles a partir del año 1991.

h).- Balance de agua subterránea

De acuerdo a la división del sistema acuífero comentada anteriormente, se calcularán las entradas y salidas de agua subterránea para cada subsistema, así como el diferencial entre entradas y salidas, al que corresponde al cambio de almacenamiento. En los siguientes párrafos se describen los datos del cálculo y sus resultados.

Para el balance del acuífero se estableció la ecuación general de balance de agua subterránea, en donde se establece que las entradas de agua al sistema son iguales a las salidas menos el cambio de almacenamiento.

Las entradas de agua al sistema corresponden al aporte por flujo subterráneo o entrada subterránea, proveniente de las infiltraciones que se generan en las zonas de recarga del acuífero. Hacia la parte plana de los valles, la infiltración vertical de agua de lluvia es inapreciable debido, por una parte, a la existencia de la mancha urbana y por otra parte, a la presencia de arcillas lacustres que corresponden al sedimento de los antiguos lagos de México, por lo que la infiltración en el valle no se consideró para el balance; sin embargo, las arcillas lacustres forman un acuitardo que se encuentra saturado y que presenta un drenado vertical que alimenta al acuífero.

Cada uno de los subsistemas acuíferos estudiados se comporta como independiente. Entre la ciudad de México y el exlago de Texcoco existe conexión y podría existir flujo de agua de un subsistema a otro; sin embargo, la red de flujo marca un gradiente muy bajo, por lo que, en caso de existir paso de agua de un sitio a otro, éste debe ser muy reducido. Efecto similar se observa en el área entre Xochimilco y Chalco, así como entre una posible conexión del valle de Texcoco hacia el norte, entre las Sierras de Guadalupe y Chiconautla.

La salida más importante de agua en todos y cada uno de los subsistemas acuíferos, corresponde a la extracción por bombeo.

El diferencial entre las entradas de agua a cada subsistema acuífero y la salida se refleja en la fluctuación del nivel estático. Esta variación corresponde al cambio de almacenamiento.

i).- Cálculo de entradas por flujo subterráneo

El flujo subterráneo se calculó utilizando la Ley de Darcy, en donde se establece que el caudal que pasa a través de una sección de terreno es igual a la transmisibilidad del material por la longitud del área considerada y por el gradiente hidráulico.

Se trazaron celdas utilizadas en el cálculo de la entrada de agua subterránea, correspondiendo cada una de ellas al área delimitada entre dos curvas equipotenciales y dos líneas de corriente. De esta manera, se marcaron 15 celdas para el subsistema acuífero del valle de México las cuales se identificaron con la letra A y un número en orden progresivo del A-1 al A-15. Para el valle de Chalco las celdas se marcaron con las letra B, del B-1 al B-8, y para el valle de Texcoco las celdas utilizadas se identificaron con la letra C, habiéndose diferenciado 11 celdas que van de la C-1 a la C-11.

La transmisibilidad es la capacidad de un medio para permitir el flujo de agua bajo un gradiente unitario. Este dato se obtiene de pruebas de bombeo y se caracteriza por presentar valores del orden de 0.011 m<sup>2</sup>/seg para materiales piroclásticos y basálticos como por ejemplo los observados en las Sierras del Chichinautzin y Santa Catarina. Hacia los materiales aluviales de los valles, las transmisibilidades obtenidas a través de pruebas de bombeo varían alrededor de 0.005 a 0.008 m<sup>2</sup>/seg.

Los valores de transmisibilidad correspondientes a las celdas letra A de la Ciudad de México, varían de 0.003 a 0.011 m<sup>2</sup>/seg, como se observa en las tablas 1 a 3. En las celdas B correspondientes a Chalco, la transmisibilidad va de 0.004 a 0.011 m<sup>2</sup>/seg y, por lo que respecta al lago de Texcoco las celdas marcadas con la letra C presentan una transmisibilidad que va de 0.005 a 0.010 m<sup>2</sup>/seg.

El ancho de cada una de las celdas utilizadas para el cálculo del flujo subterráneo se obtuvo directamente del plano de elevación del nivel estático, donde se delimitan las celdas.

El gradiente hidráulico es igual a la diferencia entre las equipotenciales que limitan a cada celda dividida entre la longitud de la misma. Los valores de cada celda obtenidos del plano de elevación del nivel estático para el subsistema acuífero de la ciudad de México variaron de 0.0028 a 0.0273. Para el valle de Texcoco el gradiente varía de 0.005 a 0.0018 y para el valle de Chalco el gradiente calculado va de 0.0046 a 0.020.

El cálculo del agua que fluye de una celda se calcula por medio de la Ley de Darcy, que indica que el caudal de agua que pasa a través de ella es igual a la transmisibilidad por el largo de la celda y multiplicado por el gradiente hidráulico. La suma del flujo que pasa a través de las celdas marcadas con la letra A y que corresponden a la entrada por flujo subterráneo hacia la ciudad de México, asciende a

277.68 Mm<sup>3</sup>/año; para el valle de Chalco el volumen de flujo calculado en las 8 celdas fue de 149.59, mientras que en el valle de Texcoco éste ascendió a 166.38 Mm<sup>3</sup>/año para las 11 celdas marcadas.

La principal salida de agua de los acuíferos corresponde a la extracción por bombeo. Se utilizó el valor registrado por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica para el año de 1995. A dichos volúmenes se les sumó la extracción realizada por organismos operadores, así como datos de la Comisión Nacional del Agua y de pozos de riego. Se obtuvo un volumen de extracción anual (que corresponde a la salida de agua subterránea del sistema), de 358 Mm<sup>3</sup>/año para la Ciudad de México, lo que equivale a 11.35 m<sup>3</sup>/seg. En el valle de Chalco la extracción o salida de agua subterránea fue de 178.8 Mm<sup>3</sup>/año equivalente a 5.67 m<sup>3</sup>/seg y; por lo que respecta al valle de Texcoco la extracción fue de 254 Mm<sup>3</sup>/año que equivale a 8.06 m<sup>3</sup>/seg.

El diferencial entre la entrada de agua subterránea a los subsistemas acuíferos y su salida se refleja en el cambio en el nivel estático.

Se calculó el cambio de almacenamiento de la evolución sufrida en el periodo 1995-1997, la cual se obtuvo multiplicando el área entre las curvas, por el abatimiento registrado. La suma de ellas (áreas multiplicadas por evolución), dio un volumen de la variación del nivel estático de 1995 a 1997. Dicho volumen se dividió entre 2 para obtener el volumen anual.

Por otra parte, del volumen obtenido una parte corresponde a los sólidos que constituyen el medio y otra parte al agua que contenían los intersticios. El porcentaje que corresponde a intersticios y que equivale a la cantidad de agua, se denomina coeficiente de almacenamiento, el cual es deducido a partir de pruebas de bombeo, así como de los tipos de rocas y de las condiciones en que se encuentra el acuífero.

Los acuíferos semiconfinados, debido a que se encuentran sujetos a presión, presentan coeficientes de almacenamiento bajos del orden de 0.007, mientras que en acuíferos libres el coeficiente de almacenamiento es del orden de 0.03.

La variación de almacenamiento se calculó multiplicando el volumen de la evolución del nivel estático por el coeficiente de almacenamiento, el cual resultó para la Ciudad de México de  $-4.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$  equivalente a  $-0.13 \text{ m}^3/\text{seg}$ ; para el valle de Chalco el cambio de almacenamiento fue también negativo de  $-21.43 \text{ Mm}^3/\text{año}$  equivalente a  $-0.67 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

La ecuación de balance volumétrico en el subsuelo indica que las entradas (entradas por flujo subterráneo y drenado vertical de las arcillas) son iguales a las salidas (extracción por bombeo) menos el cambio de almacenamiento. La entrada por flujo subterráneo para la Ciudad de México fue de  $277.68 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivale a  $8.81 \text{ m}^3/\text{seg}$ . La extracción por bombeo fue de  $358 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivale a  $11.35 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El cambio de almacenamiento calculado fue de  $-4.10 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivale a  $-0.13 \text{ m}^3/\text{seg}$ . De lo anterior se deduce un drenado vertical de la arcilla que asciende a  $76.22 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivale a  $2.42 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

Para el subsistema acuífero del Valle de Texcoco las entradas por flujo subterráneo ascendieron a  $166.38 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivalen a  $5.29 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Las salidas por bombeo fueron de  $254 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivalen a  $8.06 \text{ m}^3/\text{seg}$ . El cambio de almacenamiento calculado fue de  $-21.43 \text{ Mm}^3/\text{año}$  equivalentes a  $-0.67 \text{ m}^3/\text{seg}$ . De lo anterior se dedujo un aporte del acuífero por drenado vertical de  $66.19 \text{ Mm}^3/\text{año}$  que equivalen a  $2.10 \text{ m}^3/\text{seg}$ .

j).- Sobre explotación del acuífero

Si consideramos que la sobreexplotación del acuífero corresponde al cambio de almacenamiento y al drenado de las arcillas, este volumen dividido entre la recarga por flujo subterráneo da el porcentaje de sobreexplotación a que se encuentra sujeto. De esta manera, se obtuvo que el subsistema acuífero de la ciudad de México se encuentra sobre explotado un 29%, el área de Texcoco se encuentra sobre explotada en un 52%, mientras que el valle de Chalco en un 20%.

Al comparar los resultados del balance aquí realizado con otros llevados a cabo con anterioridad, se observan diferencias, que por lo general son debidas a que se consideran áreas diferentes, por ejemplo, en el presente trabajo la extracción de agua por bombeo para la Ciudad de México, en el área de balance se incluye sólo algunos de los pozos del sur, ya que se consideran solamente los que se ubican dentro del área de balance.

Para el subsistema acuífero Chalco, la entrada por flujo subterráneo fue de 149.59 mm<sup>3</sup>/año que equivalen a 4.74 m<sup>3</sup>/seg. La extracción o salida de agua por bombeo del acuífero fue de 178.8 Mm<sup>3</sup>/año que equivalen a 5.67 m<sup>3</sup>/seg. El cambio de almacenamiento que se obtuvo fue de -8.83 Mm<sup>3</sup>/año que equivalen a -0.28 m<sup>3</sup>/seg. Con lo anterior se obtuvo una entrada de agua al acuífero por drenado vertical de las arcillas que ascendió a 20.38 Mm<sup>3</sup>/año equivalente a 0.65 m<sup>3</sup>/seg.

## CAPITULO II

### ELABORACION DEL DICTAMEN TÉCNICO DEL POZO EN ESTUDIO

#### 1 Ubicación y dimensiones del predio.

El pozo Av. Universidad, el cual se va a tomar como referencia se encuentra ubicado sobre la vialidad de la cual toma su nombre, en el costado oriente, prácticamente en la parte media del Parque Viveros de Coyoacán y dentro del mismo, en los límites de la Delegación Coyoacán con la Delegación Álvaro Obregón.

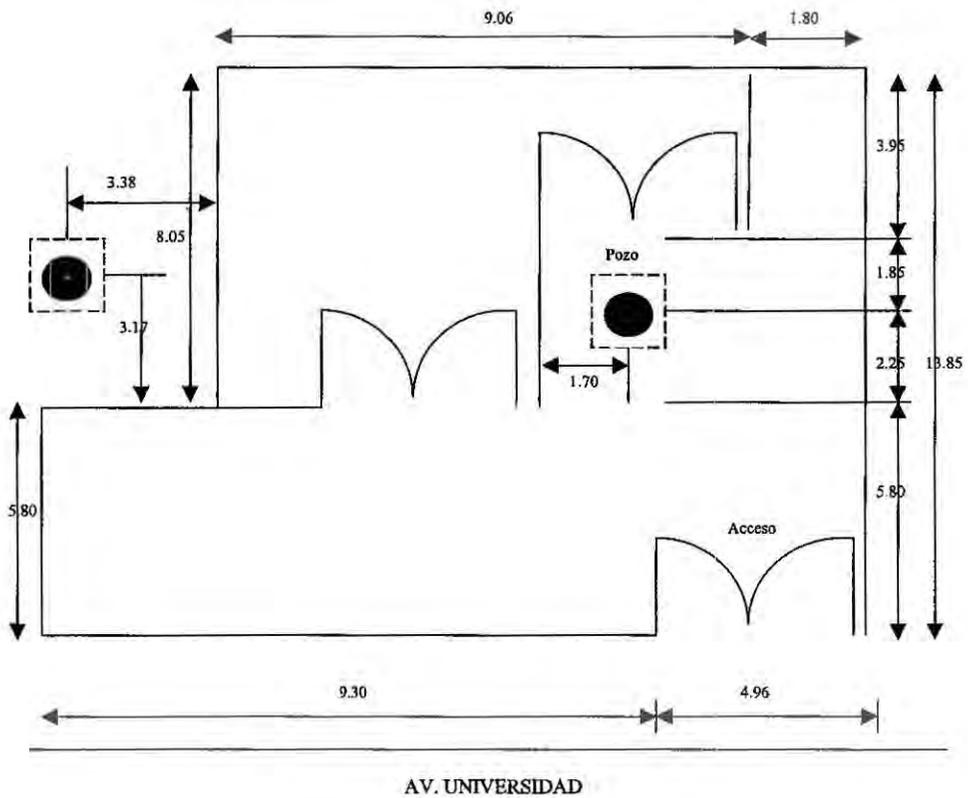
El predio presenta una forma poligonal, en donde dominan las formas rectangulares, presenta un fondo máximo de 13.85 m y un fondo de mínimo de 5.80 m; cuenta con aproximadamente 14.26 m de frente, mientras que en la parte trasera la longitud disminuye hasta aproximadamente 10.86 m, en total cuenta con una superficie aproximada de 170.13 m<sup>2</sup>, tal como se muestra en el levantamiento (Fig. 2).

El predio se encuentra limitado en su porción oeste por la Av. Universidad, vialidad de alta circulación y una de las principales arterias de la ciudad, cuenta con 6 carriles (tres en cada sentido) y un camellón de ancho constante de 2 m, los lados restantes limitan con el espacio libre del Parque Viveros de Coyoacán.

De manera particular en las inmediaciones del actual acceso al predio, se ubica una parada de autobuses urbanos (aproximadamente 10 m. al sur), además de localizarse una terminal de microbuses de servicio colectivo, en las afueras de la salida poniente de la Estación Viveros de la Línea 3 del Sistema de Transporte Colectivo Metropolitano ("Metro").

Con base a lo descrito y considerando las dimensiones que presenta el actual predio que contiene el aprovechamiento en estudio, las condiciones y espacios disponibles no son propicias para desarrollar la perforación de reposición en su interior, sin embargo considerando la amplitud de los espacios disponibles en el seno del Parque Viveros de Coyoacán, la alternativa viable es ubicar el nuevo aprovechamiento en esta zona.

Figura 2 Levantamiento del predio.



## **2 Problemática del aprovechamiento hidráulico.**

El pozo Av. Universidad, terminó de perforarse el día 8 de octubre de 1965, de tal forma que para el año 2002 contaba con 37 años, lo cual indica que el aprovechamiento en estudio había llegado a una edad avanzada y su vida útil programada (aproximadamente de 20 a 25 años), ya estaba superada.

Adicionalmente y de acuerdo con la revisión del expediente del pozo citado, éste a lo largo de su trayectoria, no había sido sometido a ninguna labor de rehabilitación, además de presentar un diseño constructivo de 18" (457 mm) a 12" (304.8 mm) a los 107.96 m de profundidad. (Gobierno del Distrito Federal, 2000)

Lo anterior explica de alguna forma, que en los últimos años registrara una disminución en el gasto de producción, conforme lo expuesto por el área de operación encargada del aprovechamiento por lo tanto es más conveniente, tanto técnica como económicamente, reponerlo que rehabilitarlo.

## **3 Características geohidrológicas.**

### **A).- Características litológicas generales.**

El pozo Av. Universidad se encuentra localizado en la parte inicial de la zona de transición, pegada a la zona volcánica, de la cual tiene una fuerte influencia, tal y como lo demuestran los cortes de los aprovechamientos aledaños: Alttilo Universidad, Arenal de San Ángel, Axotla, Colonia del Carmen y Romero de Terreros, los cuales reflejan condiciones de una depositación de rocas piroclásticas intercaladas con arcillas y arenas de granulometrías variadas, predominando los gruesos, lo cual indica la proximidad de la fuente aportadora del material.

#### 4 Comportamiento de los niveles piezométricos.

Conforme el registro y configuración del nivel estático de aguas subterráneas en la zona apoyada por la información de aprovechamiento que cuentan con un registro relativamente continuo, en el área de estudio se presento una evolución negativa moderada, en promedio alrededor de un metro al año, lo cual a la fecha ha significado el descenso del nivel estático a más de 14 metros.

Un registro de los niveles observados a lo largo del tiempo se muestra en la [Tabla 8](#).

**Tabla 8. Comportamiento de los niveles piezométricos de los pozos aledaños a la zona.**

FECHA DE MEDICION	POZOS			
	ALTILLO UNIVERSIDAD	ARENAL DE SAN ANGEL )	AXOTLA	COLONIA DEL CARMEN
1994				45.57
1995	51.88			
1996	52.84		58.93	
1997	66.47		58.02	
1998	66.47		60.79	54.31
1999	65.54		60.53	55.45
2000	67.15	61.02	61.02	55.79
2001	66.24	59.88	61.05	56.1
2002		59.34	61.83	56.72
Abatimiento Anual (m/año)	-2.05	0.56	-0.41	-1.01

Fuente: D. G. C. O. H., 2000.

### **5 Grado de explotación del área.**

Como se observa en las mediciones, la evolución es negativa a excepción del pozo Arenal de San Ángel, en donde los niveles no se estabilizan y más bien tienden a la recuperación. Como conclusión se define el área como ligeramente sobre explotada.

### **6 Calidad del agua.**

De los análisis físico-químico y bacteriológico contenidos en el expediente del pozo, se observaron que todos los parámetros analizados, se encuentran dentro de los límites permisibles contenidos en la Norma Oficial Mexicana NOM – 127-SSA1-1994, referente a la salud ambiental, agua para uso y consumo humano y límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización, por lo que se considera que el agua es potable y apta para consumo humano.

### **7 Parámetros hidráulicos del pozo.**

Los parámetros hidráulicos de los pozos Av. Universidad, Arenal de San Ángel, Colonia del Carmen y Portales, establecidos durante los aforos, cuando los pozos se perforan o rehabilitan, se muestra en la Tabla 8.

De la información concentrada en la Tabla 9 se puede establecer dos cosas, por un lado la pérdida de validez de los datos correspondientes al primer aforo del pozo Av. Universidad, principalmente por el tiempo que tiene de haberse registrado y comparados con la realidad de la zona de interés.

Tabla 9. Parámetros hidráulicos de los pozos.

Pozo	Nivel estático ( m )	Nivel dinámico ( m )	Caudal (lps)	Coefficiente especifico (lps/m)	Fecha de aforo
<b>AVENIDA</b>					
<b>UNIVERSIDAD</b>	31.11	37.00	80.00	12.60	1965
<b>ARENAL DE SAN ANGEL</b>	65.32	93.70	105.00	3.70	1996
<b>COLONIA DEL CARMEN</b>	55.47	85.12	101.00	3.41	1996
<b>PORTALES</b>	48.8	84.35	114.46	3.21	1998

Fuente: D. G. C. O. H., 2000

Donde:

N.E - Nivel Estático, m;

N.D - Nivel Dinámico, m;

Q - Gasto en litros por segundo, lps;

Qe - Coeficiente específico en litros por segundo entre metro, lps/m.

Por otra parte los datos correspondientes al pozo Portales, indican condiciones de confinamiento del acuífero en explotación, por ello se cuenta con datos de nivel estático relativamente tan someros, y el rendimiento específico más bajo.

Considerando lo anterior, en el pozo por reponer se deben esperar condiciones muy similares a las manifestadas por el pozo Arenal de San Ángel, principalmente por la cercanía que tiene por el aprovechamiento en estudio y por representar las condiciones de campo del área de interés. De tal forma, se infiere un gasto superior a los 100.00 litros por segundo, con un coeficiente específico superior a 3.5 litros por segundo por metro de abatimiento.

## **CAPITULO III**

### **ANTEPROYECTO CONSTRUCTIVO PROPUESTO PARA EL POZO**

#### **1 Sitio propuesto para la nueva perforación**

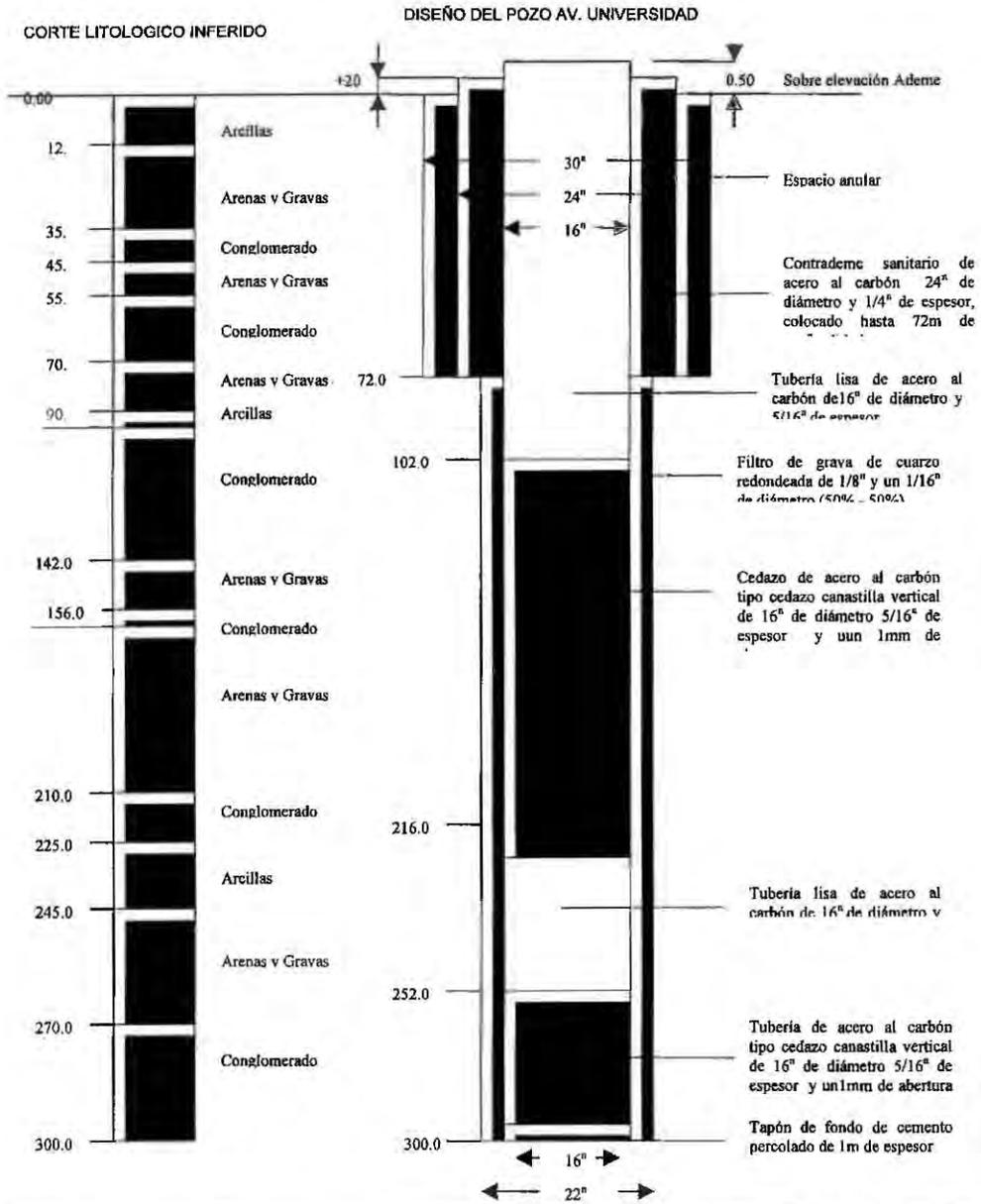
El predio del pozo Av. Universidad, no presenta espacio suficiente para contener el nuevo aprovechamiento dentro de sus instalaciones, principalmente en lo referente a la introducción e instalación del equipo de perforación dentro del predio, por lo cual se sugiere que el nuevo aprovechamiento se perforo por el lado sur-oriente del predio, en el interior del parque Viveros de Coyoacán.

#### **2 Corte litológico propuesto del pozo**

La consecuencia litológica propuesta se determinó con base a la correlación de los cortes de los pozos Av. Universidad, Arenal de San Ángel, Colonia del Carmen y Portales, la cual se describe en detalle a continuación:

De 0.00 a 12.00 m arcillas, de 12.00 a 35.00 m arenas y gravas, de 35.00 a 45.00 m conglomerados, de 45.00 a 55.00 m arenas y gravas, de 55.00 a 70.00 m conglomerados, de 70.00 a 90.00 m arenas y gravas, de 90.00 a 95 m arcillas lacustres, de 95.00 a 142.00 m conglomerados, de 142.00 a 156.00 m arenas y gravas, de 156.00 a 160.00 m conglomerados, de 160.00 a 210.00 m arenas y gravas, de 210.00 a 225.00 m conglomerados, de 225.00 a 245.00 m arcillas lacustres, de 245.00 a 270.00 m arenas y gravas y de 270.00 a 300.00 m conglomerados. (Fig. 2).

Figura 2.



### 3 Diseño del pozo

El diseño del pozo se realizó con base a la experiencia en la perforación de pozos de esta misma naturaleza, tomando en cuenta los pozos aledaños a la zona, pero en especial a la secuencia litológica inferida y tomando en cuenta los criterios establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-003-CNA-1996, referente a los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos, la cual engloba los siguientes aspectos:

**1) Profundidad:** se deberá perforar el nuevo aprovechamiento hasta los 300.00 m de profundidad.

**2) Contra-Ademe:** el contra ademe sanitario estará constituido con tubería lisa de acero al carbón de 24" (609.6 mm) de diámetro y 1/4" (6.35 mm) de espesor, la cual se colocara hasta los 72.00 m de profundidad.

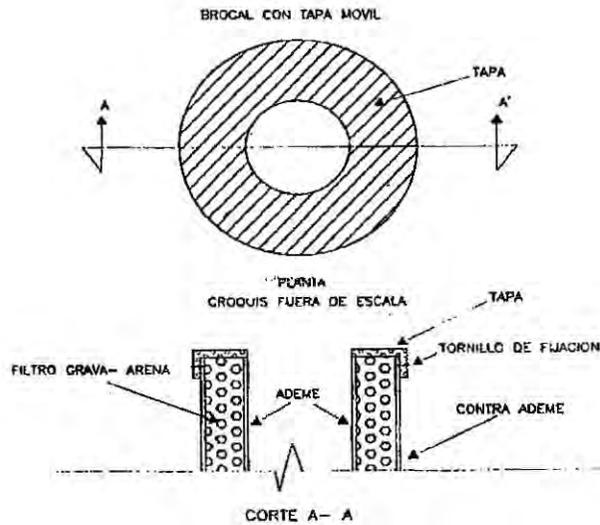
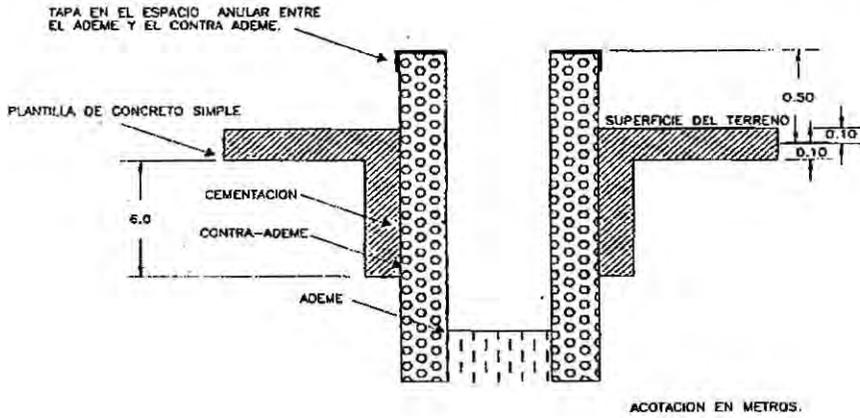
**3) Ademe:** el ademe estará constituido con tubería lisa y cedazo tipo canastilla de acero al carbón de 16" (406.4 mm) de diámetro, 5/16" (7.93 mm) de espesor a la profundidad de 300.00 m, de los cuales de + 0.5 a 102.0 m y de 216.0 a 252.0 m será lisa y cedazo tipo canastilla de 102.0 a 216.0 m y de 252.2 a 300.00 m de profundidad.

**4) Sección Ranurada:** de acuerdo a la presencia de arenas de granulometría fina, la sección ranurada corresponderá a cedazo tipo canastilla vertical de 16" (406.4 mm) de diámetro, 5/16" (7.93 mm) de espesor y 1mm en su abertura de sus ranuras.

**5) Filtro de Grava:** el filtro de grava deberá ser de cuarzo redondeado de 1/8" (3.18 mm) y 1/16"(1.58 mm) de diámetro, mezcladas en proporciones de 50% y 50% respectivamente.

**6) Tapón de fondo:** se colocará un tapón de fondo de cemento precolado y 1 m de espesor, colocado a partir de los 299.00 m hasta los 300.00 m de profundidad.

**FIGURA 6.- PROTECCION SANITARIA DEL POZO  
AVENIDA UNIVERSIDAD (165)  
(SEGUN NORMA NOM-003-CNA-1996)**



**DETALLE DE LA TAPA DEL ESPACIO ANULAR DEL FILTRO**

#### **4 Equipo de perforación a utilizar**

Por las características del terreno y tomando en cuenta que el pozo tendrá una profundidad de 300.00 m, se recomienda usar para realizar la perforación un equipo rotario tipo Gardner Deenver 2500 o similar, el cual deberá contener todos los aditamentos necesarios para llevar a buen termino la perforación.

#### **5 Perforación exploratoria y sus ampliaciones**

La perforación exploratoria deberá realizarse hasta los 300.00 m de profundidad con barrena de 12 ¼" (311 mm) de diámetro con inserto de carburo de tungsteno y una vez terminada dicha perforación, se correrá el registro eléctrico correspondiente, mediante el cual y con ayuda de las muestras de roca horadada obtenidas a cada dos metros y otras adicionales cuando se presente cambios en la formación litológica, se realizará el diseño definitivo del pozo.

Posteriormente se realizaran las ampliaciones con 17 ½" (444.5 mm), 22" (558.80 mm) y 30" (762 mm) de diámetro a la profundidad según proyecto constructivo.

#### **6 Verticalidad del pozo**

La perforación del nuevo pozo se deberá vigilar verificando que el peso de las herramientas ocupadas sea el adecuado para evitar desviaciones, además para confirmar que el pozo fue construido dentro de las normas de verticalidad, una vez que se haya terminado, se deberá correr el registro mismo de verticalidad.

## 7 Registro de televisión.

Se deberá llevar acabo una video-grabación al interior del pozo, para que se pueda ver que efectivamente el diseño del pozo se realizó de acuerdo al proyecto definitivo, además de ver el estado en el que se encuentre el pozo, después de su terminación como pueden ser: la verificación de que las uniones y orejas del ademe fueron soldadas debidamente, detectar que no haya colapsos en la tubería de ademe así como de que no se encuentre azolve en el interior del pozo entre otros.

Figura 5 Tapón de fondo.



## CAPITULO IV

### EQUIPOS DE PERFORACIÓN Y FUNCIONES DE LOS LODOS

Se han desarrollado varios métodos de perforación de pozos debido al rango de condiciones geológicas, desde rocas duras como el granito y la dolomía, hasta sedimentos no consolidados como las arenas y gravas aluviales.

Ciertos métodos de perforación son los predominantes en algunas áreas específicas ya que son más efectivos para penetrar en los acuíferos locales.

Los equipos más utilizados son el equipo de percusión y el equipo de sistema rotatorio, los cuales se describen a continuación.

#### **1 Equipo de sistema de percusión.**

El equipo de perforación de percusión consta esencialmente de un mástil o torre telescópica, compuesta de dos secciones fácilmente izables que descansan sobre la máquina al ser transportada; doble línea de elevación una para la operación de las herramientas de perforación o pesca y la otra para cuchareo; un sistema de balancín con biela pitman con accionamiento de cable y una fuente de poder.

La maquina se opera a través de controles localizados generalmente en la parte posterior derecha de la unidad y para su transporte rápido puede montarse sobre una estructura de camión o un tractocamión.

#### **Herramientas de perforación**

Al conjunto de herramientas para realizar los trabajos de perforación, rehabilitación o pesca se le denomina sarta y se compone de trepano o barrena,

barretón o barra maestra, tijeras y cable de acero. La unión de las herramientas que forman la sarta se realiza mediante piñón, caja y el empleo de llaves especiales con boca de sección cuadrada.

#### **Porta cable giratorio**

Es de sección cilíndrica con una perforación concéntrica de diámetro tal que permita el alojamiento de una bala o mandril, que sirve de unión a la línea o cable de perforación con la sarta, Tiene por objeto permitir que la sarta gire después de cada golpe.

#### **Barretón o barra maestra**

Tiene una doble función; proporciona el peso necesario a la sarta de herramienta y como guía, dada su notable longitud se coloca siempre después de las tijeras en los trabajos de perforación.

Tiene en su parte superior un piñón que se acopla a la caja de tijeras y en el inferior una caja para la unión con el trépano. Sus longitudes, diámetros y pesos varía de acuerdo con la sarta seleccionada y están en función de la capacidad del equipo.

#### **Trépano o Barrena**

Es la herramienta destinada a ejecutar la perforación, se considera la parte más importante de la sarta de herramientas y se compone de las siguientes partes: piñón, cuello, cuadrado par llaves, hombros, cuerpo, pasos de agua o canales de evacuación y filo cortante.

De acuerdo con los materiales por atravesar se emplean varios tipos de trépano y son los siguientes:

a) Trépano estándar, Regular o California:

Son las de uso más común ya que se emplean para cortar formaciones suaves o duras variando el tipo de afilado de acuerdo con las mismas. Recibe el nombre de California cuando su diámetro es mayor de 204 mm (8"); cuando es menor se le llama regular o estándar:

b) Trépano tipo cruz o Estrella:

Se usa para perforar formaciones fisuradas y duras o inclinadas que tienden a desviar las herramientas de la vertical.

c) Trépano corto:

La finalidad del trépano corto es la de iniciar la perforación, es más corto y de menor peso, lo que permite ser guiado con mayor facilidad.

### **Uniones de herramientas**

Las uniones de las herramientas se realizan mediante una rosca cónica (piñón) que ajusta en una rosca hembra (caja). Las cuerdas se fabrican de modo que se ajusten perfectamente sin dejar espacios libres.

### **Llaves de maniobras**

Son herramientas auxiliares para las uniones y conexiones de las distintas herramientas de perforación.

### **Cucharas**

Esta herramienta se utiliza para extraer el material triturado o azolve del fondo del pozo.

### **Bomba de arena**

La bomba de arena se usa para extraer cortes de arena y grava donde la cuchara no es capaz de levantar los materiales del fondo del pozo.

### **Plataforma de operación**

Su función principal es facilitar las operaciones superficiales de perforación tales como la conexión y desconexión de las herramientas, sin peligro de que éstas puedan caer dentro del agujero, movimiento del operador en los trabajos de entubado, colocación de grava, etc.

## **2 Equipo de sistema rotatorio.**

Una máquina de tipo rotatorio para la perforación de pozos profundos consta de las siguientes partes, así como un equipo complementario que se describe a continuación:

Torre o mástil de perforación, tubería de perforación, una mesa rotatoria y una plataforma donde se instalan malacates con tambores para trabajo y cuchareo, una bomba de lodos y una caja de transmisión.

La unidad deberá tener tomas de fuerza para transmitir la potencia del ó de los motores a la bomba de lodos, a los tambores, la mesa rotatoria y el sistema de alimentación de la presión descendente (Rull-don), pudiendo reemplazar éste por el

sistema de barras de peso (dril-collar), que a diferencia de Rull-don en el que se ejerce la presión en la parte superior de la sarta de perforación, los dril-collar van inmediatamente después de la barrena, originando con esto que no haya flameo de la sarta de perforación.

Figura 6. Izamiento de barrena de equipo rotatorio



### **Toma de fuerza**

Puede ser del tipo de flecha estriada dentro de una caja con baño de aceite, capaz de transmitir íntegra la potencia del motor a la perforadora por medio de una cadena de rodillos.

### **Bomba de lodos**

Las bombas son de tipo pistón, doble acción, llamada duplas, bombean lodo por los dos lados del pistón. Con carrera de desplazamiento positivo, de manufactura estándar en cilindro, camisas, válvulas, vástagos y pistones. Cuenta además con cámara de alivio, válvula de seguridad, medidor de presión de aceite y válvula mezcladora de lodos, la potencia se transmite a la bomba por medio de bandas "V" o cadena de rodillos.

### **Caja de transmisión**

La caja de transmisión es de acero, encerrada en baño de aceite, accionada por cadena de rodillos para transmitir potencia a la mesa rotatoria, tambores, sistema de presión descendente (Rull-don), bombas hidráulicas de aceite y todos los mecanismos.

### **Unidad de potencia**

Consta de uno o dos motores diesel, de fabricación estándar, provisto de cubiertas laterales, arranque eléctrico, generador, filtros de aire, filtros para aceite, gobernador de velocidad variable, mofle, tablero de instrumentos y embrague.

### **Tambores de trabajo**

La unidad está equipada con un tambor de doble trabajo, con dos malacates independientes montados en la misma flecha, la palanca de freno de la línea de perforación principal está equipada con un tornillo de ajuste de alimentación que permite mantener con precisión el peso correcto de la línea de perforación sobre el material.

### **Tambor de cuchareo**

Este se encuentra colocado encima del conjunto del malacate principal, montado sobre valeros pre-lubricados, la alimentación de fuerza se tomará de la flecha del malacate principal a través de una transmisión de cadena de rodillos, el embrague, el freno y la transmisión estarán protegidos de los elementos con placas metálicas.

### **Mesa rotatoria**

La función de la mesa rotatoria es transmitir el momento de torsión e impartir el movimiento giratorio al Kelly y a la tubería de perforación, la parte superior de ésta forma una porción del piso de la torre, construida totalmente cerrada, lubricada en baño de aceite con transmisión de varias velocidades; la mesa podrá deslizarse sobre dos guías, permitiendo retraerla, dejando espacio para colocar tubería de ademe, este movimiento se efectúa por medio de dos pistones hidráulicos.

### **Pull-down o mecanismo para ejercer presión descendente en la herramienta a perforar**

Este será del tipo para servicio manual y automático para ejercer presión descendente sobre la herramienta de perforación y poder lograr una penetración constante al atravesar cualquier tipo de formaciones; el dispositivo consiste en dos cadenas de rodillos de peso, asegurados al swivel.

### **Las trabarrenas o drill collars**

Está constituida por un tramo de pared gruesa, generalmente de sección circular y diámetros normales de 153 mm (6") y 204 mm (8"). Su finalidad es aplicar peso a la barrena; en sus extremos tiene juntas (Tool Joints) de caja y piñón, siendo las más

usuales de 4 1/2 o 6 5/8 pulgadas. Su número, longitud y peso, estarán en función de su capacidad del mástil.

Figura 7. Conexión del elevador al drill



### **Mástil**

Construido de acero tubular redondo, soldado eléctricamente, reforzado con tirantes cruzados para máxima resistencia, con una guía de canal para permitir al swivel y al kelly girar hacia la parte posterior. El mástil se levanta y baja por medio de cilindros hidráulicos equipados con topes de seguridad, para prevenir que ésta no caiga en caso de alguna falla.

### **Unión giratoria o swivel**

Es una caja cerrada con retenes para aceite y con un juego de baleros que trabajan en baño de aceite. Una de sus funciones es absorber el movimiento rotatorio de la flecha ó kelly y la tubería de perforación. Está equipada con una asa basculante por

medio de la cual es suspendida por el gancho giratorio de la polea viajera quedando sujetas al kelly y la tubería de perforación .

En su parte superior tiene el cuello de ganso en el cual se conecta la manguera de alta presión (lodos).

#### **Llave para apretar y desconectar tuberías**

Generalmente se encuentra instalada en la parte trasera de la estructura de plataforma y central e inferior del mástil, sobre un eslabón articulado, montada sobre un balero, con unión giratoria; permitiendo fácilmente apretar y desconectar las juntas de la tubería de perforación.

#### **Estructura**

Es de acero estructural pesado, soldado eléctricamente, con miembros cruzados y reforzados. El piso deberá estar cubierto con lámina de acero antiderrapante.

#### **Controles y tableros de instrumentos**

Localizados en la parte trasera izquierda de la estructura de la perforadora, con visibilidad para todas las operaciones de perforación; teniendo los controles y el tablero de instrumentos con tacómetro, manómetro para la presión del aceite, termómetro para la temperatura, botón de arranque, contador de horas para el motor.

Figura 8. Tablero de control



### **Plataforma**

Va embisagrada para montarse en cada una de las esquinas traseras de la estructura de la perforadora, con sección removible para comunicar a las dos plataformas y proporcionar al perforador y ayudante acceso para ejecutar su trabajo con seguridad.

### **Gatos estabilizadores**

La perforadora está equipada con cuatro gatos hidráulicos o mecánicos colocados al frente y en la parte posterior, siendo telescópicos y de fácil manejo por medio de una válvula hidráulica, sencilla, teniendo suficiente capacidad para levantar la perforadora.

### **Kelly o flecha de trasmisión**

Construida de acero de aleación, tratada térmicamente, de sección circular, cuadrada, hexagonal, etc., conectada en la parte superior de la unión giratoria o swivel y en la inferior a la tubería de perforación, a través de la mesa rotaria, que es la que transmite el movimiento de rotación a la sarta de perforación.

### **Manguera para swivel**

Construida de tres capas, reforzada con alambre y con conexiones en uno de sus extremos a la unión giratoria (swivel) y el otro al stand pipe..

### **Manguera de succión**

Reforzada con trama de alambre, equipada con niples en ambos extremos, colador y válvula de pie en uno de ellos, sirve para succionar el lodo de perforación.

### **Tubería de perforación:**

Se suministra en tramos de 6.10 m o 9.14 m con juntas (Tool Joints) en sus extremos de caja y piñón.

### **Cables**

Se tienen tres tipos de cables, para maniobras, cuchareo y para el kelly todo con la misma construcción y con pequeñas variantes en relación con el trabajo a que se les destinará.

## **Barrenas**

Su elección respecto a su tipo, estará en función de los materiales que se van a perforar, existen de varios tipos como las colas de pescado, discos alas y roles; las tres primeras se encuentran en desuso y sólo se emplean las de roles. Para formaciones suaves presentan dientes largos y esparcidos y para formaciones duras y altamente abrasivas dientes cortos con mínima separación.

Existen también las llamadas de botones con insertos de carburo de tungsteno. A continuación se expone el demás equipo complementario que deberá tener consigo una máquina perforadora.

Sustitutos, conexión para levantar tuberías perforación, pistola para mezclar lodos, llaves de cadena viscosímetro marsch, juego de herramientas para mantenimiento, juego de mordazas para romper conexiones, pescador, rimas, cucharas con válvulas plana, extinguidor de fuego, enfriador de agua y botiquín.

### **3 Funciones de los fluidos de perforación en los equipos rotatorios**

El fluido de perforación se puede definir como "una corriente de agua con un material plástico, con el fin de extraer, por lavado, el núcleo formado en la tubería de revestimiento y formar una pared impermeable".

En diversas prácticas y maniobras necesarias para la perforación de pozos, es necesario considerar la consistencia del terreno, que resulte estable y no se desmorone durante su perforación, sin embargo es muy frecuente que tal desmoronamiento impida la continuación de los trabajos y requieren un mayor tiempo de taladreo.

La utilización de los lodos en la perforación de pozos con el sistema rotatorio ha promovido estudios sobre diversas sustancias, dando como resultado el ahorro de tiempo y la simplificación de los problemas en estos trabajos.

La composición de los lodos de perforación es a base de arcillas y agua. Dada la naturaleza de las arcillas, los lodos que se forman no tienen las propiedades adecuadas para la perforación, por lo que se hace necesario agregar otros materiales.

Fue en la década 1920-1930 cuando se descubrió y dejó demostrado que el óxido de hierro y el sulfato de bario podían emplearse para aumentar la densidad del lodo, en forma mucho más eficiente que con simple arcilla lo cual dio origen a la industria de lodos de perforación.

Químicamente se compone en su mayor parte de silicatos de aluminio hidratado, que varían en porcentaje de sílice, alumina y agua.

Las arcillas se clasifican en dos grupos: el de las caolinitas, y el de las montmorillonitas.

De los primeros, el caolín es la arcilla más común, a sus partículas se les denomina *suspensoides* o coloide hidrófobas por su poca afinidad con el agua, las montmorillonitas son llamados *emulsoides* o coloide hidrófilos, y al contrario de los anteriores tienen gran afinidad con el agua, la arcilla más representativa de este grupo es la bentonita, con el empleo de ésta como principal agente de suspensión.

En la actualidad la bentonita constituye el agente más económico y práctico para fabricar estos fluidos.

La bentonita es una arcilla sódica natural, constituida principalmente por montmorillonita y Beydellyta, y que tiene la particularidad de absorber grandes

cantidades de agua hasta formar un gel que a su tiempo se torna en gelatina, con una capacidad de hinchamiento del orden de 8.6 veces el volumen de sólidos disueltos.

El fenómeno electroquímico molecular es muy sensible a la acción de agentes extraños que alteran su pH , cualidad ésta, que se aprovecha para variar sus diversos parámetros de densidad, viscosidad, capacidad de floculación etc.

En la práctica de perforación de pozos para alumbrar aguas subterráneas, se tiene como regla empírica iniciar los trabajos con una viscosidad de 45 segundos en cono Marsh Funnel.

La función primaria del fluido de perforación es sacar del agujero las cortaduras producidas por la broca.

Una segunda función importante es impedir que las aguas del acuífero entren al pozo.

Otra es impermeabilizar el terreno.

El término "fluido de perforación" incluye tanto gases como líquidos, además de líquidos con sólidos suspendidos.

Así, si la fase es un gas se clasifica como "fluido de perforación gaseoso". Si la fase continua es agua se le llama "fluido de perforación acuoso" (que usualmente llamamos lodo de perforación). Si la base continua es un aceite se llama "fluido de perforación oleoso".

Un fluido de base gas puede ser:

Aire seco

Aire con gotas de agua en forma de rocío

Burbujas rodeadas de agua que contengan un agente espumante normal

Burbujas rodeadas de agua que contengan un espumante con polímeros y/o bentonita y que produzcan una espuma espesa.

Un fluido base agua puede ser:

**Salas** surfactantes.

Polímeros orgánicos y / o bentonita en suspensión coloidal.

Gotas de aceite emulsificado y diversos sólidos no solubles suspendidos.

Lodos de polímeros, en lo que el polímero mismo forma la base coloidal del lodo de perforación.

Los lodos de inhibición retardan o inhiben entre el lodo y la formación perforada.

A continuación se mencionan algunas de las funciones que realizan los fluidos de perforación:

a) Eliminar los recortes del frente de la barrena, la eliminación ineficaz de recortes puede reducir la tasa de penetración de la barrena.

b) Transportar los recortes a la superficie, los tres factores que influyen el transporte eficiente son:

-Densidad del fluido de perforación.

-Velocidad del fluido de perforación.

-Reología (características del fluido) del fluido de perforación.

c) Sostener los recortes cuando cesa la circulación.

- d) Permitir que los recortes se depositen ya en la superficie.
- e) Enfriar la barrena.
- f) Lubricar la barrena y la tubería de perforación.
- g) Estabilizar las formaciones.(ademe)
- h) Controlar la presión en el subsuelo.

Ningún fluido de perforación puede satisfacer todas las funciones perfectamente. Por lo general, se mezclan un fluido específico y un sistema de aditivos para crear las características óptimas esenciales a las condiciones del pozo.

### **Selección de un fluido de perforación para pozos de agua**

Debido a los numerosos factores interrelacionados que afectan los resultados de una operación de perforación, el costo del fluido sólo se puede evaluar en términos del costo de perforación total y no en el precio del lodo y los aditivos.

Se debe de tomar en cuenta:

El objetivo principal del programa de perforación

La naturaleza de la roca a perforar

La localización

La capacidad y limitaciones del equipo de perforación, y,

Capacitación y experiencia del personal.

#### **4 Propiedades de los fluidos de perforación.**

Aunque la mayoría de los sistemas de fluidos de perforación utilizados en los pozos de agua son relativamente simples, se debe tener conocimiento de las propiedades del fluido de perforación que se enumeran a continuación:

- Viscosidad o espesor
- Peso o densidad.
- Enjarre de filtrado o filtración de agua perdida
- Contenido de sólidos.
- Calidad y tipo de composición del agua.

#### **5 Problemas que presentan durante la perforación.**

Los problemas a los que se puede enfrentar un perforador pueden dividirse en tres categorías a pesar de que en la mayoría de los casos serán interactivos.

- Problemas de perforación.
- Problemas del agujero.
- Problemas del lodo.

Bajo el encabezado de problemas de perforación podemos mencionar los siguientes:

- Pérdida de circulación.
- Tubería atorada.
- Terreno flojo y no firme o con derrumbes.
- Limpieza inadecuada del agujero.
- Tasas de penetración bajas.

Los problemas de perforación más comunes pueden incluir los que a continuación se enuncian:

- Presión de formación anormal.
- Caudales afluentes de agua.-Problemas con arcillas / lutitas.

Los problemas de lodo pueden incluir:

- El sistema de circulación
- .-Mezcla del lodo
- .-Control de sólidos.
- Asentamiento de recortes
- .-Contaminación.

Recomendación: se aconseja que siempre que sea posible, la perforación en materiales granulares no cementados, se deberá practicar con maquinas rotatorias, ya que la economía que representa la perforación con maquinas de percusión es sólo y en gran medida aparente.

Así:

En formaciones suaves de grano fino, perforadoras rotatorias.

En formaciones de dureza y granulometría media, perforadora rotatoria.

En formaciones muy duras y de granos muy gruesos, perforación con maquinas de percusión.

## CAPITULO V

### ETAPA EXPLORATORIA DEL POZO EN ESTUDIO

Debido a la heterogeneidad del subsuelo existente, aun cuando se disponga de estudios previos, de exploraciones indirectas o de datos acerca de pozos circunvecinos, como ya se dijo anteriormente la cual es la primera etapa que se debe realizar, las condiciones hidrogeológicas existentes en un sitio sólo pueden conocerse con detalle a través de una exploración directa. Por ello cualquiera que sea su objetivo, todo pozo tiene en principio un carácter exploratorio.

Por medio de las exploraciones directas o pozos exploratorios, se obtienen datos hidrogeológicos en un sitio dado: estratigrafía y litología, localización y características de acuíferos, niveles y calidad del agua subterránea entre otros.

Los pozos son cavidades abiertas en el terreno con objeto de extraer agua del subsuelo; constan de la parte superior o boca, los costados o paredes y la parte inferior o caldera. Su sección suele ser circular y sus dimensiones principales son; profundidad, diámetro y la altura de la pared permeable.

Atendiendo a la profundidad en que se encuentre el nivel del agua los pozos pueden clasificarse en; superficiales o llanos, profundos y artesianos. Según la profundidad a que los pozos penetran en la capa permeable, se clasifican en; pozos completos e incompletos y de acuerdo con la forma de construcción los pozos pueden ser ordinarios y tubulares o entubados.

Para nuestra investigación nos enfocaremos a los pozos profundos con construcción tubulares.

## **1 Perforación.**

Se entenderá por perforación de pozo profundo, el conjunto de trabajos y operaciones que se realizarán para horadar el terreno natural formando un agujero mediante máquina y herramientas a cualquier profundidad, con fines de localización o explotación de aguas subterráneas.

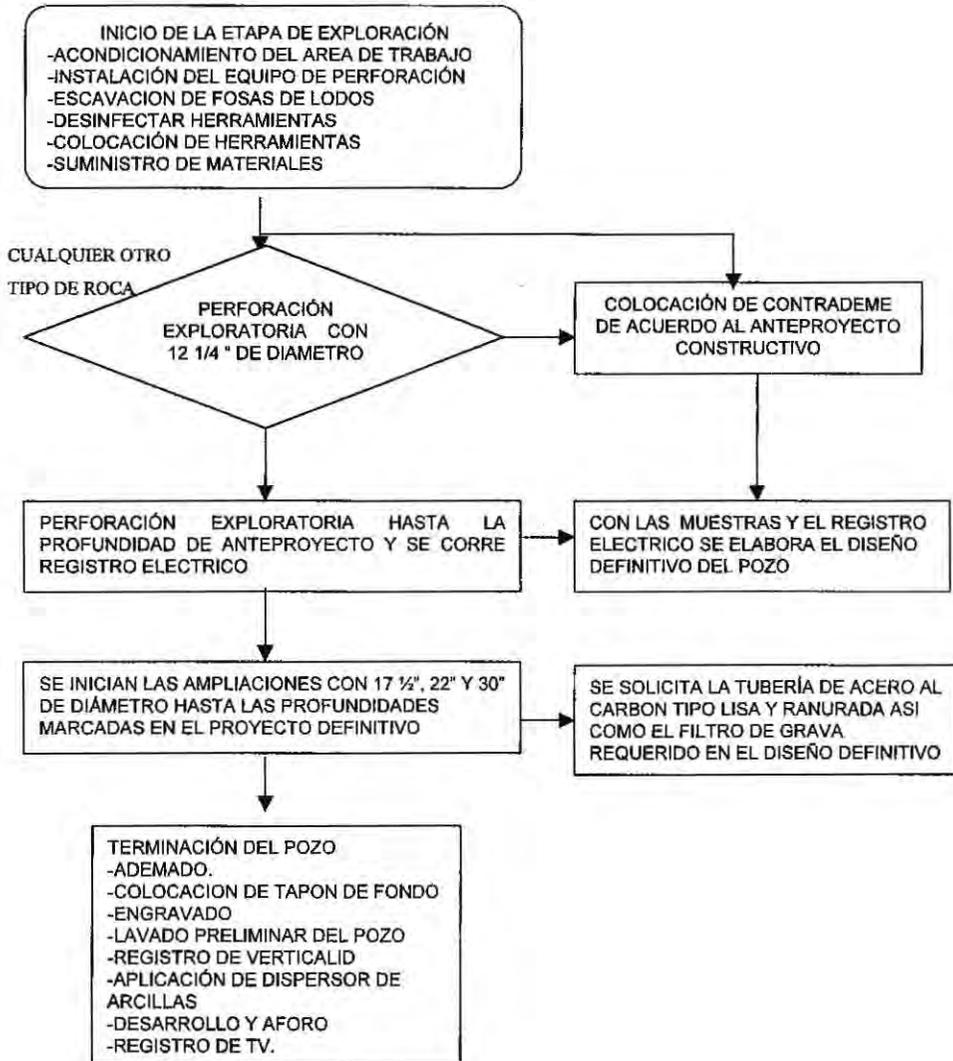
El tamaño de los equipos de perforación depende principalmente de la profundidad a horadar, es recomendable utilizar una perforadora Gardner-Denver 2000 o su equivalente en otras marcas para pozos menores de 275.00 m de profundidad, máquinas Gardner-Denver 2500 o similares para pozos de 275.00-500.00 m de profundidad y para pozos de 500.00-800.00 m de profundidad, se deberán utilizar equipos equiparables al Gardner-Denver 3000. (Departamento del Distrito Federal, 1987).

La razón de delimitar las profundidades para distintos modelos de equipo, es que estos tienen sus especificaciones en cuanto al peso que soporta tanto la torre, como la plataforma y el sistema de aparejo, así como la potencia de los motores y bombas para el desplazamiento del lodo, así como los equipos complementarios como son: sarta de perforación completa, barrenas varias, soldadoras, estabilizadores, etc. y todo lo necesario para que una vez iniciados los trabajos no se tenga interrupción de los mismos por la falta de equipos y herramientas.

## **2 Descripción detallada del proceso de construcción del pozo.**

En el diagrama de flujo que a continuación se presenta, se indica grosso modo la metodología a seguir para el diseño y construcción de un pozo para la extracción de agua

Figura 9. Diagrama de flujo



### 3 Perforación exploratoria.

Para la perforación exploratoria del pozo Av. Universidad a la profundidad de 300.00 m se utilizó una máquina Gardner-Denver 2500 o similares ya que esta se utiliza para pozos de 275.00-500.00 m la cual se encuentra en el rango de los 300.00 m que se va a perforar dicho pozo.

La perforación exploratoria se realizó hasta los 300.00 m de profundidad, en diámetro de 12 ¼"(311 mm). Durante esta etapa de la perforación se recuperaron las muestras de los materiales atravesados a cada dos metros de profundidad.

Es necesario para la colecta de la muestra, tomar en cuenta el tiempo de desplazamiento de la muestra hacia la superficie de acuerdo a la velocidad que se imprima en ese momento en la bomba de lodos.

Con las muestras de canal recolectadas se elaboró la columna litológica y auxiliados conjuntamente con el registro eléctrico y los reportes diarios de perforación se procedió a realizar el diseño definitivo del pozo en estudio.

En este caso las ampliaciones se realizaron de acuerdo a lo estipulado en el anteproyecto constructivo, y debido a que se tenían problemas de inestabilidad en la parte superior del terreno (caídos) y pérdida de circulación de lodos, se procedió a las ampliaciones de 17 ½"(444.5 mm), 22"(558.80 mm) y 30"(762 mm) de diámetro, para la colocación del contrademe sanitario y su cementación a la profundidad de 72.00 m y por último se realizaron las ampliaciones de 72.00 m a 300.00 m en 17 ½"(444.5 mm) y 22"(558.80 mm) de diámetro para la colocación del ademe.

#### 4 Clasificación de muestras.

La clasificación de los materiales perforados se realizó conforme a la tabla siguiente, atendiendo a la dureza de las formaciones y a la dificultad que normalmente se presenta para atravesarlas y extraerlas.

Tabla 10. **Clasificación de suelos y rocas para formular estimaciones de trabajos de perforación.**

MATERIAL TIPO I	MATERIAL TIPO II	MATERIAL TIPO III
Arcillas	Areniscas	Aluviones gruesos sueltos
Arenas	Conglomerados	Aglomerados volcánicos
Clásticos finos	Lutitas y pizarras	Rocas ígneas intrusivas
Tobas	Calizas y dolomitas	Volcánicas no alteradas
Escorias volcánicas	Rocas ígneas	Gneiss
Piroclásticos finos	Metamórficas alteradas	Esquitos sanos

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 1994.

Tabla 11. **Columna litológica del pozo Av. Universidad.**

PROFUNDIDAD	CLASIFICACION DE SUELOS Y ROCAS
0.00 – 8.00 m	Gravas
8.00 – 22.00 m	Limos y arcillas con arenas
22.00 – 72.00 m	Gravas
72.00 – 83.00 m	Arena fina
83.00 – 92.00 m	Arena gruesa
92.00 – 117.00 m	Gravas con arenas
117.00 – 180.00 m	Conglomerados
180.00 – 205.00 m	Andesitas
205.00 – 233.00 m	Conglomerados
233.00 – 240.00 m	Arenas medias y gruesas
240.00 – 265.00 m	Conglomerados
265.00 – 270.00 m	Arenas medias
270.00 – 275.00 m	Conglomerados
275.00 – 280.00 m	Arenas medias
280.00 – 300.00 m	Andesitas

## **5 Análisis granulométrico.**

El análisis granulométrico tiene por objetivo conocer la distribución del tamaño de los granos, para poder seleccionar la abertura del cedazo y diseñar las características del filtro de grava.

El equipo necesario para realizarlo consiste en un horno secador, un juego de mallas y una balanza de precisión. Las mallas están colocadas dentro de un cilindro de acero inoxidable de 203 mm (8") de diámetro. Los tamices utilizados para tal fin constan de cinco a ocho mallas, la abertura de la malla se expresa en milímetros o por el número de hilos que tiene por pulgada.

## **6 Registro eléctrico.**

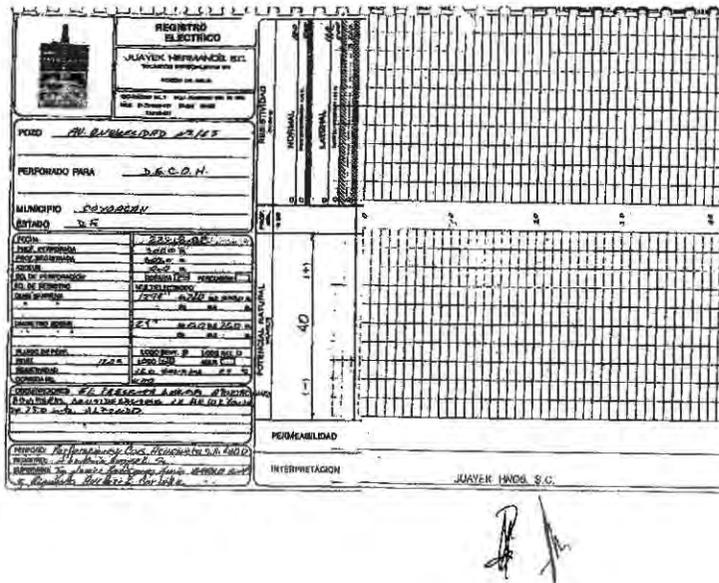
Sé entenderá por registro eléctrico, el conjunto de operaciones que se realizarán para medir dentro del agujero previamente perforado, los valores de potencial natural y resistividad de las formaciones cruzadas, que serán medidas, registradas o interpretadas.

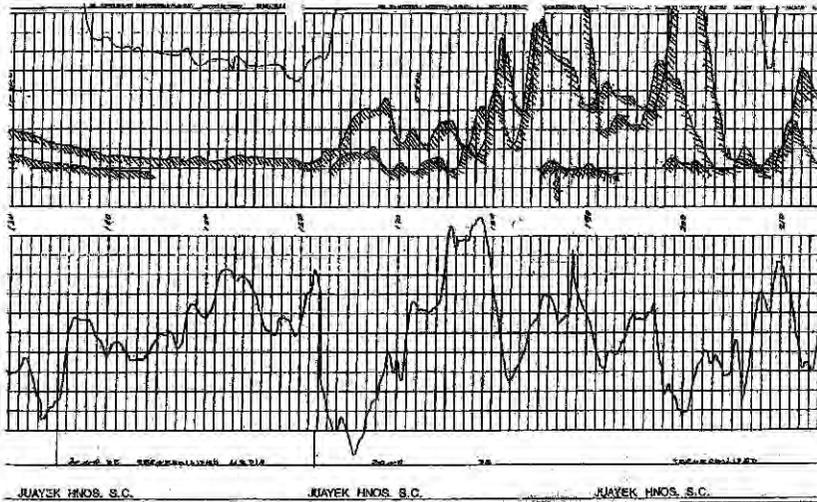
Después que se llegó a la profundidad de los 300.00 m del pozo en estudio y en agujero descubierto, se corrió el registro eléctrico el cual marco con claridad las curvas de potencial natural y resistividad normal e inversa, de acuerdo con las características siguientes:

Se contó con tres pistas; la pista uno donde se desarrollo la curva del potencial natural (sp), la segunda pista donde se desarrollo la curva normal corta, la amplificada y la normal larga y finalmente la tercera pista donde se desarrolla la curva inversa.

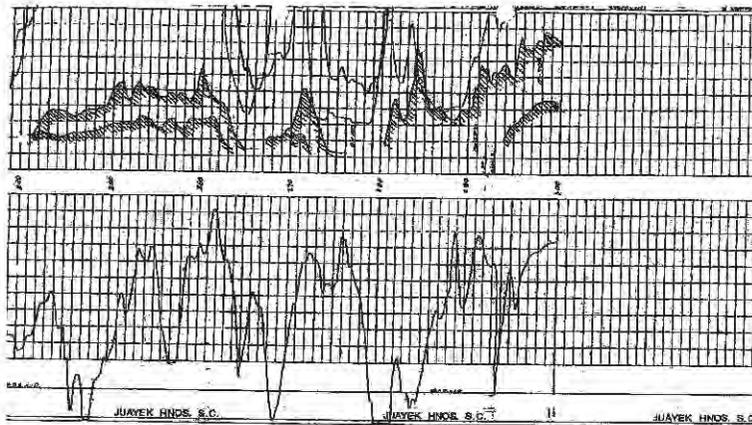
Con los datos aportados por medio del registro eléctrico y las muestras obtenidas durante la perforación exploratoria ya analizadas se realizara el nuevo diseño constructivo del pozo tal como se muestra a continuación.

Figura 10. Registro eléctrico del pozo Av. Universidad





Rk



Rk

## **CAPITULO VI**

### **ELABORACIÓN DEL DISEÑO DEFINITIVO DEL POZO**

Se entiende como "Diseño de Pozos" a los procedimientos encaminados a determinar las dimensiones adecuadas de su estructura física y a la correcta elección de los materiales factibles a emplear durante su construcción y terminado del pozo.

Dichos parámetros se encuentran limitados de acuerdo a las características geohidrológicas de la ubicación del aprovechamiento, por lo que se recomienda conocer algunas propiedades hidráulicas del acuífero como:

Información Estratigráfica de las capas de sedimentos y rocas atravesadas durante su perforación.

Valores de transmisividad y coeficiente de almacenamiento del acuífero.

Condiciones de balance hidrológico.

Análisis granulométrico de materiales no consolidados, así como de la identificación de los minerales de las rocas.

#### **1 Factores de diseño.**

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.

## **2 Profundidad del pozo.**

La profundidad de un pozo se selecciono de acuerdo con la estratigrafía de la zona, obtenida en el sondeo exploratorio y además de la columna establecida en pozos cercanos de donde se determinó que la profundidad del pozo en estudio fuera de 300 m.

También la profundidad total del pozo se rige fundamentalmente por los siguientes factores:

Del espesor y niveles relativos del acuífero o acuíferos que se vayan a explotar, puesto que el pozo se llevará a una profundidad que garantice un gasto específico alto, y el mayor abatimiento disponible, que permita incrementar la producción razonablemente.

De la profundidad a que se encuentra la cima del acuífero más profundo por explotar, cuando existan varios.

De la calidad del agua, factor que en ocasiones limita la profundidad y otras la propicia. Así mismo, del caudal deseado, si técnicamente se pronostica su obtención racional.

## **3 Diámetro de la tubería de ademe.**

Para elegir correctamente el diámetro del ademe, se deben satisfacer dos necesidades principales:

Que exista un espacio suficiente para el alojamiento de la bomba, además de un espacio libre que permita su instalación y mantenimiento.

El diámetro del ademe debe presentar un espacio libre que garantice la buena eficiencia hidráulica del aprovechamiento en operación.

El diámetro se determina de acuerdo al tamaño de la bomba por utilizar, que estará en función del gasto y potencia requerida.

De forma general, se recomienda que el diámetro del tubo del ademe sea dos pulgadas (51 mm) mayor que el diámetro nominal de la bomba requerida y en casos extremos cuando menos una pulgada (25 mm).

A continuación damos una tabla de ademe recomendado según el gasto que deberá entregar la bomba por instalar.

Tabla 12. Ademe recomendado según el gasto en litros por segundo.

Gasto en litros por segundo	Ademe recomendado
Menos de 6 lts/seg	6" Diámetro interior (150 mm)
De 5 a 12 lts/seg	6 a 8" Diámetro interior (150 a 204 mm)
De 10 a 25 lts/seg	8 a 10" Diámetro interior (204 a 254 mm)
De 20 a 40 lts/seg	10 a 12" Diámetro interior (254 a 304 mm)
De 40 a 80 lts/seg	12 a 14" Diámetro exterior (304 a 350 mm)
<b>De 80 a 120 lts/seg</b>	<b>14 a 16" Diámetro exterior (350 a 400 mm)</b>
De 120 a 200 lts/seg	16 a 18" Diámetro exterior (400 a 450 mm)
De 200 o más lts/seg	18 a más Diámetro exterior (500 mm o más)

Fuente: División de Educación Continua, 1987.

#### 4 Diámetro de la cámara de bombeo.

Queda definida fundamentalmente por el gasto que se va a explotar, ya que de éste depende el diámetro de los tazones de la bomba. Generalmente al ademe ciego que formará la cámara de bombeo, se le asigna un diámetro mínimo de 102 mm (4"), mayor que el diámetro de los tazones de la bomba.

Respecto al diámetro de los tazones, en términos generales, es igual, en pulgadas, a la raíz cuadrada del gasto máximo expresado en litros por segundo, más 1".

#### Ejemplo

Se espera bombear un gasto de 104 litros por segundo, por lo que se desea fijar las características generales del pozo.

#### Solución

Diámetro de tazones:  $104 + 1 = 12"$ (305 mm)

Diámetro del ademe:  $13" + 4" = 16"$ (406 mm)

$16" + (3" \times 2 \text{ espacio anular para el filtro de grava}) = 22"$ (558 mm), en el tramo que alojará a la cámara de bombeo.

#### 5 Espesor del ademe.

El espesor del ademe juega un papel importante en el diseño de un pozo, ya que una de sus funciones principales es la de evitar el colapso, que perjudican severamente la estructura de un pozo.

Dicho espesor depende de las condiciones del terreno, en zonas problemáticas, principalmente en sedimentos no consolidados, cuyas circunstancias favorecen a las zonas de colapso, se requiere identificar los estratos problemáticos e incrementar el espesor del tubo en los mismos.

En general todo el ademe de un pozo se deben considerar esencialmente dos tipos de fenómenos que actuaran contra ella:



A continuación damos una tabla del espesor de la pared recomendado para tubería de ademe para varios diámetros.

Tabla 13. Espesor recomendado para tubería de ademe.

Diámetro de tubería	Espesor de pared
6"(150 mm)	De 3/16(4.76 mm) a 1/4"(6.35 mm)
8"(204 mm)	De 3/16(4.76 mm) a 1/4"(6.35 mm)
10"(254 mm)	De 1/4(6.35 mm) a 5/16"(7.93 mm)
12"(304 mm)	De 1/4(6.35 mm) a 5/16"(7.93 mm)
14"(355 mm)	De 1/4(6.35 mm) a 5/16"(7.93 mm)
<b>16"(405 mm)</b>	<b>De 5/16(7.93 mm) a 3/8"(9.52 mm)</b>

Fuente: División de Educación Continua, 1987.

De acuerdo a la Tabla 13 el ademe estará constituido con tubería lisa y cedazo tipo canastilla de acero al carbón de 16" (405 mm) de diámetro y 5/16" (7.93 mm) de espesor.

Figura 11. Verificando verticalidad y soldando tubería lisa para recibir el siguiente tramo



Figura 12. Colocación de tubería ranurada tipo canastilla.



## 6 Sección de admisión.

La sección de admisión corresponde a la parte inferior de la estructura del pozo, en donde se realiza la introducción del agua de acuífero hacia el interior del tubo del ademe.

El diseño de la zona de succión o de admisión, depende de varios factores que deben tomarse en cuenta y que se muestran a continuación.

A).- Apertura de la rejilla de la ranura.

Depende directamente de la curva granulométrica de las formaciones acuíferas y de la calidad del agua, así como de la granulometría de la grava.

De acuerdo a la presencia de arenas de granulometría fina que se encontraron durante el análisis granulométrico, se determinó que la sección ranurada corresponde a una tubería de acero al carbón tipo cedazo canastilla vertical de 16" (406 mm) de diámetro, 5/16" (7.93 mm) de espesor y 1mm en su abertura en sus ranuras.

Figura 13. Vista a detalle de las ranuras de la tubería introduciendo el calibrador

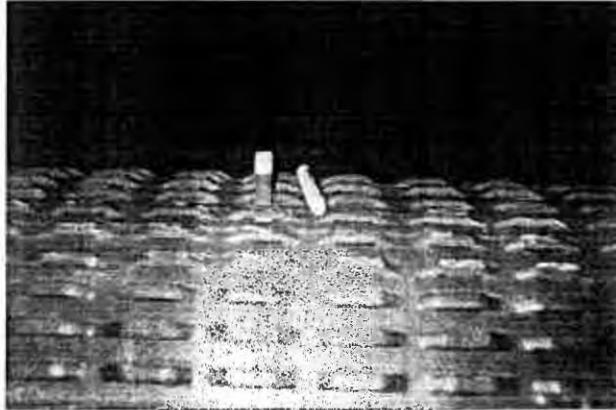


Figura 14. Comprobación de abertura de rejilla



### **B).- Tipos de rejilla.**

La elección de estos materiales se lleva a cabo tomando en cuenta también lo referente a la durabilidad y resistencia, así como las características del acuífero en donde se instalará la tubería, ambiente químico, profundidad del pozo, costo, durabilidad y sobre todo la resistencia a los esfuerzos dependiendo del tipo de rejilla a utilizar.

Los tipos de rejillas más comunes se enuncian a continuación:

- a).- Rejilla Johnson de acero inoxidable
- b).- Rejilla tipo persiana
- c).- Rejilla tipo canastilla
- d).- Rejilla tipo ranurada
- e).- Rejilla de P. V. C.

### **7 Diseño del Filtro de grava.**

Mediante la correcta elección de diseño e instalación de filtro de grava en la zona que rodea inmediatamente el tubo del ademe, se obtiene una mayor permeabilidad y una mejor eficiencia hidráulica del pozo, así como una buena estabilización de los materiales del acuífero.

La función principal de filtro es la de impedir el paso de partículas (finos), lográndose de esta manera un mejor funcionamiento del pozo.

La nomenclatura utilizada de los métodos de diseño de filtro, corresponde principalmente al tamaño de los granos y el porcentaje del peso de la muestra, tanto del acuífero o material de azolve, como del filtro. En el análisis granulométrico efectuado se encontró la presencia de arena de granulometría fina por lo anterior y en base al

anteproyecto constructivo del pozo en estudio se determinó que el filtro debe ser de cuarzo redondeado de 1/8"(3.17 mm) y 1/16"(1.58 mm) de diámetro respectivamente.

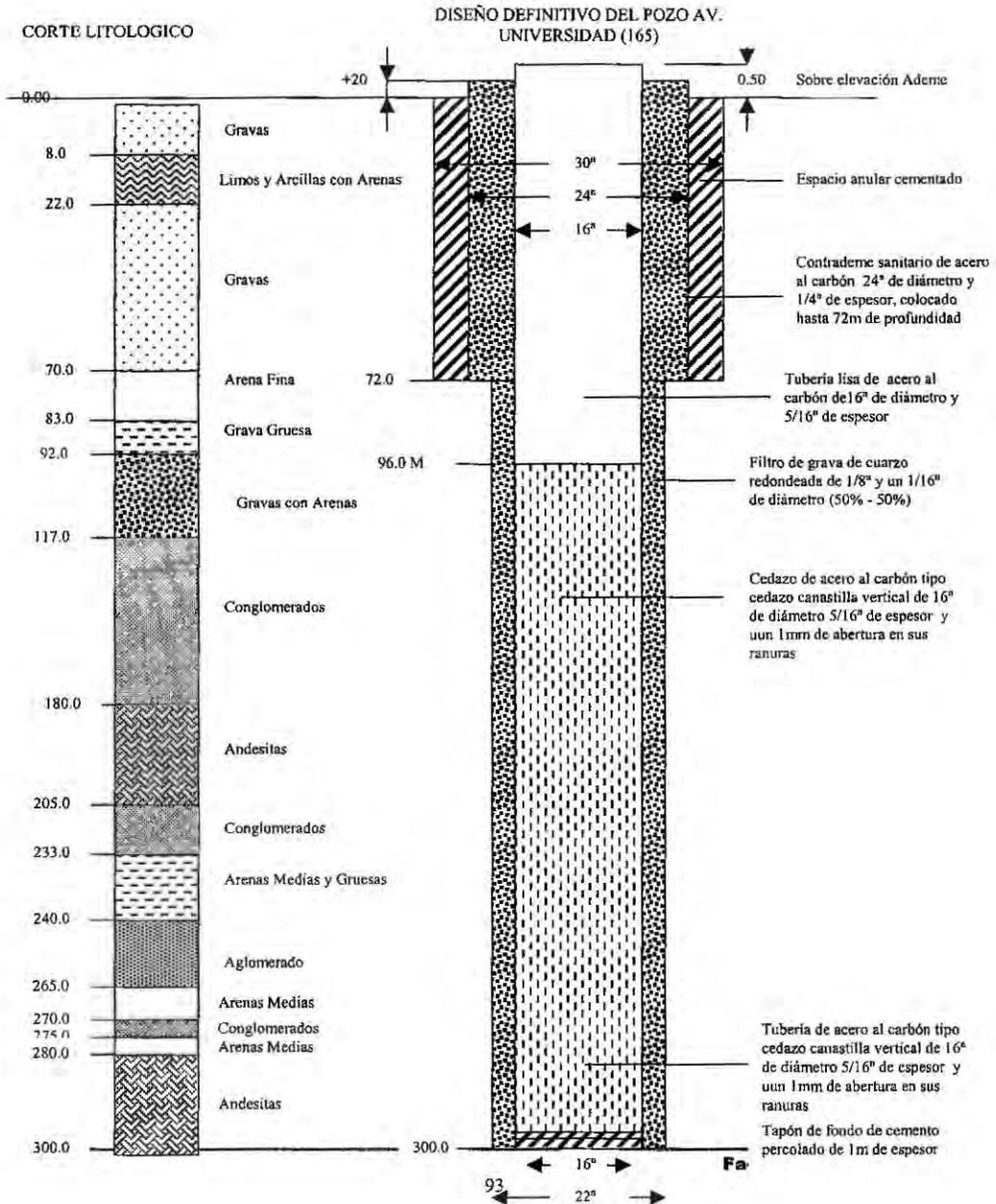
Figura 15. Material de grava de cuarzo para filtro en obra



## 8 Diseño definitivo del pozo en estudio.

Con los datos de la información recavada anteriormente, se realizó el diseño definitivo del pozo tal como se muestra en la [figura](#)

Figura 16. Diseño definitivo del pozo Av. Universidad.



## CAPITULO VII

### CONSTRUCCIÓN Y DESARROLLO DEL POZO

Una vez concluidas las etapas de perforación exploratoria y de ampliación, de acuerdo al diseño del pozo ya elaborado, se procede a la terminación y desarrollo del pozo.

Figura 17. Suministro de tubería



#### 1 TERMINACIÓN.

La terminación del pozo debe iniciarse lo más pronto posible después de concluir las ampliaciones y rimados, ya que mientras más tiempo transcurra, más difícil y menos efectiva es la reparación.

Figura 18. Conexión de tubería lisa con ranurada



## 2 ADEMADO.

Una vez concluidos los trabajos de perforación se hace circular agua limpia a través del pozo, con el objeto de extraer el azolve acumulado. Seguidamente, con base en el diseño del pozo ya elaborado, se hace una relación de la tubería lisa y ranurada que se va a instalar, de preferencia numerando los tramos en el orden que van a introducirse.

Cada tramo debe alinearse, nivelarse y colocarse a tope con sus biseles para posteriormente unir los tramos con soldadura de doble cordón al arco eléctrico, tipo E-7018 o equivalente, después de unidos este tramo con el superior, y al retirar la barra, se deberá calentar la base de la "oreja" antes de volverla a su posición original y cubrir con soldadura el espacio que dejó el corte.

Una vez ya concluida su colocación, la tubería se gira y se deja tensada con el propósito de asegurar su verticalidad del entubado. A continuación, se vuelve a introducir la sarta de perforación para reanudar la circulación del fluido de perforación e iniciar la colocación del filtró de grava.

Figura 19. Soldando tubería lisa



Figura 20. Detalle de soldadura de tubería con doble cordón.



### 3 COLOCACIÓN DEL TAPÓN DE FONDO

Para evitar los arenamientos originados por la turbulencia del bombeo por el extremo inferior del ademe y forzar la entrada de finos por las ranuras del cedazo durante el desarrollo se coloca en la parte inferior de ademe el tapón de fondo, se deposita una lechada de concreto precolado de un metro de longitud de acuerdo a proyecto.

### 4 ENGRAVADO

Terminada la colocación correcta del ademe se procedió a colocar el filtro de grava. Esto consiste en vaciar la grava, por el espacio anular comprendido entre el contrademe, el ademe y las paredes de la perforación, en forma lenta para evitar que se formen vacíos (se puentee), así mismo se hace circular el fluido de perforación de baja viscosidad.

Figura 21. Preparación de la mezcla.



## 5 LAVADO PRELIMINAR DEL POZO

Después del engravado se realizó la limpieza del pozo (lavado preliminar del pozo), esto se realiza con el propósito de desalojar del interior de la captación y de los filtros de protección del mismo, la máxima cantidad de lodos bentoníticos utilizados durante la perforación. Operación que consiste en: inyección de agua limpia al pozo por medio de la bomba de lodos del equipo de perforación y de la tubería de perforación, la cual descendió hasta la profundidad total del pozo (300.00 m) y una vez que se observe que esta brotando agua limpia por el ademe se fue izando lentamente la tubería.

Figura 22 Grava de cuarzo para filtro del pozo



## 6 PRUEBA O REGISTRO DE VERTICALIDAD.

La prueba de verticalidad comprende una serie de medidas y registros de las desviaciones a lo largo del ademe o ademes del pozo, con respecto a un eje o línea de referencia vertical que pasa por el centro geométrico del brocal del pozo.

Tiene la finalidad de seleccionar el equipo de bombeo apropiado, una vez conocidas las desviaciones del pozo con respecto a la vertical.

La desviación máxima permisible es  $\frac{2}{3}$  del diámetro interior del ademe por cada 30.48 m o cuando dicha desviación no exceda  $0.5^\circ$  cada 100.00m de profundidad.

Figura 23. Verticalidad del pozo



A).- Datos obtenidos del registro de verticalidad del pozo en estudio.

Realizado al pozo Av. Universidad se utilizó el sistema de retícula triple con estaciones cada 3.00 metros.

POZO: Av. Universidad

PROPIETARIO: Sistemas de aguas de la Ciudad de México.

UBICACIÓN: Viveros de Coyoacán, México D. F.

PROFUNDIDAD REGISTRADA: 296.00 m.

DIÁMETRO DE ADEME: 16"(406 mm)

DIÁMETRO CALIBRADOR: 14"(355 mm)

ALTURA DE LA POLEA: 2.78 m.

NUMERO DE LECTURAS: 99

El pozo esta ademado con tubería de acero de 16"(405 mm) de diámetro, por lo que se empleo un calibrador de 14"(355 mm) de diámetro mismo que bajo sin problemas, con las lecturas obtenidas se calcularon las desviaciones en los ejes norte-sur, este-oeste y desviación.

Resultante máxima de 976 mm a 296 m con dirección noreste sin presentar cambios bruscos, de lo anterior se puede concluir que un equipo de bombeo de 8"(204 mm) de diámetro bajara hasta 150 m sin ningún problema.

Datos obtenidos durante el registro de verticalidad del pozo Av. Universidad de fecha 20 de febrero de 2003.

Lectura numero	Profundidad (m)	LecturaN -S (mm)	Desvia-ción N(+)(mm)	Desviación S(+)(mm)	Lectura W- E (mm)	Desviación E (+)(mm)	Desviación W(+)(mm)	DesviaciónR esultante (mm)
0	0	150	0	0	150	0	0	0
1	3	150	0	0	150	0	0	0
2	6	151	3	0	150	0	0	3
3	9	153	13	0	148	0	-8	15
4	12	155	27	0	148	0	-5	27
5	15	155	32	0	148	0	13	34
6	18	155	37	0	148	0	15	40
7	21	156	51	0	148	0	17	54
8	24	157	67	0	148	0	19	70

---

9	27	86	158	0	148	0	-21	88
10	30	158	94	0	148	0	-24	97
11	33	158	103	0	148	0	-26	106
12	36	160	139	0	148	0	-28	142
13	39	160	150	0	147	0	-45	157
14	42	163	209	0	147	0	-48	215
15	45	163	223	0	147	0	-52	229
16	48	163	237	0	147	0	-55	244
17	51	164	270	0	147	0	-58	277
18	54	164	286	0	147	0	-61	292
19	57	164	301	0	148	0	-43	307
20	60	164	316	0	148	0	-45	319
21	63	164	331	0	149	0	-24	232
22	66	164	346	0	149	0	-25	347
23	69	164	361	0	150	0	0	361
24	72	163	350	0	150	0	0	350
25	75	163	364	0	150	0	0	364
26	78	163	378	0	149	0	-29	379
27	81	162	362	0	148	0	-60	367
28	84	162	375	0	148	0	-62	380
29	87	161	355	0	148	0	-62	361
30	90	161	367	0	149	0	-33	369
31	93	161	379	0	149	0	-34	381
32	96	161	391	0	149	0	-36	92
33	99	161	403	0	149	0	-37	404
34	102	161	415	0	149	0	-38	416
35	105	161	426	0	149	0	-9	428
36	108	161	438	0	148	0	-40	440
37	111	161	450	0	148	0	-41	452
8	114	161	462	0	147	0	-84	70
39	117	161	474	0	147	0	-86	482
40	120	161	486	0	147	0	-132	504
41	123	161	498	0	147	0	-136	416
42	126	160	463	0	147	0	-139	484

---

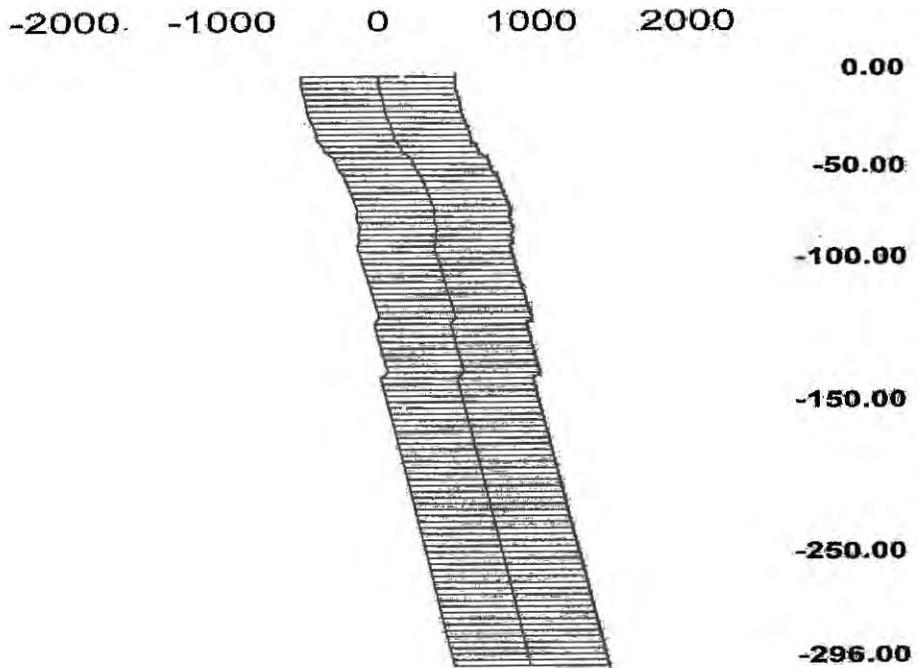
**Diseño y Construcción de un Pozo Profundo para Abastecimiento de Agua Potable en la Cd. de México**

43	129	160	474	0	147	0	-142	495
44	132	160	485	0	147	0	-145	506
45	135	160	496	0	147	0	-149	517
46	138	160	506	0	147	0	-152	529
47	141	160	517	0	147	0	-155	540
48	144	160	528	0	147	0	-158	551
49	147	160	539	0	147	0	-162	562
50	150	160	550	0	147	0	-165	574
51	153	159	504	0	147	0	-168	532
52	156	159	514	0	148	0	-114	527
53	159	159	524	0	148	0	-116	537
54	162	159	533	0	148	0	-119	546
55	165	159	543	0	148	0	-121	556
56	168	159	553	0	148	0	-123	566
57	171	159	563	0	148	0	-125	576
58	174	159	572	0	148	0	-127	586
59	177	159	582	0	149	0	-65	586
60	180	159	592	0	149	0	-66	595
61	183	159	601	0	149	0	-67	605
62	186	159	611	0	149	0	-68	615
63	189	159	621	0	149	0	-69	6025
64	192	159	631	0	149	0	-70	634
65	195	159	640	0	149	0	-71	644
66	198	159	650	0	149	0	-72	654
67	201	159	660	0	149	0	-73	664
68	204	159	669	0	149	0	-74	674
69	207	159	679	0	149	0	-75	683
70	210	159	689	0	149	0	-77	693
71	213	159	699	0	149	0	-78	703
72	216	159	708	0	149	0	-79	713
73	219	159	718	0	149	0	-80	722
74	222	159	728	0	149	0	-81	732
75	225	159	737	0	149	0	-82	742
76	228	159	747	0	149	0	-83	752

77	231	159	757	0	149	0	-84	761
78	234	159	767	0	149	0	-85	771
79	237	159	776	0	149	0	-86	781
80	240	159	786	0	149	0	-87	791
81	243	159	796	0	149	0	-88	801
82	246	159	805	0	149	0	-89	810
83	249	159	815	0	149	0	-91	820
84	252	159	825	0	149	0	-92	830
85	255	159	835	0	149	0	-93	840
86	258	159	844	0	149	0	-94	849
87	261	159	854	0	149	0	-95	859
88	264	159	864	0	149	0	-96	869
89	267	159	873	0	149	0	-97	879
90	270	159	883	0	149	0	-98	889
91	273	159	893	0	149	0	-99	898
92	276	159	903	0	149	0	-100	908
93	279	159	912	0	149	0	-101	918
94	282	159	922	0	149	0	-102	928
95	285	159	932	0	149	0	-104	937
96	288	159	941	0	149	0	-105	947
97	291	159	951	0	149	0	-106	957
98	294	159	961	0	149	0	-107	967
99	296	159	971	0	149	0	-108	976

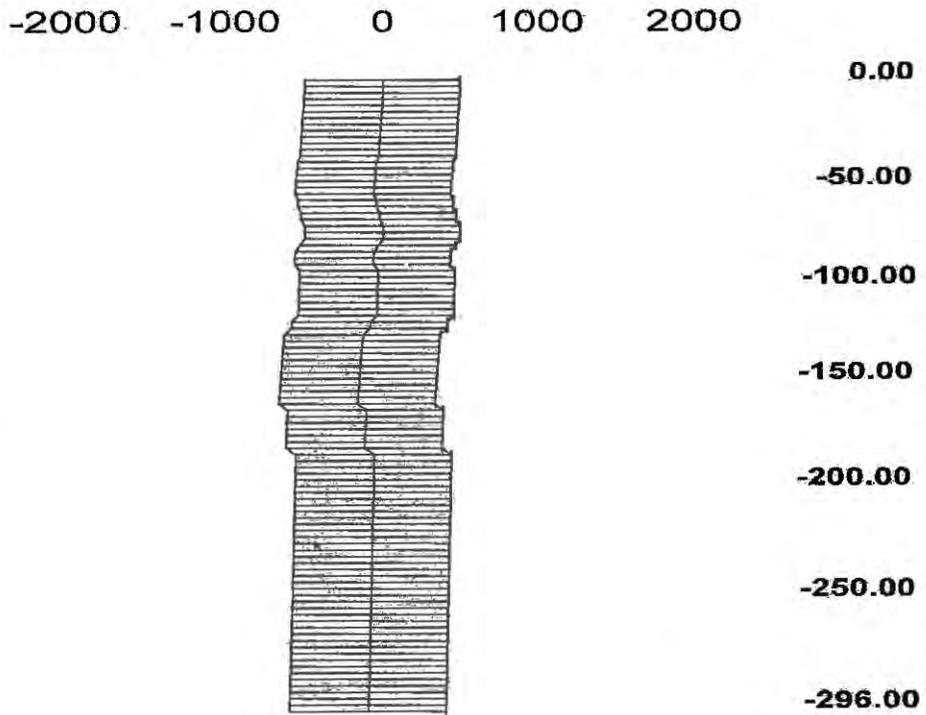
Gráfica de la desviación norte sur del registro de verticalidad. Desviación en mm.

Gráfica de la desviación norte sur del registro de verticalidad. Desviación en mm.



Desviación en mm.

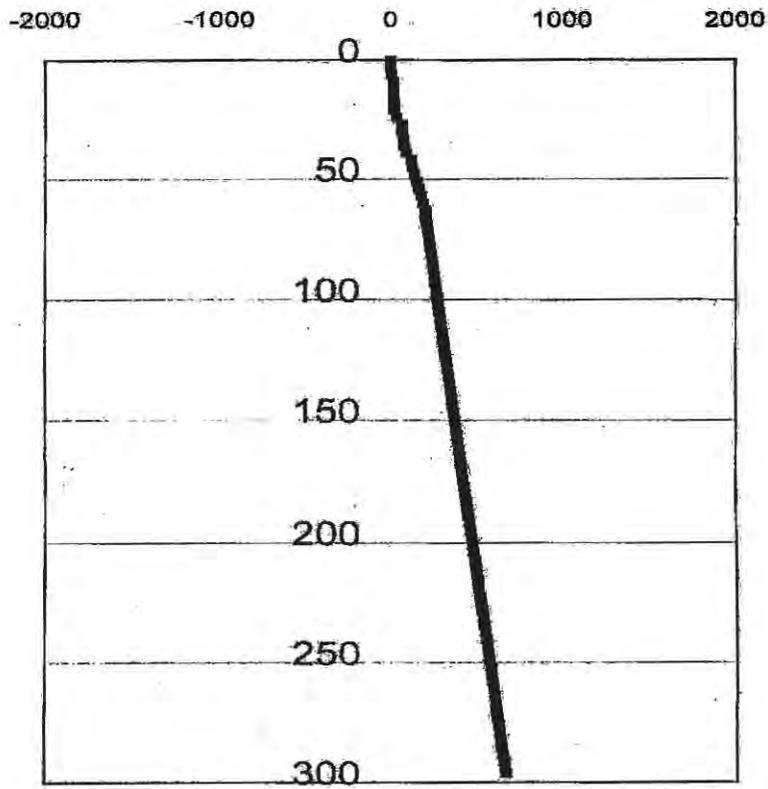
Gráfica de la desviación este oeste del registro de verticalidad.



Desviación en mm.

Gráfica de la desviación resultante del registro de verticalidad.

PROFUNDIDAD EN METROS



Desviación en mm.

**TABLA DE LOS LÍMITES PERMISIBLES UTILIZADOS POR EL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

PROFUNDIDAD	PROFUNDIDAD	DESVIACIÓN	DESVIACIÓN
		PERMITIDA	PERMITIDA
PIES	METROS	PIES	METROS
50	15.2	0.4	0.1
100	30.5	0.9	0.3
150	45.7	1.3	0.4
200	61.0	1.7	0.5
250	76.2	2.2	0.7
300	91.5	2.6	0.8
350	107.0	3.1	0.9
400	122.0	3.5	1.1
450	137.0	3.9	1.2
500	152.0	4.4	1.3
600	183.0	5.2	1.6
700	213.0	6.1	1.9
800	244.0	7.0	2.1
900	274.0	7.8	2.4
100	305.1	8.7	2.7

**7 APLICACIÓN DEL DISPERSOR DE ARCILLAS.**

De muchos años atrás, es menester realizar las operaciones de perforación empleando fluidos capaces de impermeabilizar parcialmente los acuíferos vecinos, se debe de aplicar, sin excepción, una dosificación adecuada de sustancias químicas con propiedades como dispersores de arcillas, aplicación que conviene realizar justamente en el momento en que se termina el pozo, terminada la limpieza inicial por medio de la circulación de agua limpia con las propias bombas de lodos de la máquina perforadora y

realizada la prueba de verticalidad se procedió a la aplicación de dispersores de arcillas tales como SC 100, Per-Z-Eell, Calgon, etc., es por demás sencilla, pues basta vaciarlos a fondo perdido al interior del pozo, en una proporción de un litro por un metro lineal, con objeto de que la sustancia se mezcle con el agua. Para eliminar las arcillas residuales alojadas en la vecindad del pozo, para realizar esta maniobra de agitación se utilizó un pistón con empaque de hule o cuero, debidamente ajustado al diámetro del ademe; ya que el agua tiene la propiedad de ser incompresible.

Esta operación se inició en la parte superior del pozo y gradualmente fue descendiendo el pistón hasta llegar al fondo del pozo y posteriormente se realizaron movimientos recíprocos para que se efectuara dicha agitación y homogeneizar la mezcla agua dispersor.

El SC 100 es un líquido que tiene la propiedad de dispersar las arcillas, aumentando así la permeabilidad de las formaciones acuíferas circunvecinas del pozo; los fabricantes de este producto recomiendan que se debe dejar de 3 a 7 días con objeto de que el dispersor penetre lo suficiente en las formaciones acuíferas selladas

El Per-Z-Well es un producto con propiedades similares a las del SC 100; quienes lo han usado aseguran que los resultados obtenidos con el mismo son muy superiores a los rendidos por el SC 100. Solamente en aquellos casos en que la impermeabilidad originada por la contaminación de arcillas sea muy leve, se obtendrá éxito con la simple aplicación de un dispersor, pero en la mayoría de los casos es necesario ejercer una acción dinámica muy intensa que facilite y active su penetración. Terminada la limpieza y realizada la prueba de verticalidad se procedió a colocar el dispersor de arcillas (s-c 100) a una proporción de un litro por un metro lineal, con el objeto de eliminar las arcillas residuales alojadas en la vecindad del pozo para realizar esta maniobra de agitación se utilizó un pistón con empaque de hule, ajustado al ademe. Esta operación se inició en la parte superior del pozo y gradualmente fue descendiendo el pistón hasta llegar al

fondo del pozo y posteriormente se realizaron movimientos recíprocos para que se efectuara dicha agitación

### **:8 PRUEBAS DE DESARROLLO Y AFORO DEL POZO.**

En las pruebas de desarrollo y aforo por lo general se realiza en dos etapas:

**1ra etapa.-** La etapa de desarrollo de un pozo no es más que un bombeo lento, que se va incrementando poco a poco con el fin de ir logrando un paulatino aumento en la porosidad, permeabilidad y de las formaciones circunvecinas del pozo, obteniéndose así una constante mejoría de la productividad del mismo, que se manifiesta tanto en los caudales bombeados, como en sus correspondientes niveles dinámicos y adicionalmente se logra la estabilización del filtro de grava.

En la etapa de desarrollo del pozo el bombeo se realizó con una velocidad mínima de 1000 revoluciones por minuto, agitando esporádicamente el agua del pozo, mediante el aceleramiento brusco del motor, provocando con ello, la agitación del agua que desprenderá y removerá todos los residuos arenosos y arcillosos del fondo del pozo, hasta que en el bombeo salga agua clara, se cambiará a la siguiente velocidad, y se realizó el mismo proceso mencionado aumentando de 100 en 100 revoluciones por minuto, hasta llegar a las 1900 revoluciones por minuto.

Generalmente el desarrollo se realiza en 48 hrs, ya que en la práctica se ha observado que en ese lapso es más que suficiente para que el agua aclare.

**2da etapa.-** Aforo, es el caudal de agua cristalina que produce el pozo en la unidad de tiempo que generalmente es en litros por segundo.

El aforo se realizó haciendo variar la velocidad de la bomba gradualmente, con una mínima velocidad y paulatinamente se va incrementando ésta cada 3 ó 4 hrs,

debiendo estabilizar el nivel dinámico; hasta alcanzar la velocidad máxima., en ocasiones se sigue el proceso inverso de las máximas revoluciones por minuto, a las mínimas para comprobar el comportamiento del nivel dinámico en relación al gasto extraído con una duración de 48 hrs. Por lo tanto el tiempo total de desarrollo y aforo puede variar de 72.00 hrs hasta 96.00 hrs.

Concluido el bombeo, se empezaron a medir los niveles de recuperación; estos se realizaron después de suspendido el bombeo. A continuación se describen los principales términos empleados en el aforo de pozos:

**Abatimiento.-** Es la diferencia en metros entre el nivel estático y el nivel dinámico o de bombeo; o sea la distancia vertical medida en metros que desciende el nivel estático de un pozo bajo la influencia del bombeo.

**Ademe de pozo.-** Revestimiento de las paredes del pozo, destinado a evitar su caída.

**Aforo.-** Prueba de bombeo a caudal variable para establecer el caudal óptimo de explotación del pozo.

**Azolve.-** Material sólido en suspensión proveniente del acuífero que se va depositando en el interior del pozo.

**Capacidad específica.-** Es la relación que existe entre la producción del pozo, medida en litros por segundo y su correspondiente abatimiento por metro (lps/m).

**Caudal óptimo.-** Caudal al que se puede explotar un pozo.

**Gasto o caudal.-** Es el volumen de agua que produce un pozo en la unidad de tiempo; se expresa generalmente en litro por segundo (lps).

**Nivel estático.-** Es la distancia vertical en metros, desde el brocal del pozo hasta el nivel libre del agua cuando no está siendo bombeada.

**Nivel dinámico o bombeo.-** Es la distancia vertical medida en metros, desde el brocal del pozo hasta el nivel al cual se mantiene el agua, cuando es bombeada a

cualquier velocidad. Este nivel es variable y cambia de acuerdo al gasto que está siendo extraído.

**Nivel de recuperación.-** Son las distancias verticales medidas en metros desde el brocal del pozo, hasta los niveles libres de agua a partir del momento en que fue suspendido el bombeo y alcance de su estabilidad.

**Recuperación.-** Es el lapso medido en la unidad de tiempo, que tarda en estabilizarse el nivel de recuperación.

## **9 CURVA DE AFORO PARA PODER DETERMINAR EL PUNTO DE EXPLOTACIÓN ÓPTIMO.**

Durante la realización de la prueba de bombeo se tomaron varias lecturas tal como lo muestra los reportes de aforo:

Se observo que empezando la prueba de aforo a 1000 r. p. m. el agua salió sucia con dispersor de arcillas, arena, y bentonita durante 7 hrs, a 1100 r. p. m. el agua salió turbia con dispersor de arcillas y arena durante 1 hr y agua turbia con dispersor de arcillas y arena durante 6 hrs, a 1200 r. p. m. el agua salió turbia con dispersor de arcillas y arena durante 7 hrs, a 1300 r. p. m. el agua salió agua turbia con dispersor de arcillas arena y bentonita durante 3 hrs, agua limpia durante una hora y agua limpia con poca arena durante 3 hrs, a 1400 r. p. m. el agua salió poco turbia durante 3 hrs y agua limpia durante 4 hrs, a 1500 r. p. m. el agua salió poco turbia con arena durante 3 hrs y agua limpia durante 4 hrs, a 1600 r. p. m. el agua salió poco turbia con arena durante 4 hrs y agua limpia durante 2 hrs, a 1800 r. p. m. el agua salió limpia durante una hora., a 1700 r. p. m. el agua salió poco turbia durante 2 hrs y agua limpia durante 5 hrs, a 1800 r. p. m. el agua salió poco turbia durante 3 hrs y agua limpia durante 4 hrs, a 1900 r. p. m. el agua salió turbia durante 4 hrs y agua limpia durante 3 hrs, a 1800 r. p. m. el agua salió limpia durante 3 hrs, a 1900 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1800 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1700 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a

1600 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1500 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1400 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1300 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1200 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1100 r. p. m. el agua salió limpia durante 2 hrs, a 1000 r. p. m. el agua salió limpia durante 5 hrs. Por lo tanto el tiempo total de desarrollo y aforo fue de 96 hrs continuas.

Figura 24. Aforo del pozo



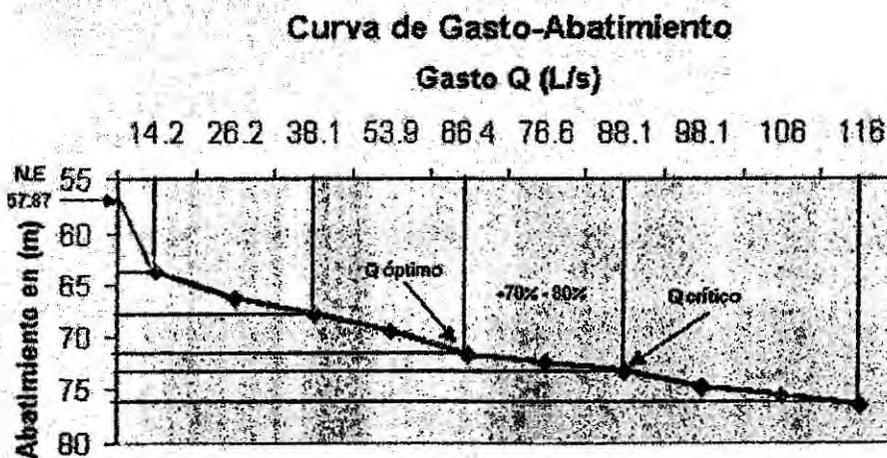
**A).- Curva de aforo para poder determinar el punto de explotación optimo.**

Con los datos registrados durante el aforo, se realizo el análisis del comportamiento del pozo mediante la curva de gasto-abatimiento donde se van seleccionando los puntos que denotan estabilización de los niveles dinámicos y caudales. Donde se representa el gasto en el eje de las abcisas y el del abatimiento en el eje de las ordenadas. Con los datos de aforo se obtuvo el gasto mínimo y el gasto máximo, donde se establecieron además tres caudales bien diferenciados tal como se muestra en la siguiente tabla, para realizar la gráfica de gasto-abatimiento.

Datos de gasto-abatimiento

Nivel Dinámico (m)	Gasto (L/s)	Abatimiento (m)	Caudal específico (L/s/m)
57.87	0	0	0
63.78	14.21	5.91	2.40
66.23	26.20	8.36	3.13
67.84	38.13	9.97	3.82
69.47	53.93	11.60	4.65
71.76	66.35	13.89	4.78
72.54	76.57	14.67	5.22
73.20	88.07	15.33	5.74
74.75	98.05	16.88	5.80
75.43	106.13	17.56	6.04
76.37	116.33	18.50	6.28

Grafica de aforo



## 10 REGISTRO DE VIDEO EN SITIO.

Una vez que se han concluidos todos los trabajos de terminación del pozo en cuestión se realizó el registro de televisión.

Antes de correr el registro de televisión, es recomendable dejar el pozo en reposo durante una semana para que se depositen los sólidos en suspensión que pudiera haber, además para tener una imagen clara se aplica al pozo alumbre o hipoclorito de sodio un día antes de correr el registro de televisión.

El equipo utilizado consta de una cámara de televisión adaptada dentro de un cilindro de acero inoxidable, capaz de operar en condiciones secas bajo el agua.

Tiene una potente fuente de luz, proporcionada generalmente por un foco de halógeno de 100 watts, dispuesto dentro de una bombilla que a su vez contiene aceite para prevenir sobrecalentamientos; va colocada a unos 50 a 60 cm debajo de la cámara, conectada mediante dos barras metálicas que la sujetan y al mismo tiempo sirven para pasar la corriente al foco (Fig. 15).

La cámara se introduce en la parte media del brocal del pozo mediante un cable de acero controlado por un malacate eléctrico, que a su vez contiene un cable coaxial que transmite las señales y la energía eléctrica.

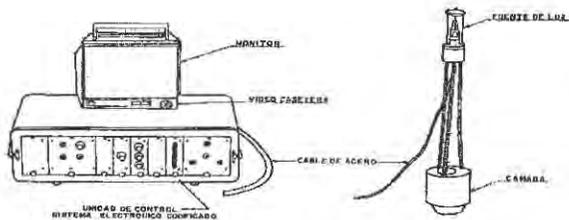
La unidad de control que se encuentra en la superficie consiste en un sistema electrónico que codifica la señal enviada por la cámara y que se observa en un monitor, siendo gravada al mismo tiempo en una video-casetera.

Con la grabación de la video-casetera podemos observar, verificar e informar acerca de las características que se encuentran dentro del pozo, tales como

cuantos tramos de tubo liso o ranurada se tienen y a que profundidad se encuentran estos; dar cuenta del estado de la tubería en cuanto a desgarres o colapsos, además proporciona con seguridad la profundidad del nivel estático y la profundidad total del pozo, si es que no se halla azolve o en todo caso la profundidad de dicho azolve.

Se llevo a acabo el registro de televisión en el pozo Av. Universidad observándose lo siguiente: la tubería lisa se encontró de 0.00 a 96.00 m de profundidad y tubería ranurada de 96.00 a 300.00 m de profundidad por lo tanto se verifico que efectivamente el diseño del pozo se realizo de acuerdo al proyecto definitivo, además se observo el estado de las uniones y orejas del ademe las cuales fueron soldadas debidamente así como de que no encontró azolve en el interior del pozo.

Elementos que contiene una video grabación de un pozo



## CAPÍTULO VIII

### COSTOS DE CONSTRUCCIÓN.

El costo de la construcción de un pozo profundo para abastecimiento de agua potable en la Ciudad de México, se dividen en los porcentajes siguientes:

1.- La perforación del pozo	50%
2.- La obra civil	20%
3.- La alta y la baja tensión	15%
4.- El equipamiento	15%
TOTAL	100%

#### 1. Perforación

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 razonables.

Por lo general, el monto correspondiente a los trabajos de perforación del pozo, son los que más variaciones presentan, ya que se cuantifica con respecto al tipo de material o roca que se va a perforar, puesto que es el aspecto de más peso y que influye en el costo de la perforación.

Actividades o conceptos más importantes que integran la perforación de un pozo:

- 1.- Transporte, instalación y desmantelamiento del equipo de perforación.
- 2.- Letrero de identificación.
- 3.- suministro y colocación de malla.
- 4.- Fosa de lodos.
- 5.- Repellado de fosa de lodos.
- 6.- Perforación exploratoria a 12 ¼".
- 7.- Ampliación de 12 ¼" a 17 ½".
- 8.- Ampliación de 17 ½" a 22".
- 9.- Ampliación de 22" a 30".
- 10.- Registro eléctrico.
- 11.- Suministro y colocación de tubería de contra-ademe.
- 12.- Suministro y colocación de tubería de ademe (lisa y ranurada).
- 13.- Cementación de tubería.
- 14.- Tapón de concreto.
- 15.- Perforadora en espera.
- 16.- Perforadora trabajando.
- 17.- Suministro y colocación del filtro de grava.
- 18.- Suministro y colocación del dispersor de arcillas.
- 19.- limpieza del pozo.
- 20.- Registro de verticalidad.
- 21.- Instalación y desmantelamiento de bomba para 90 lps., 150 m. de columna.
- 22.- Bomba trabajando en espera.
- 23.- Registro de video-grabación e interpretación.
- 24.- Relleno de fosas.
- 25.- Tapa de acero para brocal.
- 26.- Limpieza en general.

### **Ademes (tuberías lisas y de tipo canastilla)**

Anteriormente, tanto en los diámetros como en los espesores de los ademes y cedazos se tenían que ajustar a los existentes en el mercado. Igual ocurría en lo que respecta al tipo y dimensiones del ranurado; y había poco a elegir en el mercado nacional. Los importados eran y son de costo prohibitivo y nunca se dispone de ellos oportunamente.

La práctica de las operaciones comerciales, encabezada y guiada por la contratación gubernamental, ha establecido la costumbre, muy sana por cierto, de que el contratista cobre el suministro de las tuberías de ademe y cedazos, incluyendo los fletes desde las fábricas hasta el sitio de su instalación. Sobre el monto de estos costos, el contratista agrega un porcentaje que suele variar entre el 15 y el 20 por ciento, para cubrir sus costos indirectos y el derecho a una utilidad marginal. Por lo demás, los contratistas, con ser compradores en gran escala de estos productos, obtienen jugosos descuentos que ningún particular lograría, salvo excepciones, claro está, pero en lo general, a la parte contratante le conviene que sea el propio contratista quien se encargue de tal suministro, por ser conocedores del mercado y del oficio.. La experiencia nos ha enseñado que cuando los contratantes particulares –no instituciones gubernamentales- toman por su cuenta la adquisición directa de las aludidas tuberías, suelen ser víctimas de engaño, comprando materiales defectuosos e incluso de segunda mano.

### **Registro Eléctrico**

Es práctica generalizada que los contratistas de perforación, subcontraten los registros eléctricos con especialistas que se dedican a ello. Su precio varía entre \$3,500.00 y \$7,000.00, influyendo desde luego, factores tales como la distancia y facilidades de acceso, profundidad del pozo y el tipo de equipo. Desde luego, los tiempos de espera son cobrados adicionalmente, por lo que el especialista deberá ser

citado con oportunidad. Por su parte el contratista carga a su costo el sobreprecio derivado de sus indirectos y utilidad pactada en el contrato. Por cierto, los contratos de perforación son muy vagos, tratándose de particulares y en el perjuicio de éstos.

### **Suministro de grava**

Su costo de adquisición es muy variable, ya que depende de numerosos parámetros particulares a cada caso y zona, como: sitio y costo de obtención, distancia de acarreo, salarios regionales, cualidades del material, etc. El procedimiento legítimo consiste en pagarle al contratista, cuando éste la suministre, el importe total de su costo demostrado más un porcentaje adicional de 38 por ciento sobre el costo directo, a efecto de retribuirle sus gastos indirectos y utilidad pactados en el contrato

### **Lavado del pozo**

Para el cálculo del precio unitario por concepto del lavado primario del pozo empleando la bomba de lodos de la máquina perforadora, se debe tomar como base de que los suministros de agua habrán sido correctamente previstos y organizados, además del suministro y acarreo de agua en el primer kilómetro y subsecuentes y que es recomendable pagar en forma desglosada, para estimular al contratista a que organice oportuna y correctamente el servicio de suministro del agua necesaria. Pagando el precio unitario global, incluyendo el suministro y acarreo del agua dentro del primer kilómetro, tiene la desventaja de que el contratista descuidará la organización del suministro de agua, y al faltar ésta, la máquina perforadora tendrá largos tiempos de espera o se limitará a circular la misma agua sucia que brote del mismo.

Refiriéndose ya a la experiencia, ha sido frecuente que en pozos perforados en formaciones muy ricas (lo cual se ha comprobado ampliamente), se hayan obtenido caudales sumamente pobres, en total desacuerdo con la capacidad de los acuíferos

trabajados. Analizando los reportes de trabajos de esos casos, se encontró con que los pozos no habían sido lavados oportunamente al terminarse el engravado, dando así tiempo a que los lodos de perforación realizaran su acción impermeabilizante. En la mayoría de los casos se trataron los pozos por medio de trabajos especiales tales como: aplicación de sustancias dispersoras de arcilla, inyecciones de aire, pistoneo, aplicación de hielo seco, etc. Basta mencionar que en pozos que rindieron un gasto de 5 l.p.s., una vez tratados para eliminar los lodos de perforación, la productividad aumentó Hasta 60 l.p.s.;

En los catálogos de Especificaciones de años pasados, se estipulaba textualmente que el pozo debería ser lavado con la propia máquina perforadora; empero no se consignaba ningún precio particular para el pago de esta importantísima maniobra, o bien, se paso por alto y quizá este cargo quedó incluido en el precio unitario por metro de perforación.

En este capítulo se menciona el problema del lavado primario del pozo, ya que es de advertirse que en todo pozo que no haya sido correctamente lavado, lo más probable es que ni aun con tratamientos costosos se logre habilitar totalmente la productividad que corresponda a la formación acuífera perforada; indudablemente que se obtendrán notables mejorías con los tratamientos, pero nunca, según nos lo enseña la experiencia, se logrará eliminar 100 por ciento la acción impermeabilizante de los lodos de perforación que no hayan sido oportunamente extraídos; por lo que esta operación se deberá pagar al contratista, para que así tenga un estímulo, y el supervisor sepa que tal maniobra inexcusablemente se deberá realizar y pagar.

### **Limpieza del pozo**

Este trabajo se paga por hora- máquina de la perforadora operando que en nuestro caso tiene un importe de \$448.73/h, incluyendo indirectos y utilidad, cuando se

dispone en la perforadora de esta facilidad, conviene realizar el trabajo con la misma, ya que se evitan los gastos correspondientes a la movilización del equipo de sifoneo que trabaja relativamente pocas horas en cada pozo, con lo que el cargo de movilización resulta muy alto.

Para transportar el equipo consistente en compresora, tuberías, herramientas, etc., lo ideal es un camión grúa, que auxiliará en las operaciones asociadas con los trabajos. El cargo mínimo del camión grúa no podrá ser menor de \$250.00/h. Suponiendo una localización cercana de pozo, solo entre cargar el equipo al camión, transportarlo en viaje redondo, doble carga e instalación en el pozo se emplean 24 horas, con un costo del orden de \$6000.00, más los cargos derivados del equipo mientras efectúa la limpieza neumática del pozo, que bien pueden ser los correspondientes 48 horas de operación efectiva, con un costo adicional del orden de \$500.00/hora efectiva de trabajo. Debemos hacer hincapié que se consideró en estas reflexiones una distancia de transporte del equipo muy corta.

Para fines de pago, se multiplicará el precio unitario de la suma de cargo por compresora, tuberías y camión grúa, (\$851.87, de la tabla 8.1), por el número efectivo de horas empleadas (48 horas), para un total de \$40,856.00. (Concepto con clave 9 de la tabla 8.1). Adicionalmente, se pagará lo correspondiente al transporte y retiro del equipo hasta el sitio de los trabajos.

### **Desarrollo y aforo del pozo**

Para fines de pago, el precio unitario del Tabulador General de Precios Unitarios del 2004 (Coordinación Sectorial de Normas, Especificaciones y Precios Unitarios, de la Secretaría de Obras y servicios, del Gobierno del Distrito Federal), se multiplicará por el número de horas de duración del trabajo (96), para el desarrollo y aforo del pozo, por lo que la maniobra completa, se llama "aforo".

El presupuesto base para la perforación y terminación del pozo Av. Universidad, fue cuantificado con respecto a los conceptos de la ejecución de los trabajos que se encuentran en el tabulador general de precios unitarios que edita el Gobierno del Distrito Federal los cuales se presentan a continuación:

**PRESUPUESTO BASE PARA LA PERFORACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DEL POZO.**

CLAVE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE OBRA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PB12BB	MOVIMIENTO DE EQUIPO DE PERFORACIÓN HASTA UNA DISTANCIA DE 15 KM. INCLUYENDO DESMANTELAMIENTO DONDE ESTA INSTALADO, CARGA DE VEHÍCULOS DE TRANSPORTE. DESCARGA Y MONTAJE EN LA NUEVA INSTALACIÓN.	1.00	LOTE	\$12,275.70	\$12,275.70
1	LETRERO DE IDENTIFICACIÓN DE OBRA DE 2.00 MTS. * 1.50 MTS. METALICO	1.00	PZA.	\$2,387.81	\$2,387.81
EJ13BC	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MALLA DE ALAMBRE TIPO CICLÓN, CON UNA ALTURA DE 2.00 MTS. Y COLOCACIÓN DE POSTES A CADA 3.00 MTS. GALVANIZADO, INCLUYE HABILITADO, ARMADO, SOLDADO, ESMERILADO, DESPERDICIO Y FLETE.	200.00	MTS.	\$148.16	\$29,632.00 \$
PF12BB	CONSTRUCCIÓN DE FOSA DE LODO DE 4.00 * 4.00 * 1.50 MTS.	2.00	FOSA	\$1,969.02	\$3,938.04
LB12BB	REPÉLLADO DE FOSAS CON MORTERO, CEMENTO, ARENA DE 1:6 EN CUALQUIER NIVEL (2.5 CM. DE ESPESOR)	60.00	M2	\$42.45	\$1,761.60
	PERFORACIÓN DE POZO CON 12 ¼" (304.80 MM) DE DIÁMETRO DE 0.00 A 100.00 M. DE PROFUNDIDAD				
PB13BD	MATERIAL TIPO I	70.00	MTS.	\$313.19	\$21,923.30
PB14BD	MATERIAL TIPO II	30.00	MTS.	\$585.72	\$17,571.60
	PERFORACIÓN DE POZO CON 12 ¼" (304.80 MM) DE DIÁMETRO DE 100.00 A 200.00 M. DE PROFUNDIDAD				
PB13CD	MATERIAL TIPO I	54.00	MTS.	\$334.08	\$18,040.32
PB14CD	MATERIAL TIPO II	46.00	MTS.	\$609.46	\$28,035.16
	PERFORACIÓN DE POZO CON 12 ½" (304.80 MM) DE DIÁMETRO DE 200.00 A 300.00 M. DE PROFUNDIDAD				
PB13DD	MATERIAL TIPO I	55.00	MTS.	\$355.12	\$19,531.60
PB14DD	MATERIAL TIPO II	45.00	MTS.	\$653.63	\$29,413.35

	AMPLIACIÓN DE POZO CON 12 1/4" A 17 1/2" (304.80 A 444.50 MM) DE DIÁMETRO DE 0.00 A 100.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13BG	MATERIAL TIPO I	70.00	MTS.	\$474.75	\$33,232.50
PB14BG	MATERIAL TIPO II	30.00	MTS.	\$777.60	\$23,328.70
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 12 1/4" A 17 1/2" (304.80 A 444.50 MM.) DE DIÁMETRO DE 100.00 A 200.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13CG	MATERIAL TIPO I	54.00	MTS.	\$501.11	\$27,059.94
PB14CG	MATERIAL TIPO II	46.00	MTS.	\$820.01	\$37,720.46
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 12 1/4" A 17 1/2" (304.80 A 444.50 MM) DE DIÁMETRO DE 200.00 A 300.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13DG	MATERIAL TIPO I	55.00	MTS.	\$530.60	\$29,183.00
PB14DG	MATERIAL TIPO II	45.00	MTS.	\$850.94	\$38,292.30
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 17 1/2" A 22" (444.50 A 558.80 MM) DE DIÁMETRO DE 0.00 A 100.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13BJ	MATERIAL TIPO I	70.00	MTS.	\$609.46	\$42,662.20
PB14BJ	MATERIAL TIPO II	30.00	MTS.	\$959.58	\$28,787.40
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 17 1/2" A 22" (444.50 A 558.80 MM) DE DIÁMETRO DE 100.00 A 200.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13CJ	MATERIAL TIPO I	54.00	MTS.	\$673.14	\$36,349.56
PB14CJ	MATERIAL TIPO II	46.00	MTS.	\$1,025.02	\$47,10.92
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 17 1/2" A 22" (444.50 A 558.80 MM) DE DIÁMETRO DE 200.00 A 300.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13DJ	MATERIAL TIPO I	55.00	MTS.	\$693.86	\$38,182.30
PB14DJ	MATERIAL TIPO II	45.00	MTS.	\$1100.00	\$49,500.00
	AMPLIACIÓN DE POZO CON 22" A 30" (558.80 A 762.00 MM) DE DIÁMETRO DE 0.00 A 100.00 MTS. DE PROFUNDIDAD				
PB13BN	MATERIAL TIPO I	70.00	MTS.	\$902.01	\$63,140.70
PB14BN	MATERIAL TIPO II	2.00	MTS.	\$1,366.67	\$2,733.34
PC12CB	PERFORADORA TRABAJANDO EN OPERACIONES NO CONSIDERADAS EN TABULADOR	24.00	HRS.	\$448.73	\$10,769.52
2	REGISTRO ELÉCTRICO E INTERPRETACION	1.00	REG.	\$4,596.25	\$4,596.25
3	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE ACERO AL CARBON TIPO LISO DE 24" (762.0 MM) DE DIÁMETRO POR 1/2" DE ESPESOR (6.35 MM), CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA O HELICOIDAL, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6 MM), ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127 MM) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-				

**Diseño y Construcción de un Pozo Profundo para Abastecimiento de Agua Potable en la Cd. de México**

	177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE CARGA, TRASLADO AL SITIO DE LOS TRABAJOS Y DESCARGA.	72.00			
			ML	\$823.27	\$59,275.44
PG12BL	COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN TIPO LISO DE 24" (609.6 MM), DE DIÁMETRO POR 1/4" DE ESPESOR (6.35 MM), CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA O HELICOIDAL, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6 mm) ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127 mm) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN.	72.00	MTS.	\$98.36	\$7,081.92
4	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN TIPO LISO DE 16" (406.4 MM), DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR (7.93 MM), CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA O HELICOIDAL, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6 mm) ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127 mm) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE CARGA, TRASLADO AL SITIO DE LOS TRABAJOS Y DESCARGA.	106.00	MTS.	\$920.00	\$97,520.00
5	COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE ACERO AL CARBÓN TIPO LISO DE 16" (406.4 MM) DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR (7.93MM), CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA O HELICOIDAL, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6 mm) ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127mm) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN.	106.00	MTS.	\$65.59	\$6,952.54
6	SUMINISTRO DE TUBERÍA DE ACERO TIPO CEDAZO CANASTILLA CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA DE 16" (406.4 MM), DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR (7.93 MM), ABERTURA DE 1MM CON AREA DE INFILTRACIONES DE 1,417 CM2/ML, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6mm) ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127mm) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE CARGA, TRASLADO AL SITIO DE LOS TRABAJOS Y				

	DESCARGA.	204.00	MTS.	\$1,200.23	\$244,846.92
PH12BH	COLOCACIÓN DE TUBERÍA DE ACERO TIPO CEDAZO CANASTILLA CON COSTURA LONGITUDINAL RECTA DE 16" (406.4 MM), DE DIÁMETRO POR 5/16" DE ESPESOR (7.93 MM), ABERTURA DE 1 MM CON AREA DE INFILTRACIONES DE 1,417 CM2/ML, LLEVANDO EN UNO DE SUS EXTREMOS UN COPLE SOLDADO CON UN CORDÓN DE SOLDADURA EN FILETE DE 3/8" (9.6 mm) ALREDEDOR DEL DIÁMETRO TOTAL DE 5" (127mm) DE ANCHO DE LA MISMA PLACA DEL TUBO, ESPECIFICACIONES NMX-B-177, NMX-B-179 Y NMX-B-050, INCLUYE CARGA, TRASLADO AL SITIO DE LOS TRABAJOS Y DESCARGA, INCLUYE MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPO NECESARIO PARA SU CORRECTA COLOCACIÓN.	144.00	MTS.	\$65.59	\$9,444.96
PH12BB	CEMENTACIÓN DE TUBERÍA	72.00	ML	\$274.91	\$19,793.52
7	TAPON DE CONCRETO	0.12	M3	\$1,161.14	\$139.34
PC12BB	SUMINISTRO DE FILTRO DE GRAVA DE CUARZO REDONDEADA DE 1/8" DE DIAMETRO	18.00	M3	\$1,704.30	\$30,677.40
PC12BB	COLOCACIÓN DE FILTRO DE GRAVA DE CUARZO REDONDEADA DE 1/8" DE DIAMETRO	18.00	M3	\$1,704.30	\$30,677.40
PC12BB	SUMINISTRO DE FILTRO DE GRAVA DE CUARZO REDONDEADA DE 1/8" DE DIAMETRO	18.00	M3	\$1,704.30	\$30,677.40
PC12BB	COLOCACIÓN DE FILTRO DE GRAVA DE CUARZO REDONDEADA DE 1/8" DE DIAMETRO	18.00	M3	\$1,704.30	\$30,677.40
8	TRANSPORTE, SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE DISPERSOR DE ARCILLA	300.00	LTS.	\$29.99	\$8,997.00
9	LIMPIEZA DE POZO	48.00	HRS.	\$851.17	\$40,856.16
10	REGISTRO DE VERTICALIDAD E INTERPRETACION	1.00	HRS.	\$3,516.28	\$3,516.28
11	TRANSPORTE, INSTALACIÓN Y DESMANTELAMIENTO DE BOMBA PARA 120 L/S, 150 M DE COLUMNA	1.00	TRANS.	\$4,797.04	\$4,797.04
PE12DB	BOMBA TRABAJANDO EN AFORO	96.00	HRS.	\$307.99	\$29,567.04
PE12EC	BOMBA EN ESPERA	24.00	HRS.	\$109.48	\$2,627.52
12	REGISTRO DE TELEVISIÓN E INTERPRETACION	1.00	REG.	\$4,325.00	\$4,325.00
PB12D*	RELLENO DE EXCAVACIÓN CON TEPETATE PARA ESTRUCTURA Y/O ALCANZAR NIVELES DE PROYECTO EN CAPAS DE 20 CM. DE ESPESOR AL 90% PROCTOR PREVIA LA INCORPORACIÓN DEL AGUA NECESARIA, MEDIO COMPACTO, INCLUYE TODOS LOS ACARREOS	48.00	M3	\$165.51	\$7,944.46
13	TAPA DE ACERO SOLDADA AL BROCAL	1.00	PZA.	\$1,126.23	\$1,126.23
BC12BB	LIMPIEZA DEL ÁREA EN GENERAL	200.00	M2	\$2.77	\$554.00

**SUBTOTAL: \$1 369,254.56**

IVA :\$ 205,388.18

**TOTAL: \$1 574,642.74**

## 2. Obra civil

Los trabajos referentes a la obra civil representan un 20% del monto total de la obra y se enlistan a continuación, siendo la forma de pago, al igual que en la "partida" de perforación, con el Tabulador General de precios Unitarios, que edita anualmente el Gobierno del Distrito Federal.

### CONCEPTOS PARA EL PRESUPUESTO DE LA OBRA CIVIL DEL POZO AV. UNIVERSIDAD

#### 3. Alta y Baja tensión

CLAVE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD DE OBRA	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Trazo y nivelación		m2		
2	Limpia y deshierbe		m2		
3	Excavación de material I, de 0.00 a 2.00 m. de profundidad.		m3		
4	Plantilla de concreto f'c=100 kg/cm2 5 cm. Espesor		m2		
5	Acero de refuerzo de 1/4" de diámetro		Ton.		
6	Acero de refuerzo de 1/2" de diámetro		Ton.		
7	cero de refuerzo de 3/8" de diámetro				
8	Cimbra común en zapatas, castillos y cadenas		m2		
9	Cimbra aparente en castillos, columnas, cerramientos y losas		m2		
10	Muro de tabique rojo recocido 14 cm espesor, acabado común		m2		
11	Muro de tabique rojo recocido 14 c, espesor, acabado aparente una cara		M2		
	Acarreo en camión con carga manual de tierra y material suelto producto de la excava.		M3		
12	Aplanado pulido mortero-cemento 1:5 en muros		M2		
13	Aplanado serroteado mortero-cemento-arena 1:5:10 en bardas ext		M2		
14	Rellenos con material producto de la excavación		M3		
15	Relleno con tepetate compactado al 90% próctor para volúmenes menores a 50 m3		M3		
16	Pisos de concreto armado con malla soldada 12 cm espesor		M2		
17	Rellenos con tezontle en azotea		M3		
18	Entortado mortero-cemento en azotea 1:5 cm de espesor		M2		
19	Enladrillado en azotea ladrillo rojo recocido 2-14-28 con entrecalles de 1 cm.				
	Cama de arena en zanjas para tubería incluyendo acarreo libre a 20 m.		M2		
20	Impermeabilización en azotea		M2		
21	Suministro y colocación de tinaco Rotoplas de 1100 litros		pza.		
22	Suministro y colocación de tinaco Rotoplas de 850 litros		pza.		

23	Suministro y colocación de herrería estructural	kg
24	Suministro y colocación de herrería tubular	kg
25	Suministro y colocación de rejilla Irving de 30 cm de ancho	m. l.
26	Pintura vinílica en muros y plafones	m <sup>2</sup>
27	Pintura de esmalte en herrería	m <sup>2</sup>
28	Pintura en aplanado serroteado	m <sup>2</sup>
29	Suministro de chapas de seguridad	pza.
30	Protección sobre muro, tipo concertina de acero inox.	m. l.
31	Letrero de identificación e información de la obra	pza.
32	Identificación del pozo, logotipos del G:D:F.	pza.
33	Impermeabilización de muros parte baja	m <sup>2</sup>
34	Suministro y colocación de retrete blanco 6 litros	pza.
35	Suministro y colocación de lavabo blanco	pza.
36	Suministro y colocación de coladera de baño	pza.
37	Sum. Y coloc de tubo de cobre de 1/2" de diámetro	m. l.
38	Suministro y colocación de cespel para baño	pza.
39	Suministro y colocación de codo de cobre de 1/2" de diámetro	pza.
40	Suministro y colocación de tee de cobre 1/2" diámetro	pza.
41	Suministro y colocación de flotador de válvula de cobre de 3/4" de diámetro	Pza.
	Suministro, colocación y pruebas de instalación hidro-sanitaria en baño	pza.
42	Sum. Y coloc de válvula de globo de 3/4" de diámetro	pza.
43	Suministro y colocación de registro eléctrico	pza.
44	Suministro y colocación de registro sanitario	pza.
45	Sum. Y colocación de tubo de pvc de 4" de diámetro	m. l.
46	Suministro y colocación de tubo de albañal 4" diám.	m. l.
47	Sum. Y coloc. De tubo poliducto color naranja 1/2"	m. l.
48	Sum. Y coloc. De cajas cuadradas para losas	pza.
49	Sum. Y coloc. De caja hexagonal de lámina p/muro	pza.
50	Suministro y colocación de concreto f'c=150 kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>

### 3 Alta y baja tensión

Conceptos y actividades principales que integran la "partida" para la obra eléctrica, los cuales al igual que en la perforación, la obra civil y equipamiento para el pozo Av. Universidad, se pagan conforme al Tabulador General de Precios Unitarios 2004; el monto de estos conceptos conforman el 15% aproximadamente del costo total del pozo, incluyen suministro, colocación, transporte, carga, descarga, almacenaje, desperdicio, etc. y que son los siguientes:

1. Poste de concreto octagonal C-11-700.
2. Poste octagonal 9-450.
3. Dado de fierro fundido n° 46 y 47.
4. Cruceta de fierro galvanizado tipo C.-4T
5. Aislador tipo suspensión para 23 KV.
6. Aislador de alfiler 23 KV.
7. Amarre para cable de A:T:
8. Abrazadera de fierro galvanizado tipo 9 U.
9. Perno doble rosca de 16" x5/8".
10. Cortacircuitos tipo SMD-20 para 23 kv.
11. Aparta-rayos auto válvulas para 23 kv.
12. Conector para línea viva tipo "perico".
13. "Calavera con ojo".
14. Varilla copperweld para red de tierra.
15. Transformador de distribución de 23 kv.
16. Conexión de líneas alimen. 23 kv al transformador.
17. Conexión de líneas de baja tensión al transformador.
18. Cable de aluminio calibre 2 AWG.
19. Clema de tensión.
20. Perno de ojo doble 8 x 5/8".
21. Pruebas de operación c/ carga a la subestación.
22. Zapata a burdy cnk-r o similar.
23. Alambre desnudo de cobre cal. N° 8 AWG.
24. Grapa paralela.
25. Aislador piña 3R.
26. Remate preformado de cable de aluminio.
28. Ancla de fierro galvanizado de 13 mm.
29. Guardacamo de ½".
30. Cable tipo THW cal. 12 AEG.

31. Cable tipo THW cal. 10 AWG.
32. Cable tipo THW cal. 1/0 AWG.
- 33.- Cable tipo THW cal. 4/0 AWG:
34. Cable desnudo cal. "0 AWG:
35. Tubo conduit P:G:G: de 13 mm.
36. Tubo conduit P:G:G: de 102 mm.
37. Tubo conduit de pvc. Pesado de 102 mm.
38. Cople esmaltado de 13 mm.
39. Cople esmaltado de 102 mm.
40. Cople conduit de pvc. De 102 mm.
41. Codo esmaltado de 90° de 13 mm.
42. Codo de 90° con rosca de 102 mm.
43. Codo de 90° de 102 mm.
44. Conector de 102 mm.
45. Abrazadera tipo una domez de 19 mm.
46. Contra y monitor de 19 mm.
47. Contra y monitor de 102 mm.
48. Condulet tipo LB de 19 mm.
49. Caja cuadrada para tubo conduit de 19 mm.
50. Tapa de lámina de 19 mm. de ¾".
51. Chalupa para tubo conduit de 13 mm.
52. Apagador 1 polo línea magic.
53. Receptáculo doble cat. M. 5650 15 a 250.
54. Placa de aluminio de 2 ventanas.
55. Luminaria fluorescente de sobreponer 2 x 38 watts.
56. Interruptor termomagnético QO 150 L:P.
57. Interruptor de seguridad D-221NA, 2P.
58. Centro de carga, QO-132 L 125 AMPS.
59. Excavación de 0.00 a 2.00 m. de profundidad.

60. Registro de 60 x 80 x 120, material I.
61. Interruptor de seguridad D-325- N 400 A, 3 P.
62. Interruptor de seguridad D- 326- N 600 A, 30.
61. Luminario cromalite media non cut off tipo IV y lámparas de 250 W.
62. Gabinete para interruptor termomagnético KA225.
63. Soquets de baquelita.
64. Conector recto de 12.7 mm. "E" para cable.
65. Niple de 12.7 mm.
66. Condulet tipo "FS" de 12.7 mm. (1 ½").
67. Conduilet tipo "I" de 38 mm. (1 ¼").
68. Condulet tipo "LL" de 38 mm. (1 ¼").
69. Tubo conduit tipo licuatite de 19 mm. (3/4").
70. Conector de 19 mm. (3/4").
71. Conector mecánico para tierras KS25.
72. Contra y monitor de 76 mm. de (3").
73. Cople con rosca de 51 mm. (2").
74. Codo de 90° de 51 mm. (2").
75. Tubo conduit licuatite de 51 mm. (2").
76. Conector de 76 mm. de (3").
77. Centro de cargas QO-327 m. 27 P. 100 AMP.

#### 4. Equipamiento

Para efectuar los acarrees e instalaciones de los equipos de bombeo definitivo y sus accesorios motrices y mecánicos, se consideró el mismo camión –grúa que se utilizó para la actividad del desarrollo y aforo, así como la correspondiente cuadrilla auxiliar. Teniendo presente que el camión-grúa cargó el equipo en el almacén o sitio de entrega, para transportarlo e instalarlo en el pozo, y se regresó vacío a su lugar de origen, el cual

se consideró como sitio de entrega del equipo. Aunque frecuentemente se contrata con el fabricante el transporte e instalación, incluyendo pruebas de operación.

Para la instalación del equipo de bombeo completo, se considera un tiempo de instalación de 2 horas, por cada 30.5 metros (100') de columna de la bomba, incluyendo su cuerpo de tazones, tubo de succión, etc. Y adicionalmente, una hora para la instalación del motor, transmisiones mecánicas, ajustes y anclaje del equipo en las bases que previamente se habrán preparado; pero en el campo se requiere hacer ajustes y pruebas de correcto funcionamiento.

Para fines de pago, se aplicará el precio unitario correspondiente al diámetro de la bomba instalada, el cual comprende la carga y el acarreo, la descarga del equipo en la localización del pozo, la instalación de la bomba completa, con todos sus accesorios, motor y transmisiones mecánicas, así como los ajustes y anclajes en las bases preparadas de antemano.

Al igual que la perforación, la obra civil, la alta y baja tensión del pozo, la mayoría de las veces se utiliza el Tabulador General de Precios Unitarios del Gobierno del Distrito Federal, para el pago de los aproximadamente 64 conceptos referentes al equipamiento del pozo Av. Universidad, representando un 15% del monto total de la obra.

## CAPITULO IX

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Políticas de extracción

El Distrito Federal ha incrementado su abastecimiento de agua en el presente siglo de manera paralela el incremento de la población y generalmente con déficit en la demanda sobre la oferta.

Originalmente la Ciudad de México se abastecía de un gran número de manantiales. Al incrementarse las demandas se recurrió a la extracción de agua del subsuelo primeramente, con varios cientos de pozos someros (norias), más de mil (1886).

Posiblemente el hundimiento de la Ciudad de México se inició en esas fechas , en 1891 y 1895 se registraron hundimientos de 5cm \* año.

En 1936-1944 se perforaron los primeros 93 pozos profundos, que provocaron hundimientos en la Ciudad de México de hasta 18cm \* año, entre 1938 y 1948 la perforación de pozos se extiende intermitentemente hacia los alrededores del Centro Histórico.

En 1960 se marca la frontera en que se inició la disminución de la extracción de agua en el Centro de la Ciudad de México y a su vez, el inicio de la explotación acuífera en el sur (Xochimilco-Chalco).

Para complementar el abastecimiento, las políticas de suministro optaron por la importación de agua.

Primero del Norte del DF, en la zona de Chiconautla, donde se perforó una batería de pozos cuyo caudal se conduce para el abastecimiento del norte del DF. En los años 60's se intensificaron los planes para la importación de agua de fuentes externas al DF. Ya en estas fechas se planteaban la conducción de agua desde Lerma, Cutzamala, Cuenca del Balsas, del Río Tecolutla así como de la Cuenca de Oriente.

A partir de los años 70's se acelera el proyecto Cutzamala que ha venido incrementando su dotación de agua al DF y se continúan tramitando préstamos internacionales para la Construcción de otros sistemas similares para la conducción de aguas superficiales hacia el DF a partir de zonas como el Río Tecolutla, Veracruz.

De acuerdo a los estudios realizados para el desarrollo del pozo en estudio se encontró que existen programas que regulan la perforación y la explotación de pozos además de la recarga del acuífero.

Se programa llevar a cabo la recarga artificial del acuífero de la ciudad de México utilizando agua residual tratada a nivel avanzado. Dicha recarga se considera conveniente para disminuir los problemas colaterales de sobreexplotación del acuífero, almacenar agua para uso futuro, provocar una mejoría en la calidad del agua subterránea, donde presenta alto contenido salino y, finalmente pero de gran importancia, cambiar la identidad del agua residual tratada por la de agua proveniente del subsuelo. Se han abarcado los aspectos geológicos y geohidrológicos, así como la calidad del agua de recarga, en especial el tratamiento que ésta requiere para ser inyectada al subsuelo sin producir contaminación o efectos nocivos al acuífero. Destaca el proyecto, que incluye la calidad que debe cumplir, la cual exige límites más estrictos que los relativos a la calidad del agua de consumo humano. La geología y la geohidrología del valle de México fueron recopiladas en el departamento de Geohidrología de la dirección técnica del SACM. Consistieron en los informes sobre piezometría elaborados en los años del 2002 y 2003. incluyen la cartografía geológica,

la descripción del funcionamiento de los acuíferos, así como los datos piezométricos de alrededor de 1000 pozos, cuya información permitió la construcción del modelo.

Dentro de este marco, existen algunos vacíos en el conocimiento del aspecto hidrogeoquímico que se producirá en la mezcla de recarga con la del acuífero. Para ello, se aplican modelos matemáticos que permiten definir tanto la dirección del flujo y el volumen de agua susceptible de ser recargada en zonas específicas, así como la química del agua de recarga al ser incorporada al acuífero.

Para esto se calibró el modelo de flujo del acuífero utilizando el periodo de 1993 al 2003.

Se realizaron simulaciones del comportamiento del acuífero a 5, 10 y 20 años, inicialmente se consideraron la condición que prevalecían en el 2002. Se recopilaron los valores de permeabilidad, conductividad eléctrica y coeficiente de almacenamiento del acuífero, expresado como coeficiente específico cuando es confinado y rendimiento específico cuando es libre.

Los esfuerzos que corresponden a los volúmenes de extracción de agua a través de pozos, fueron incluidos tomando en cuenta el historial hidrométrico. Otro parámetro que se consideró fue la recarga que recibe de forma natural y artificial.

Se recomienda:

Actualizar el censo de aprovechamiento de agua subterránea de pozos particulares.

Realizar pruebas de bombeo para actualizar los parámetros de transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento, los cuales se están modificando por el abatimiento del

nivel estático, además de que el acuífero ha cambiado su estado de confinado a libre en prácticamente en todo el Distrito Federal.

Dar seguimiento periódico (anual) para mantener vigente la información y sea útil para la toma de decisiones relativa al manejo del acuífero.

Durante los años 2002 y 2003 la secretaria del medio ambiente del gobierno del Distrito Federal trabajo sobre la elaboración de un proyecto de norma ambiental que establece la normas y requisitos para la recarga por inyección directa de agua residual tratada al acuífero de la zona metropolitana de la ciudad de México. Cabe destacar que incluye los límites máximos permisibles de calidad de agua para ser recargada al subsuelo. En dicha norma se establece que la calidad del agua por recargar debe cumplir con límites máximos en cuanto a sus características microbiológicas, físicas y químicas, que implicaran un costo muy alto y complejidad en los sistemas de tratamiento.

Entre los parámetros sancionados, se encuentran los sólidos totales disueltos y el hierro, cuyos valores máximos permitidos serán de 1.000 y 0.3 mg/l respectivamente.

Otro aspecto importante del proyecto de norma ambiental es que el agua de recarga deberá de permanecer en el acuífero receptor un período mínimo de un año previo a su extracción para cualquier uso subsecuente. Por lo que respecta al riesgo que pudiera existir en la recarga al acuífero con agua residual tratada, esto no existe siempre y cuando se cumpla con lo establecido en el proyecto de la norma.

### **Proyecto de norma ambiental para el D. F.**

PROT-NADF-003-AGUA-2002, Que establece las condiciones y requisitos para la recarga en el D.F. por inyección directa tratada al acuífero de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

El objetivo del proyecto es, proteger el acuífero y la salud de la población regulando las actividades de recarga artificial por inyección directa a través del establecimiento de:

- a) Los valores permisibles de la calidad del agua utilizada para la recarga artificial del acuífero entendidos como condiciones particulares de descarga.
- b) Un programa de actividades para el control y vigilancia de la calidad del agua utilizada antes y después de la recarga artificial del acuífero.
- c) Los procedimientos administrativos a los que deberán estar sujetos los procesos de construcción y operación de los sistemas de recarga y para su autorización.

### **Políticas a futuro**

La extracción de agua del acuífero de la Ciudad de México, ha sido la principal fuente de abastecimiento, aunque su sobreexplotación ha causado abatimientos del nivel con sus respectivos efectos, principalmente asentamientos del terreno, abatimiento del nivel piezométrico y en cierta medida propiciando el deterioro de la calidad del agua. Los abatimientos más notables se han producido en la parte central y sur del DF donde por lo tanto se es conveniente desconectar la extracción, realizando una distribución espacial más homogénea.

En la zona Sur-occidental de la Ciudad, se ha venido observando un incremento en el nivel de agua subterránea ocasionado por la infiltración de aguas, principalmente pluviales.

Este drenaje municipal eliminaría una fuente de contaminación del acuífero, mientras que la infiltración de aguas pluviales puede continuar controlando su calidad, así de esta manera es factible incrementar la explotación del acuífero en esta zona con 2 objetivos:

1.- Dotación de agua

2.- Limpieza del acuífero donde el agua presenta calidad deficiente en superficies, el agua extraída puede ser tratada o diluida.

Los problemas de abastecimiento de agua a la Ciudad de México parecen no tener fin, las inversiones para la importación de grandes volúmenes en bloques son sumamente altas por ello se ha planteado el "proyecto de agua Texcoco".

Se ubica en la franja norte-sur, entre Texcoco y Chicoloapan de Juárez, consiste en la compra de derechos de agua a los actuales agricultores.

Existe una extracción de agua en esta zona de 8 m<sup>3</sup>/seg. Al adquirir el 25% de los derechos se obtendrían 2 m<sup>3</sup>/seg para conducirlos al DF sin aumentar la explotación que actualmente se hace en el acuífero.

### **Conclusiones**

Podemos concluir que de acuerdo a las investigaciones encontradas en el gobierno del D. F. se puede decir que la explotación de agua por medio de pozos esta en el limite, de acuerdo a las mediciones registradas en los hundimientos de la ciudad de México, por lo que ya no es conveniente hacer nuevas perforaciones, y para no perder el agua de los ya existentes, en ocasiones es mejor rehabilitarlos en la misma

zona, pero no siempre encontrando la mejor opción o la más viable porque podría ser contraproducente, todo esto por los costos que generaría todo el estudio en la investigación, diseño y construcción del pozo reubicado. Además no es el costo de perforación de un pozo nuevo o reubicado, sino que al provocar hundimientos en el suelo de la ciudad de México por el abatimiento del nivel freático, los costos que genera reparar toda la infraestructura instalada serían muy altos, por lo que se debe tomar otra alternativa, como la de exportar agua de otras ciudades, como se planea traerla de la parte del río Tecolutla (Veracruz), aunque en un principio esto sea más costoso, refiriéndose solo en términos monetarios, pero con menos repercusiones para el suelo de la ciudad de México; y así satisfacer la demanda de agua potable en la ciudad de México.

También el cuidar que los asentamientos irregulares en zonas de reserva ecológica no se presenten es de suma importancia, puesto que estos asentamientos y urbanización de las zonas impiden la captación de agua de lluvia, la filtración y así como también la recarga del acuífero.

Otro problema que nos genera esta urbanización irregular es que al no contar con una estructura sanitaria adecuada (drenaje), se utilizan en estas zonas fosas sépticas sin algún control de tipo sanitario, las filtraciones de estas aguas provocan contaminación del acuífero, por todo ésto, recalcamos el cuidar que no se presenten estos asentamientos irregulares.

Por otra parte para no terminar con la alternativa que debemos de tener agua del subsuelo de la ciudad de México, es recomendable la separación de aguas grises con las de aguas negras.

Es recomendable utilizar las aguas grises para darles un tratamiento primario y así emplearla en la recarga del acuífero, sería una alternativa muy buena siempre y

cuando se cumpla con las normas de calidad para el tratamiento de esta agua y de la recarga del mismo acuífero, nos referimos de manera particular a esta alternativa, porque hemos encontrado que se han instalado pozos de absorción por muchas partes de la ciudad para el aprovechamiento del agua pluvial, en donde las aguas grises tendrían un papel importante para la recarga del acuífero de la Ciudad de México.

En estos pozos de absorción se observa que no se cumple con la parte de sanidad y mantenerlos limpios, ya que están llenos de basura y quizá sea contraproducente para la recarga, porque pueden ser focos de infección para el acuífero, además que si se bloquean por la basura no existe la posibilidad de absorción y por lo tanto no habrá recarga del subsuelo.

Por los que se debe ser muy cuidadoso en el manejo de estos pozos de absorción para que la recarga del acuífero sea más efectiva y tener el agua del acuífero disponible para su extracción por medio de nuestro pozos de abastecimiento de Agua Potable

Otra alternativa es que en las nuevas construcciones de vivienda, sobre todo en proyectos muy grandes, se recomienda captar el agua de lluvia de el área de techos y conducirla a pozos de absorción contruidos exprofeso para este fin y así tener una fuente de filtración hacia el subsuelo, y ayudar con estas acciones a recuperar un poco de lo que extraemos de nuestro acuífero.

El realizar un proyecto de grande dimensiones para construir mas plantas de tratamiento de aguas residuales y sobre todo para el manejo de aguas grises para que los costos no sean tan altos, todo por conservar más nuestro acuífero y nuestros problemas de abastecimiento de agua potable sean menos.

### **Recomendaciones.**

Antes de iniciar la perforación, la herramienta y la tubería de perforación se deben desinfectar, previo a la desinfección se deben remover las grasas, aceites y otras sustancias adheridas a las herramientas, esto se realiza con el fin de no contaminar el acuífero a explotar.2. Todos los aprovechamientos hidráulicos subterráneos deben contar con protección sanitaria de acuerdo con la estructura del pozo, en el espacio anular entre las paredes de la formación y el ademe.3. Los materiales de tubería contra-ademe y ademe (liso y ranurado) deben ser nuevos y sus elementos de unión (soldadura o pegamento) deben ser de calidad comercial, uniforme. 4. El filtro granular debe, estar conformado por partículas inertes sin aristas de origen natural, de acuerdo al diseño del pozo, en ningún caso se debe utilizar material triturado.5. Se debe estar presente siempre que se realicen los trabajos de terminación y desarrollo del pozo para corroborar que efectivamente se están realizando los trabajos de la mejor manera.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Bentón Cuellar Andrés.; Construcción de pozos para aprovechamiento de agua. Tesis Profesional. Departamento de Irrigación, Chapingo México 1986.
2. Ciudad Nezahualcóyotl, Edo. de México.; 3er Foro del agua " Agua para el siglo XXI". Junio del 2000.
3. Comisión Nacional del Agua.; Rehabilitación de pozos. México, D.F. 1993.
4. Comisión Nacional del Agua.; Perforación de pozos. México, D.F. 1994.
5. Departamento del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios. Dirección General. De Construcción y Operación Hidráulica.; Construcción de pozos profundos para alumbramiento de aguas subterráneas. (Inf. Inédita) Abril 1987
6. Diario Oficial de la Federación; NOM-003-CNA 1996. Febrero1997.
7. Diario Oficial de la Federación; NOM-127-CNA 1996. Enero1996.
8. División de Educación Continua. Facultad de Ingeniería U.N.A.M.; Apuntes del curso de perforación de pozos para agua. México, D.F. 1987.
9. Gobierno del Distrito Federal; Tabulador General de Precios Unitarios. 2003.
10. Gobierno del Distrito Federal. Secretaria de Obras y Servicios. Dirección General de construcción y operación hidráulica.; Evaluación y análisis de perspectivas para el abastecimiento de agua al Distrito Federal. (Inf. Inédita) Noviembre 2000.

11. Guzmán Merlo Raúl, Santa Cruz Figueroa Gladís, Gonzáles González Francisco.; Obras hidráulicas y organización de la construcción .Editorial Pueblo y Educación. Cuba 1978.
12. Hernández Ramírez D. Edgar.; Rehabilitación de pozos profundos en el sistema Lerma, estado de México, para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de México. Tesis Profesional. ESIA 1989.
13. Ingeniería Integral, ININSA, S.A.; Manual técnico de diseño, construcción, operación y mantenimiento de pozos en las cuencas de México y del Alto Lerma. México D.F. 1986.
14. Jonson División, UOP Inc.; El agua subterránea y los pozos. Saint Paul, Minnesota., 1975.
15. Ramírez Alvarado Oscar Felipe; Funciones de los lodos, cementación y entubado de los pozos. Tesis Profesional. Universidad Autónoma de Nuevo León 1988.
16. Ulrie P., Gibson E., Rexford R. Singer. Manual de los pozos pequeños. ; Limusa, México 1979.
17. Vargas A. Vicente. Técnica y análisis de costos de pozos profundos y aguas subterráneas.; Limusa. México 1976.
18. Lesser y Asociados , S. A. de C. V.  
Estudio para el analizar las políticas de explotación del acuífero en el D.F.1999 y pronosticar su evaluación en varios períodos.

19 Lesser y Asociados, S. A. de C. V.

Informe final.- estudio para el modelo hidrogeoquímico para simular el comportamiento del agua de recarga y la del acuífero para dar cumplimiento a la normatividad ambiental. Diciembre 2003.