

4  
20j



V N A M

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**



**APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A N**

**ALBERTO ARAOS GAMIÑO**

**HUGO RAMIREZ MENDOZA**

ASESOR: ING. HECTOR CASSAIGNE MUÑOZ †

ASESOR: ING. CARLOS ALBERTO MARTINEZ PEREZ

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

	página
INTRODUCCION.....	1
<b>CAPITULO 1. HIDROLOGIA</b>	
I. CICLO HIDROLOGICO.....	3
II. POTENCIAL MUNDIAL DE AGUA.....	6
III. EL AGUA.....	9
<b>CAPITULO 2. LA CIUDAD DE MEXICO</b>	
I. SITUACION GEOGRAFICA.....	14
II. EVOLUCION HISTORICA.....	22
III. CONSECUENCIAS DE LA URBANIZACION.....	51
<b>CAPITULO 3. LA PRECIPITACION PLUVIAL</b>	
I. ASPECTOS METEREOLÓGICOS.....	57
II. LA LLUVIA EN EL VALLE DE MEXICO.....	59
III. LA CONTAMINACION.....	64
IV. ACIDEZ EN LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN EL DISTRITO FEDERAL.....	65
<b>CAPITULO 4. EL PROYECTO</b>	
I. DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	73
II. CARACTERISTICAS DE LA ZONA.....	74
III. CARACTERISTICAS CLIMATOLÓGICAS.....	76
IV. SUPERFICIE DE CAPTACION.....	82
V. VOLUMEN DE CAPTACION.....	84
VI. CONSUMO Y GRADO DE AUTOSUFICIENCIA.....	86

página

**CAPITULO 5. DISEÑO Y SELECCION DE MATERIALES**

<b>I. TECHOS DE CAPTACION.....</b>	<b>92</b>
<b>II. CONDUCCION POR GRAVEDAD.....</b>	<b>95</b>
<b>III. FILTRACION.....</b>	<b>101</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>110</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>113</b>

## INTRODUCCION

En la Ciudad de México y Area Metropolitana se han tenido serios pro  
blemas para abastecer de agua potable a sus habitantes, debido principal  
mente a la explosión demográfica presentada y el abatimiento de los man-  
tos acuíferos, por lo tanto, nos dedicamos a la tarea de investigar y --  
realizar un proyecto que diera respuesta a esta necesidad, el cual con--  
siste en un sistema sobre bases bien cimentadas, funcional, económico y  
sencillo, que diera una alternativa más a la solución de esta problemáti  
ca.

Para la realización de este proyecto, nos dirigimos al Instituto de  
Investigaciones de la Atmósfera, Centro Meteorológico Nacional de Tacuba  
ya, Dirección General de Obras Hidráulicas, así como a estudios realiza-  
dos por la Universidad Nacional Autónoma de México, ecotécnicas y profe-  
sionales en la ecología, obteniendo de ellos datos reales y confiables.  
Además, realizamos la justificación del aprovechamiento del agua pluvial  
y el sistema que comprende desde el área de captación, sistema de tube--  
rías para la transportación de la misma hasta un vertedero regulador del  
flujo, llegando al filtro por gravedad, para que, finalmente, se deposi-  
te ésta en una cisterna equipada con un sistema de aereación.

Consecuentemente, el aprovechamiento del agua de lluvia será tan fac  
tible y real como el interés que prestemos a las cada vez más exigentes  
necesidades urbanas.

**CAPITULO 1. HIDROLOGIA**

## I. CICLO HIDROLOGICO.

El concepto básico de la hidrología está representado en un ciclo, - el cual consiste en la circulación del agua que se inicia con la evaporación de ríos, lagos, océanos y humedad superficial, para, posteriormente, condensarse y formar las nubes. Cuando ya hay una gran concentración en ellas, ésta se precipita en forma de gotas, nieve o hielo, dependiendo de la temperatura. Al caer sobre la tierra, parte se infiltra al subsuelo y parte forma escurrimientos superficiales, los cuales nuevamente son captados por los ríos, lagos y mares. (Figura N° 1)

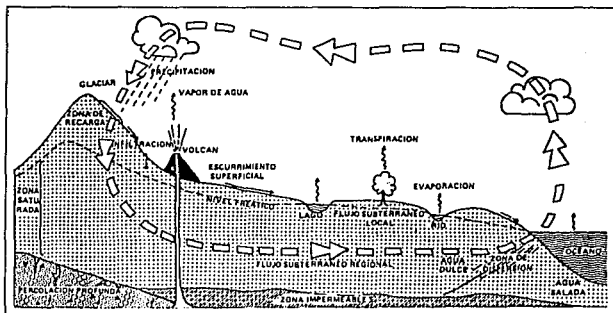


FIGURA N° 1

A lo largo del ciclo hidrológico, el movimiento del agua terrestre - se divide en cuatro fases diferentes:

A. Agua superficial.

B. Agua subterránea.

C. Agua contenida en la atmósfera (humedad).

C. Océanos.

Ahora bien, el valor numérico del tránsito de agua en cada fase del ciclo (medido en años o días) se llama periodo de retención. Esta cifra corresponde a la relación entre el volumen de ella en una fase determinada y la proporción media de flujo hidráulico en la misma.

El caudal terrestre de agua tiene un valor de  $1342 \times 10^6 \text{ Km}^3$  y la proporción media de flujo (gasto hidráulico anual) es del orden de  $0.4 \times 10^6 \text{ Km}^3$ , por lo que el periodo de retención es de 3355 años. Esto significa que, cada partícula de agua del caudal terrestre, toma parte en el movimiento a través del ciclo una sola vez cada 3355 años en promedio.

El agua superficial de los continentes es sólo una pequeña parte de la que hay en todo el planeta y su mayor volumen se encuentra en los lagos de agua dulce, sin embargo, su periodo de retención en corrientes es



bastante corto (20 días en promedio), lo cual significa que ésta se descarga y repone con mucha rapidez, de ahí que se le considere como un recurso renovable.

Pero, el agua que tiene un período de retención mayor que una generación (30 a 40 años) no transita con una velocidad suficiente, por lo que no puede ser considerada como un recurso renovable.

En general, el proceso de movimiento del agua subterránea es muy simple, ya que es producido por la fuerza de gravedad a la cual se opone la fricción del agua con el medio poroso. El tiempo promedio que le lleva a una partícula de agua viajar a través de este sistema supera los 400 años (GENAR-1972). Con respecto a la temperatura, a una profundidad de 325 m podemos esperar que ésta se encuentre de 4°C a 16°C más alta que la temperatura de la superficie, dependiendo del tipo de suelo donde esté ubicado el manto acuífero. Por otra parte, el gradiente geotérmico varía con la profundidad desde un máximo de 1°C por cada 20 m y, en algunos aluviones, a un mínimo de 1°C por cada 80 m en rocas consolidadas. Sin embargo, debido a fuentes principales de calor como suelen ser las rocas volcánicas fundidas con vapor asociado, la temperatura del agua puede discrepar bastante del gradiente geotérmico anteriormente señalado.

Es conveniente mencionar que bajo la superficie de la tierra disponemos de un determinado potencial de agua almacenada, el cual juega un papel esencial en la circulación natural de toda la que existe en nuestro

planeta dentro del ciclo hidrológico, permitiendo que se sostenga el flujo de muchos ríos del mundo durante la época de secas. Asimismo, la lluvia y la nieve producen escurrimientos en las corrientes superficiales, los cuales se distribuyen irregularmente en tiempo y espacio y, de no contribuir al almacenamiento subterráneo, los grandes ríos se secarían irremediablemente.

## II. POTENCIAL MUNDIAL DE AGUA.

El agua, líquido vital para la vida, fue formada hace 4500 millones de años, que es el mismo lapso de existencia de la tierra. Sin embargo, realmente hay un periodo histórico en el cual se puede seguir una pista sobre ella con cierta exactitud y es el de los últimos 600 años.

La extensión del globo terráqueo es de 510 millones de  $\text{km}^2$ , de los cuales, la superficie correspondiente a los diversos océanos es de 361 millones de  $\text{km}^2$ , o sea, un 71%. La superficie terrestre abarca 149 millones de  $\text{km}^2$ .

Existen diversos cálculos sobre el volumen total del agua en el mundo, pero, para la realización de este trabajo, anotamos el que fue dado en el Primer Simposium Sobre Potabilización del Agua de Mar, celebrado en Washington en 1965, el cual dio la cifra de 1342 millones de  $\text{km}^3$ . -- (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1  
Volumen Mundial de Agua

Concepto	Millones de Km <sup>3</sup>	%
Océanos	1307	97.4
Glaciares	25	1.8
Agua dulce	<u>10</u>	<u>0.8</u>
Total	1342	100.0

Refiriéndonos al agua dulce, ésta se encuentra en depósitos subterráneos, lagos, corrientes y en la atmósfera. La distribución mundial de este elemento está dada tal y como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 2  
Distribución Mundial de Agua

Concepto	Millones de Km <sup>3</sup>	%
1. Océanos.	1307.00	97.389
2. Glaciares y campos de hielo.	24.6	1.833
3. Agua dulce en estado líquido:		
a. Agua subterránea a más de 800 m.	4.55	
b. Agua subterránea a menos de 800 m.	5.65	
c. Zona profunda.	<u>0.012</u>	
Subtotal	<u>10.212</u>	0.761
4. Agua superficial:		
a. Lagos de agua dulce.	0.125	
b. Lagos agua salada y mares internos.	0.085	
c. Canales y corrientes.	<u>0.0003</u>	
Subtotal	<u>0.2103</u>	0.016
5. Agua atmosférica.	0.014	0.001
Total	<u>1342.0363</u>	<u>100.00</u>

Según las estadísticas de la geografía mundial, la longitud de los -  
80 principales ríos del mundo es de 174,000 kilómetros.

Cuadro N° 3  
Extensión de los Ríos por Continente

Continente	Longitud en kilómetros	N° de Ríos
Africa	26,700	10
América del Norte	27,700	10
América del Sur	21,500	8
Asia	56,900	15
Europa	37,700	36
Oceanía	<u>3,500</u>	<u>1</u>
Total	174,000	80

Por otra parte, la profundidad media de los principales lagos del -  
mundo es de 120 m (promedio mundial), y éstos se encuentran distribuidos  
como se muestra a continuación:

Cuadro N° 4

Continente	N° de Lagos	Superficie Km <sup>2</sup>
Africa	9	170,000
América	16	214,000
Asia	7	136,000
Europa	53	492,000
Oceanía	<u>3</u>	<u>23,000</u>
Total	88	1'035,000

Como hemos visto, se puede llegar a ciertas conclusiones importantes sobre el potencial mundial de agua, que son:

- A. Los océanos representan el 97% del total del agua; los glaciares el 1.8% y el total de agua dulce el 0.8%.
- B. Las aguas subterráneas son 50 veces más grandes que las que se encuentran en el total de la superficie.
- C. El agua total del mundo en ríos y corrientes sólo significa el 0.15% del agua superficial global, la cual, además, se encuentra en su mayor proporción en los grandes lagos del mundo.
- D. El agua que se encuentra en la atmósfera es 40 veces mayor a la que hay en ríos y corrientes, pero sólo el 7% de la que está en la superficie total.
- E. El agua subterránea, con relativo fácil acceso y una profundidad de menos de 800 m, cuenta con sólo 5.65 millones de  $\text{km}^3$ .

### III. EL AGUA.

Su definición es la siguiente: Cuerpo líquido transparente, inodoro e insípido, que está compuesto por una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Sobre las propiedades físicas del agua, tenemos lo siguiente:

● Punto de congelación.	0°C
● Densidad a 0°C.	0.92 gr/cm <sup>3</sup>
● Máxima densidad a 4°C.	1.0 gr/cm <sup>3</sup>
● Calor de fusión.	80 cal/g
● Punto de ebullición a nivel del mar.	100°C
● Calor de vaporización.	540 cal/g
● Temperatura crítica.	374°C
● Presión crítica.	217 atm.

Gracias a las propiedades del agua, se han hecho muchas medidas físicas, como la graduación del termómetro, el peso específico, el calor específico, etc.

A continuación, veremos que se pueden realizar tres agrupamientos sobre el agua:

A. Por su ubicación geográfica, este líquido se localiza en:

1. Mantos superficiales.
2. Ríos y corrientes.
3. Estratos o capas subterráneos.

4. En el mar.

5. En la atmósfera.

B. Por los usos a que se destina:

1. Agua potable para beber y la cocción de los alimentos.

2. Agua para riego.

3. Agua para uso industrial y comercial.

4. Aguas negras de desecho.

5. Agua para generación de energía eléctrica.

6. Para navegación.

7. Para deportes.

C. Por su composición física y química.

1. Agua potable.

2. Agua destilada o químicamente pura.

3. Agua oxigenada.
4. Agua de combinación.
5. Agua densa.
6. Agua viscosa (vez y medio más pesada que el agua normal).
7. Agua metabólica, que es la creada en los organismos vivientes.

Por lo que se refiere a la clasificación de la calidad de agua, tenemos lo siguiente:

- A. Potable, que es la que contiene menos de 1000 partes de sal en un millón de partes de agua, con un ph (potencial de hidrógeno) cuya norma de calidad es de 6.0 a 8.0 unidades; nitrógeno amoniacal, - cuya norma de calidad es hasta 0.50 mgrs/lt; fierro, cuya norma - de calidad es hasta 400 mgrs/lt; oxígeno consumido en medio ácido cuya norma de calidad es hasta 3.00 mgrs/lt y manganeso, cuya norma de calidad es hasta 0.50 mgrs/lt.
- B. Salobre, que es la que tiene una salinidad entre 1000 y 35000 --- ppm.
- C. Agua de mar, con 35000 ppm.



**CAPITULO 2. LA CIUDAD DE MEXICO**

## I. SITUACION GEOGRAFICA.

La Ciudad de México se ubica en los 19° 25' de latitud norte y los 99° 10' de longitud oeste en la zona meridional de la cuenca del Valle de México, la que, a su vez, está situada en el borde sur de la Mesa Central, aproximadamente entre los paralelos 19° 03' y 20° 11' de latitud norte y los meridianos 98° 11' y 99° 30' de longitud oeste. Su forma es semejante a la de una elipse (Mapa N° 1), en la que su eje mayor delimitado por Xochimilco al suroeste y Pachuca en el norte, mide aproximadamente 110 km; mientras que su eje menor, definido por la Sierra de Las Cruces al suroeste y por la Sierra Nevada al sureste mide cerca de los 80 km.

Esta se encuentra delimitada al norte por la cuenca del río Tula y de la Laguna de Metztlán; al oriente por las cuencas de los ríos Tecolutla, Atoyac y Mixteco; por la cuenca del río Amacuzac al sur y, al poniente, por la cuenca del río Lerma. Tiene una extensión de 9600 km<sup>2</sup> y su altura sobre el nivel del mar oscila entre los 2240 y 2390 metros. Está completamente rodeada por montañas de origen volcánico cuyas alturas van de 4000 a 5000 m.s.n.m., por lo que constituye, geológicamente, una cuenca cerrada sin salidas naturales para los escurrimientos que se generan dentro de ella.

En el Valle de México existieron varios lagos de poca profundidad, de los cuales, el de Texcoco fue el mayor, siguiéndole en importancia la Laguna de Zumpango en el noroeste. Por otra parte, el Lago de Chalco,



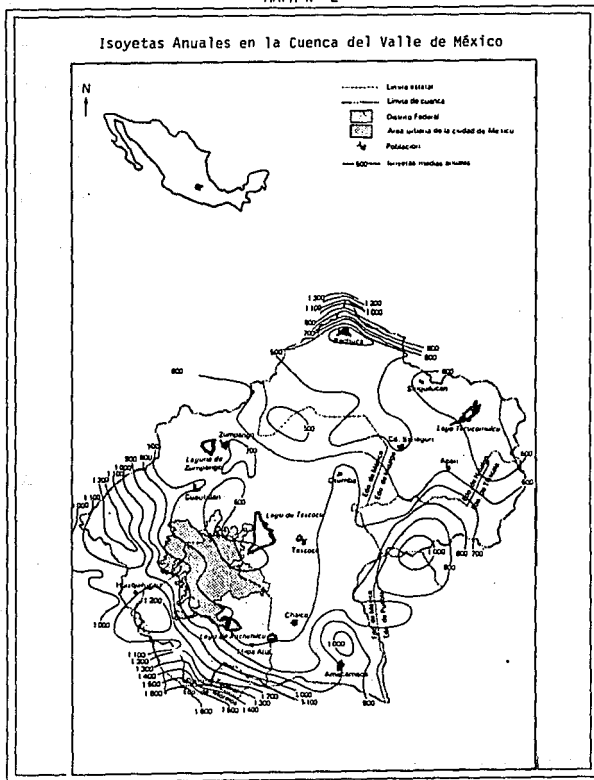
tercero en importancia, se extinguió por completo a principios del presente siglo.

En años recientes, el Lago de Texcoco ha sido transformado en zonas pequeñas bien definidas en las que se tienen instalaciones para el tratamiento de aguas residuales y de escurrimientos superficiales, el control de aguas pluviales y áreas de pastoreo. Este lago, junto con la Laguna de Zumpango y los Canales de Xochimilco, constituyen los últimos vestigios de muchos otros cuerpos de agua que formaban probablemente uno solo en la Era Glaciar. Y, hacia el noreste del Valle, existen algunas lagunas de poca profundidad como las de Apan, Tochac y Tecocomulco, las cuales desaparecen en la época de estiaje.

#### A. Clima y Relieve.

El clima del Valle de México se clasifica como subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura promedio anual es de 15°C con una oscilación típica entre 10°C y 25°C. En general, las lluvias ocurren de mayo a octubre y la época de secas abarca el resto del año. La precipitación pluvial promedio alcanza un valor de 700 mm por año. Sin embargo, este índice de precipitación aumenta en la región que va del noroeste al suroeste del Valle, y, como se muestra en el Mapa N° 2, los grandes chubascos o tormentas pueden ocurrir casi indistintamente en cualquier parte de esta zona y, en particular, en cualquier punto de la Ciudad de México.

MAPA N° 2



Son notablemente variadas las características geomorfológicas y bióticas de la cuenca, ya que a pesar de la extensión superficial, encontramos en ella grandes sierras, cerros aislados y profundos valles, lo que permite el desarrollo de una extensa variedad de paisajes. Por ejemplo, mientras que al Valle de Texcoco le corresponde un paisaje árido, en el Ajusco encontramos un poblado bosque de coníferas y vegetación abundante.

En la cuenca del Valle de México existen tres zonas bien definidas - geomorfológicamente:

1. Zona baja. Limitada desde el fondo de la cuenca hasta la curva de nivel a 2250 m.s.n.m., con una extensión de 1507 km<sup>2</sup>.
2. Zona de lomeríos. Comprendida entre la curva de nivel a 2250-2400 m.s.n.m., con una superficie de 2275 km<sup>2</sup>.
3. Zona montañosa. Comprendida entre la curva de nivel a 2400 m.s.n.m. y el lindero de la cuenca, con una superficie de 5518 km<sup>2</sup>.

De acuerdo con la Dirección de Conservación de Suelos de la ya desaparecida Secretaría de Agricultura y Ganadería, se definen como terrenos planos los que tienen pendientes menores de 15° y, terrenos cerriles, los que presentan pendientes mayores de 15°. La cuenca tiene el 53.5% de los primeros y el 46.5% de los segundos, los que generan escurrimientos importantes y de alta velocidad en la época de lluvias, creando, además,

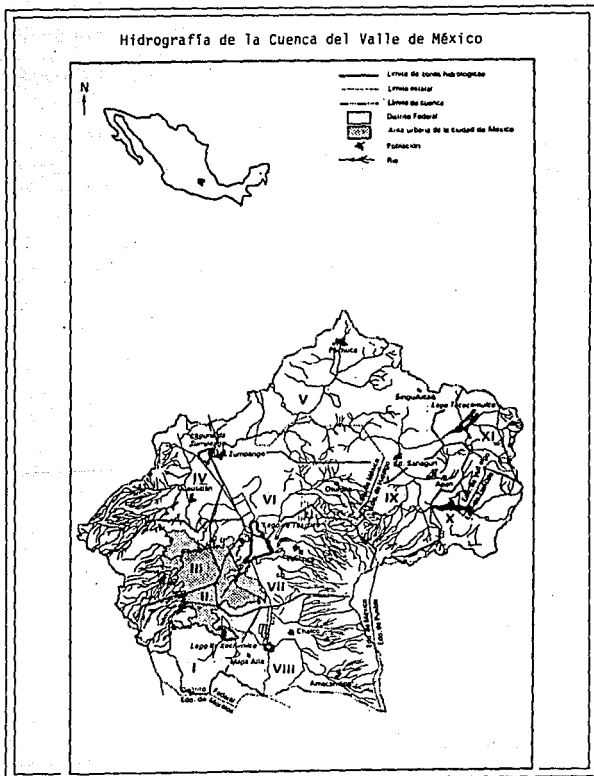
grandes crecientes difíciles de controlar.

#### B. Hidrología.

En conjunto, las corrientes superficiales de la cuenca del Valle de México tienen un caudal medio de  $19 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , que equivalen al 9% del volumen pluvial en un año. Desgraciadamente, todas estas corrientes están contaminadas, por lo que resulta imposible su aprovechamiento. Por otra parte, el Mapa N° 3, muestra las once zonas en que se divide éste para su estudio hidrológico.

La Zona I, comprende las cuencas de los ríos San Gregorio, San Lucas, Santiago y San Buenaventura, los cuales descienden de la Sierra del Chichinautzin; las zonas II y III, contienen corrientes intermitentes, - salvo las de los ríos Magdalena, Mixcoac, Tacubaya, Hondo y Tlalnepantla, los cuales bajan hacia el área urbanizada de la Ciudad de México -- desde el poniente del Valle; la zona IV, abarca las cuencas de los ríos Tepotzotlán y Cuautitlán que se originan en el noroeste; las zonas V y VI corresponden, básicamente, a las cuencas de los ríos de las avenidas de Pachuca y San Juan Teotihuacán respectivamente; en la zona VII se incluyen los ríos que desembocan en el Lago de Texcoco, como son el río Churubusco y río De la Compañía; la zona VIII comprende los ríos que se sitúan entre el río San Francisco y el río Milpa Alta. Finalmente, las zonas IX, X y XI se extienden desde la cuenca del río Tizar hasta las corrientes alimentadoras del río Tecocomulco.

MAPA N° 3





### C. Geología y Agua Subterránea.

Como se vió en la sección anterior, el agua superficial de la cuenca es poco aprovechable debido a su alto grado de contaminación y carácter temporal. Por ello, los manantiales y los acuíferos, íntimamente ligados entre sí, han jugado un papel fundamental en la tarea de saciar la sed de la gran ciudad.

La cuenca del Valle de México, desde el punto de vista geohidrológico, constituye una gran olla formada por rocas volcánicas (andesitas y dacitas) del Terciario Medio y del Terciario Superior. Estas rocas, conforman el fondo y las paredes impermeables de la misma. Al este, oeste y norte de la Ciudad de México se localizan depósitos de diamante, clásticos sedimentarios, horizontes de piedra pómez y conglomerados fluviales, constituidos en el Plioceno y de constitución muy variada, presentando alguna cementación, por lo que tienen poca permeabilidad.

En la zona sur se localizan rocas y clásticos de erupciones basálticas o de andesitas basálticas de todo el periodo Cuaternario. Estas formaciones son de alta porosidad y gran permeabilidad, por lo que se considerará a esta zona como la de principal recarga del acuífero.

Los estratos de arcilla, superior e inferior del subsuelo, juegan un papel muy importante para la Ciudad de México ya que, por una parte, son el lugar donde descansan los cimientos de sus construcciones, y por otra, constituyen mantos que ceden agua, lo cual implica que sufren asen-

tamientos al abatirse las presiones en el acuífero profundo por causa - del bombeo.

Durante el presente siglo, se han registrado hundimientos que alcanzan los nueve metros, principalmente en el Centro de la Ciudad. La sobreexplotación de los acuíferos también ha producido cambios en la calidad físico-química del agua subterránea que se extrae, puesto que se llega a explotar mantos de aguas fósiles, las cuales han estado muchos años en contacto con minerales que, al disolverse, contienen sales perjudiciales para el organismo humano.

## II. EVOLUCION HISTORICA.

En un llano rodeado por lagos y por sierras de más de 5000 metros de altura, el pueblo de los aztecas fundó en 1325 una ciudad que, en poco tiempo, se convirtió en el centro indígena más importante de la región: la Gran Tenochtitlán, hoy, la Ciudad de México.

Debido a su situación geográfica, la Gran Tenochtitlán tuvo que responder desde esa temprana época con obras hidráulicas de gran envergadura para controlar los diferentes eventos que en ella se sucedían, inundaciones y epidemias, sequías y hambrunas que azotaban a la ciudad, muchas veces en forma alternada. Por lo que el actual sistema hidráulico es producto de acciones realizadas durante 662 años de lucha a favor y en contra de este vital líquido.

#### A. Epoca Prehispánica y Colonial.

Esta primera etapa, que se extendió hasta fines del siglo XVIII, se caracterizó por las fluctuaciones en los niveles de los lagos que concernían los escurrimientos del Valle de México, pero, a causa de que se trataba de un espacio cerrado geológicamente, bastaba que en varios años sucesivos se presentaran veranos lluviosos para que el nivel de los lagos se elevase. Este problema se enfrentó mediante bordos y diques de contención. Por ejemplo, en 1450, Netzahualcōyotl, rey de Texcoco, por encargo del rey Moctezuma, diseñó y dirigió la construcción de un albarra-dón o dique de 16 kilómetros de longitud para proteger a la Gran Tenochtitlán del azote frecuente de las inundaciones. Esta construcción fue al mismo tiempo, una obra ecológica, porque evitó que las aguas dulces se contaminaran con las aguas saladas provenientes del Lago de Texcoco.

Por otra parte, el abastecimiento de agua provenía en esa época de manantiales y Netzahualcōyotl, verdadero pionero de la ingeniería mexicana, construyó también el Acueducto de Chapultepec para conducir el agua hasta la Ciudad.

Después de la Conquista de México, las autoridades coloniales siguieron el mismo sistema de los aztecas, conteniendo las aguas mediante diques y abasteciéndose de manantiales mediante acueductos. Sin embargo, las lluvias torrenciales continuaban ocasionando graves inundaciones. Así, en 1604 y 1607 el desbordamiento del río Cuautitlán, ocasionó cuantiosas muertes y graves daños materiales. Para solucionar este proble-

ma, se construyó, en menos de un año, un túnel en la zona de Nochiston--go, constituyéndose así la primera salida artificial del Valle. Esta ---obra funcionó por muy poco tiempo debido a los constantes derrumbes suscitados por la falta de revestimiento, por lo que se propuso, después, -la construcción de un gran tajo o zanja que se terminó luego de 160 años de trabajo y tuvo como nombre El Tajo de Nochistongo, el cual fue finalizado en 1789 y continuó funcionando hasta fines del siglo pasado, dando paso permanente a las aguas del río Cuautitlán. Así, pues, se inició la alteración de la ecología del área, ya que con la nueva salida, el nivel de los lagos ya no crecía y la Ciudad comenzó a extenderse sobre las plnicies lacustres.

#### B. El Siglo XIX.

En esta época, la población y la riqueza se concentraban en las orillas de los antiguos lagos, por consiguiente, cuando los ríos que atravesaban la ciudad se salían de su cauce y ocupaban las áreas bajas, estas zonas resultaban afectadas por inundaciones, resintiéndose por ello cuantiosos daños.

Hacia 1856, las inundaciones eran cada vez más alarmantes y, en algunas zonas, su nivel alcanzaba hasta tres metros de altura, por lo que se decidió en aquel entonces, emprender nuevas obras, tales como el Gran Canal del Desagüe y el Túnel de Tequisquiac, las cuales constituyeron la -segunda salida artificial del Valle de México. Ambas obras se inauguraron en el año de 1900.

Entre tanto, el abastecimiento de agua proporcionado por los manantiales resultaba insuficiente, por lo que en 1847 ya existían casi 500 pozos, incrementándose a más de mil en 1886. A juzgar por las nivelaciones realizadas de 1891 a 1895, el hundimiento de la Ciudad se iniciaba por esas fechas, ya que éstas registraban un descenso de cinco centímetros por año. Además de que se redujo el caudal de los manantiales de Chapultepec por la disminución en la presión del acuífero a causa de la extracción.

#### C. Los Primeros 75 Años del Siglo XX.

La construcción del Gran Canal y del Túnel de Tequisquiác propició nuevos asentamientos humanos y mayor concentración de la población, sin embargo, la perforación de nuevos pozos no sufrió mucho incremento hasta 1936. Posteriormente, el desarrollo industrial registrado en torno a la Segunda Guerra Mundial hizo crecer las necesidades de abastecimiento y de 1936 a 1944 se inicia la perforación de los primeros noventa y tres pozos profundos, lo que ocasionó que el hundimiento en el Centro de la Ciudad se incrementara de cinco a dieciocho centímetros por año entre 1938 y 1948.

Desde luego, el déficit en el abastecimiento de agua para la Ciudad continuaba, por lo que en 1942 se iniciaron obras para captar los manantiales del río Lerma en el Valle de Toluca, pero, por un retraso en las mismas, se alcanzaron a perforar en 1951 únicamente diez pozos municipales profundos.

En consecuencia y gracias a los estudios realizados en 1947 por el doctor Nabor Carrillo con respecto al hundimiento acelerado de la Ciudad, en 1954 se suspendieron los permisos para la perforación de pozos particulares, no obstante, en 1955 se perforaron diez más y, en 1958, se empezaron a explotar los pozos del Peñón. Más tarde, de 1960 a 1967, se perforaron alrededor de cincuenta, esta vez alejados del Centro de la Ciudad, pero, por el hecho de que muchos de ellos estaban situados en zonas arcillosas, también éstos causaron hundimientos; sin embargo, cabe citar que gracias a ellos se redujeron notablemente los hundimientos del centro ciudadano entre 1960 y 1970.

Asimismo, en 1954 comienza a operar la primera Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, con el fin de evitar el empleo de agua potable en los usos que no requirieran esa calidad. A pesar de este tipo de acciones, la sed del gigante no quedaba satisfecha y los manantiales de Xochimilco debieron bombearse hasta agotarlos. En 1964, hubo que perforar en esa zona baterías de pozos para suplir el caudal de los manantiales, por lo que la perforación en esta zona se incrementó en 1973. Por otra parte, en 1967 se incrementó la aportación proveniente del río Lerma y en 1977 entra a la red de abastecimiento el caudal de los pozos perforados en el sur de la Ciudad (a lo largo del Anillo Periférico y de la ruta Tláhuac-Netzahualcóyotl) y los que se hicieron al norte del Valle (en la zona Los Reyes-Teoloyucan).

En relación con el desalojo de las aguas residuales y pluviales, se construyó, a principios de siglo, una red de alcantarillado formada por

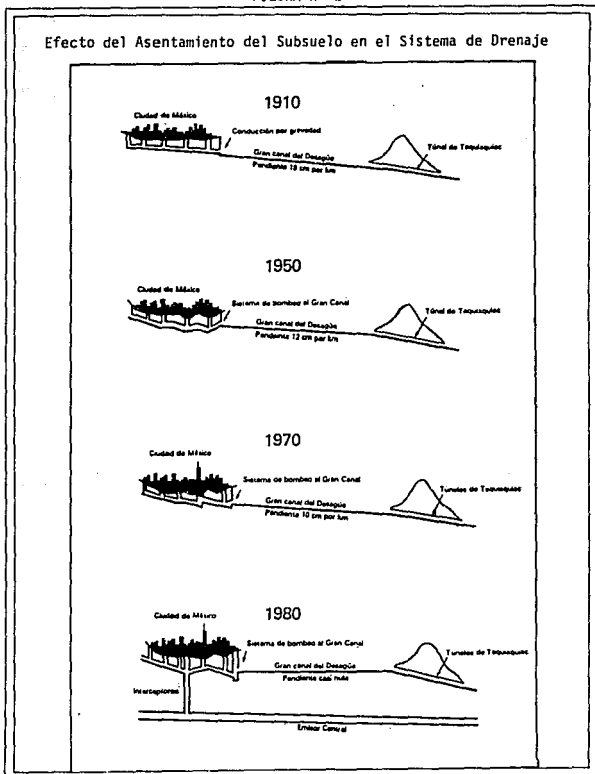
colectores que iban principalmente de poniente a oriente, siguiendo, de manera aproximada, la pendiente del terreno. Estos conductos se volvieron insuficientes para una población de casi dos millones de habitantes en 1940, por consiguiente, en esa década hubo varias inundaciones graves en las partes bajas de la Ciudad.

Por otra parte, el asentamiento del subsuelo ocasionado por la sobre explotación de los acuíferos, deterioró el drenaje y disminuyó su capacidad para desalojar las aguas del Valle de México, lo que motivó la ampliación del Gran Canal y la construcción de la tercera salida artificial, llamada el Segundo Túnel de Tequisquiac.

En el Centro de la Ciudad, los hundimientos hicieron que el drenaje, proyectado para trabajar por gravedad, requiriera de bombeo para elevar las aguas hasta el nivel del Gran Canal, por este motivo, de 1952 a 1966 se instalaron veintinueve plantas de bombeo en diferentes zonas del Distrito Federal, lo que implicó un notable incremento en los costos de operación y mantenimiento. También se entubaron, total o parcialmente, los ríos Churubusco, Mixcoac, La Piedad y Consulado, que conducían aguas residuales a cielo abierto en condiciones insalubres y se completó, además, la red de colectores. De 1960 a 1961 se construyeron El Interceptor y El Emisor del Poniente con el objeto de recibir y desalojar las aguas del oeste de la cuenca.

En la Figura N° 2, se ilustran los problemas del asentamiento del subsuelo a los que se ha hecho referencia, en ella se aprecia el Gran Ca

FIGURA N° 2





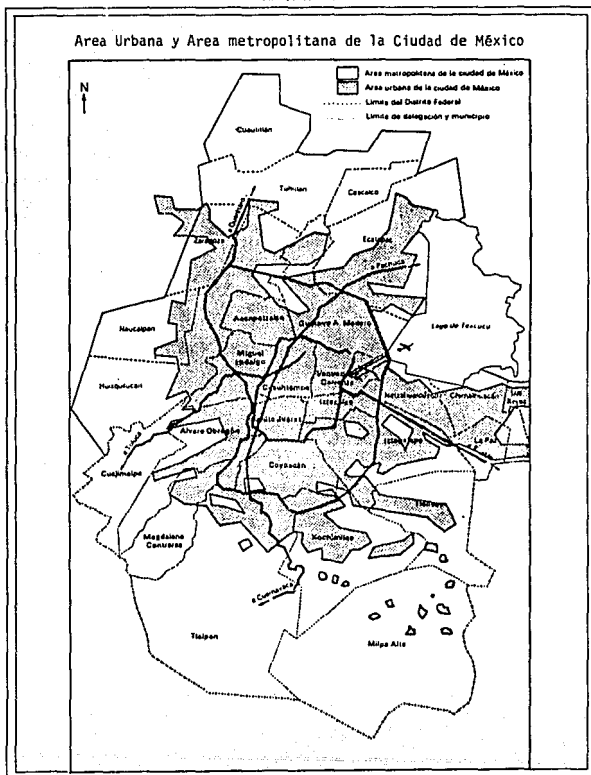
nal, el cual a principios de siglo tenía una pendiente de diecinueve centímetros por kilómetro, y que, en la actualidad, es prácticamente horizontal. En 1910, el nivel del Lago de Texcoco, que regulaba las aguas de este Canal, se encontraba a 1.90 metros por debajo del Centro de la Capital. Pero, en 1970 el hundimiento había sido tal, que el Lago ya se encontraba a 5.50 metros por encima del Centro ciudadano.

Vemos, así, cómo el desmesurado crecimiento urbano demandaba más superficie para extenderse y esto, aunado a los problemas del hundimiento, volvió insuficientes las capacidades de drenaje del Gran Canal y del Emisor del Poniente, por lo que se hizo necesario construir la primera etapa de Drenaje Profundo, la cual fue terminada en 1975. En esta obra, se instalaron conductos a una profundidad tal que no fueran afectados -- por los asentamientos de terreno, no requirieran de bombeo y que, con su sólo desnivel, expulsaran los excedentes de agua en época de lluvias. -- Fue así como surgió la cuarta salida artificial del Valle de México.

#### D. El Momento Actual.

La población del Distrito Federal ha crecido muy rápidamente a causa de una alta concentración de la actividad económica. El 46% de la producción industrial nacional y el 25% de la población económicamente activa se concentra dentro de la zona metropolitana de la Ciudad de México, y hoy en día incluye once municipios del vecino Estado de México (Mapa N° 4).

MAPA N° 4



Cálculos aproximados indican que en ella habitan cerca de 18 millones de personas y que, de continuar con los actuales patrones de crecimiento demográfico, esta cifra se incrementará a 30 millones para el año 2000. La superficie necesaria para albergar a esta cantidad de personas será de 2330 km<sup>2</sup>.

Por otra parte, y no obstante que la tercera parte de la población de la mancha urbana se concentra en los municipios del Estado de México, la mayoría de ella labora en el Distrito Federal y utiliza su infraestructura, por lo que, las secciones tratadas en este inciso, estarán enfocadas a esta región en particular.

Cabe hacer mención que para su desarrollo, se recurrió a información contenida en estudios elaborados recientemente por diversas dependencias oficiales, así como por revistas de carácter científico y social, sin embargo, tanto por la simplicidad y la falta de coincidencia guardada en ésta, se optó por basar el presente análisis en el estudio realizado en 1982 por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica, dependencia que está a cargo del Departamento del Distrito Federal.

#### 1. Usos y niveles de servicio.

En materia de agua, la Ciudad vive una paradoja: por un lado, es indispensable desalojar los grandes volúmenes que se precipitan en tiempos muy cortos, por otro, este gigante urbano cada día tiene más sed, la cual resulta cada vez más difícil de mitigar. Además, sub

siste un contraste entre los propios usuarios del servicio de abastecimiento, mientras que unos están acostumbrados a patrones de consumo comparables a los de ciudades con disponibilidad ilimitada de agua, otros reciben dotaciones muy reducidas.

Las colonias de altos ingresos, cuentan con un sistema eficiente de abastecimiento, lo que ocasiona una falta de conciencia cívica y genera malos hábitos, derroches en el uso del vital líquido, como por ejemplo: el lavado de autos y banquetas con manguera, el riego abundante de jardines a horas de máxima insolación y el mantenimiento excesivo de albercas, que son algunos de estos vicios.

Contrario a esto, muchas colonias populares, en las que viven millones de habitantes, no disponen de redes de distribución y su abastecimiento de agua se transforma en una actividad vital para la familia, en condiciones penosas y generalmente más caras que el agua suministrada por la red. Otras colonias, aún teniendo abastecimiento, no disponen de agua todo el día, o bien, la presión en las tuberías no es suficiente, por lo que tienen que instalar pequeños sistemas de bombeo que incrementan el costo del vital líquido.

En algunos muestreos realizados en el Distrito Federal, se encontró que la dotación de agua oscila de 40 litros por habitante al día en los estratos de menores recursos hasta 650 litros por habitante al día en los de altos ingresos.

Estudios recientemente elaborados por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, indican que el costo real del agua suministrada en el Distrito Federal y zona metropolitana es de \$ 960.00 por cada metro cúbico, sin embargo, ésta se cobra a sólo \$ 650.00.

Ahora bien, a la Ciudad de México entran aproximadamente  $40 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , los cuales arrojan un caudal promedio de 360 litros por habitante al día, pero, a la zona metropolitana se le suministran sólo  $19 \text{ m}^3/\text{seg.}$

De los  $40 \text{ m}^3/\text{seg.}$  suministrados, los llamados "usos no contabilizados" alcanzan la cifra de  $8 \text{ m}^3/\text{seg.}$  Dentro de este rubro se encuentran los servicios de tipo público o municipal como escuelas, oficinas, estaciones de transporte, mercados, bomberos, limpieza de calles, riego de camellones, parques y jardines públicos, así como las pérdidas ocurridas por fugas en la red y el uso indiscriminado de los hidrantes públicos.

Los  $32 \text{ m}^3/\text{seg.}$  restantes, se distribuyen de la manera mostrada en el Cuadro N° 5. Así, vemos que el 69% del caudal total se destina al uso doméstico, mientras que la industria requiere de un 16% como materia prima en sus procesos. En el Distrito Federal existen 30,000 establecimientos industriales, los cuales se concentran en las delegaciones Miguel Hidalgo y Azcapotzalco, en ésta última, se encuentra la Unidad Industrial Vallejo y la Refinería de Pemex. Los procesos que consumen más agua son: La elaboración de alimentos, la siderurgia, la refinación del petróleo, la fabricación de celulosa y la in-

industria textil. Finalmente, el 15% restante se destina a usos comerciales y de servicios proporcionados por el sector privado. Existen 120,000 establecimientos dedicados a la compraventa de artículos diversos que, en conjunto, utilizan  $1 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , así como también 60,000 establecimientos dedicados a servicios como hospitales, escuelas, baños públicos, hoteles, restaurantes, oficinas y lavanderías, los cuales emplean  $4 \text{ m}^3/\text{seg.}$  Tanto los comercios como los servicios se encuentran a lo largo de las principales arterias de la Ciudad.

Cuadro N° 5  
Distribución de los Usos de Agua

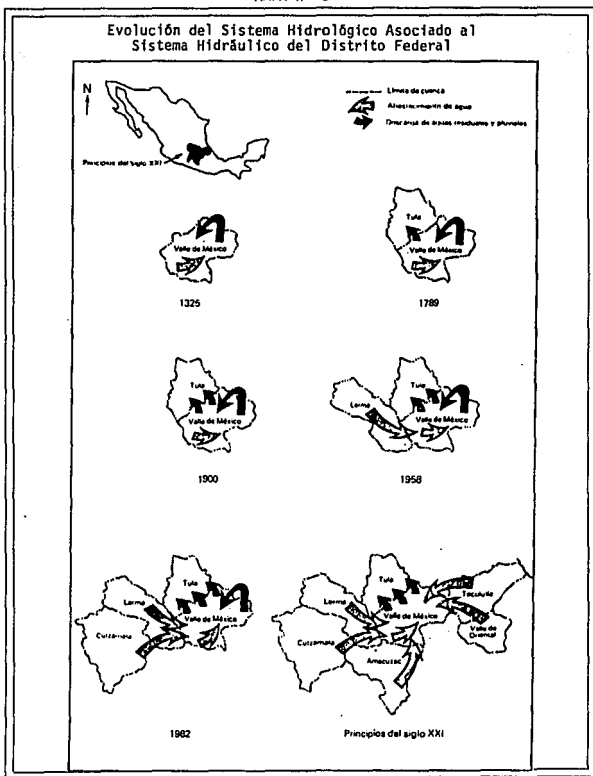
USO	NUMERO DE USUARIOS	CAUDAL	
		( $\text{m}^3/\text{s}$ )	%
Doméstico	1 900 000 viviendas	22	69
Industrial	30 000 establecimientos	5	16
Servicios	60 000 establecimientos	4	12
Comercial	120 000 establecimientos	1	3
TOTAL	2 110 000 usuarios	32	100
Usos no contabilizados	Usos Públicos y Fugas	8	
TOTAL DE ABASTECIMIENTO		$40 \text{ m}^3/\text{s}$	

## 2. Fuentes de Abastecimiento.

El sistema hidrológico con el que se relaciona el sistema hidráulico del Distrito Federal también se ha ido expandiendo a lo largo del tiempo. Hace 657 años este sistema hidrológico se restringía a la cuenca del Valle de México. Posteriormente, al construirse el Tajo de Nochistongo, la cuenca del río Tula quedó incorporada al sistema hidrológico. Asimismo, la cuenca del río Lerma se integró al iniciarse la transferencia de sus aguas subterráneas a este Valle. A principios de 1982 se unió la cuenca del río Cutzamala y en los próximos 20 años será necesario transferir agua desde cuencas cada vez más lejanas, lo que hace posible que, al comenzar el próximo siglo, este sistema hidrológico comprenda, además, las cuencas del río Teocolula, Amacuzac y Valle de Oriental (Mapa N° 5).

De los 40 m<sup>3</sup>/seg. que se suministran al Distrito Federal, el 68% proviene de los sistemas que opera la Dirección General de Contrucción y Operación Hidráulica (Cuadro N° 6) y el 32% restante es proporcionado por la Comisión de Aguas del Valle de México. Este último organismo es dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y fue creado en 1972, con el objeto de satisfacer los incrementos en la demanda de agua en la zona metropolitana y la Ciudad de México. Esta proporciona un caudal de 10.6 m<sup>3</sup>/seg., mediante cinco sistemas de pozos ubicados al sur, además, por medio de las obras de transferencia de agua del río Cutzamala este caudal se incrementa en 2 m<sup>3</sup>/seg.

MAPA N° 5





Cuadro N° 6  
Sistemas de Abastecimiento de Agua para el Distrito Federal en 1982

Dependencia que controla los sistemas	N° de Pozos	Caudal promedio m <sup>3</sup> /seg.
<b>Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DDF)</b>		
Lerma	234	9.4
Norte: Chiconautla	39	
Pozos municipales	23	2.5
Sur: Xochimilco-Mixquic-Xotepingo	122	
Pozos municipales	21	7.7
Centro: Pozos municipales	96	3.4
Oriente: Pozos municipales (Peñón de los Baños)	41	1.7
Poniente: Pozos municipales	18	0.5
Rfo Magdalena (agua superficial)	0	0.2
Manantiales	0	0.3
Pozos particulares	<u>538</u>	<u>1.7</u>
Subtotal	1132	27.4 68%
<b>Comisión de Aguas del Valle de México (SARH)</b>		
Cinco sistemas de pozos	209	10.6
Rfo Cutzamala (agua superficial)	<u>0</u>	<u>2.0</u>
Subtotal	209	12.6 32%
<b>TOTAL</b>	<b>1341</b>	<b>40.0 (100%)</b>

Por su parte, la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica tiene a su cargo los sistemas de pozos de Xochimilco-Mixquic-Xotepínco, Lerma y Chiconautla, además, los pozos municipales - diseminados por toda la Ciudad así como el control de los pozos particulares.

Los pozos de Xochimilco-Mixquic-Xotepingo se localizan en el sureste del Distrito Federal y constituyen el primer conjunto de pozos que - empezó a funcionar en el presente siglo. Su primera etapa se inició en 1913 con la captación de las aguas de manantiales y su aportación se ha mantenido prácticamente constante a pesar de que el acuífero - del que se abastece se ha sobreexplotado en aproximadamente  $3 \text{ m}^3/\text{seg.}$  Este manto, formado por rocas volcánicas, incluso se ha utilizado como parte de un programa de rehabilitación de agua subterránea; para ello, se perforaron diez pozos que aportan un caudal de  $1.15 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y se programa perforar diez más.

Con el objeto de que la explotación de estos pozos no provocara un incremento de los asentamientos en los suelos lacustres del Valle, - se ubicaron en plena sierra, con las consiguientes dificultades para la perforación ocasionadas por las formaciones geológicas que hubo - que atravesar.

El sistema del río Lerma empezó a funcionar en 1951 y consta de 234 pozos ubicados en el Estado de México, de 1974 a 1975 se extrajeron los máximos caudales, alrededor de  $14 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , pero, a partir de -

1972, una parte se empezó a derivar al área metropolitana de la Ciudad de México hasta llegar a un poco más de  $1 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , cifra que se ha conservado hasta la fecha.

Por otro lado y debido a los abatimientos de los niveles freáticos y la consecuente disminución en los volúmenes extraídos, el gasto recibido por el Distrito Federal se ha reducido a  $9.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$  Por si fuera poco, este caudal se reduce en época de estiaje (entre los meses de febrero a mayo) a  $6.9 \text{ m}^3/\text{seg.}$  El motivo de esta reducción se debe a que se necesitan  $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$  para realizar el riego agrícola de punteo en el Valle del Lerma que es la zona de extracción.

Los pozos de Chiconautla se han perforado para extraer agua de un acuífero independiente de los otros sistemas, por lo que su sobreexplotación no provoca asentamientos en la Ciudad. Este sistema está localizado al norte del Distrito Federal y, en conjunción con los pozos municipales de la zona, proveen un caudal promedio de  $2.5 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Finalmente, las únicas captaciones de agua superficial que se encuentran a cargo de esta Dirección, son las correspondientes al río Magdalena, del que se extraen 200 litros por segundo, además de un pequeño conjunto de manantiales que aporta 300 litros por segundo.

La suma de acciones reseñadas, así como los esfuerzos realizados por la Comisión de Agua del Valle de México para lograr la primera etapa

del proyecto Cutzamala, dieron por resultado que se cuente con 40 m<sup>3</sup>/seg. para el abastecimiento; pero, a pesar de todo lo anterior, la oferta es menor que la actual demanda, que es de 42 m<sup>3</sup>/seg. por lo que el sistema de abastecimiento tiene que trabajar con un factor de seguridad inferior a la unidad. Además, todos los acuíferos que abastecen a los sistemas de aguas subterráneas operados por estas dependencias están sobreexplotados, por lo que es urgente reducir las extracciones.

En cuanto a la distribución, encontramos dos tipos: la red primaria que se define convencionalmente como la formada por tuberías de 0.51 m a 1.83 m de diámetro y que tiene una longitud total de 540 kilómetros, incluyendo los conductos de alimentación que la ligan con los tanques de regulación. Y, la red secundaria, que está formada por 11,700 kilómetros de tubería con un diámetro de 10 a 40 centímetros, la cual distribuye el agua que circula por la red primaria. Además, de que es necesario ampliarla continuamente y se requiere también de sustituir muchos tramos por causa de su antigüedad y de las frecuentes fugas y fallas que en consecuencia se presentan, motivos por los cuales se provoca la suspensión del servicio, propicia su desperdicio y aumenta los riesgos de contaminación.

Asimismo, en las plantas de bombeo ocurren problemas similares, debido al precario mantenimiento preventivo al que están sujetas. En este renglón, destaca el caso de la Planta de Xotepingo, la más importante del sistema de abastecimiento, con una capacidad instalada de

25 m<sup>3</sup>/seg. y que, después de cuarenta años de operar con un escaso mantenimiento, en la actualidad requiere la sustitución de prácticamente todos sus componentes.

### 3. Desarrollo Futuro.

Como se mencionó anteriormente, la población del Distrito Federal y área metropolitana para el año 2000 será de 30 millones de habitantes, los que demandarán un caudal aproximado de 110 m<sup>3</sup>/seg., de éstos, 72 serán para la Capital y el resto para la zona metropolitana. Sin embargo, para satisfacer esta demanda, se requiere de acciones millonarias, por lo cual se estima que los proyectos Cutzamala, Tectulula y Amacuzac, tendrán un costo en conjunto de \$ 44,000 millones de pesos, pero, debido a los índices inflacionarios de la actualidad, esta cifra seguramente se incrementará. El costo tan elevado de todos estos proyectos se debe, en gran parte, a la construcción de presas derivadoras y de almacenamiento, plantas de bombeo, canales, tuberías de acero y concreto reforzado, sifones, túneles, tanques de oscilación, cajas rompedoras de presión, tanques de regulación y plantas potabilizadoras. Debido a que las cuencas de los ríos mencionados se encuentran a alturas sobre el nivel del mar que fluctúan entre los 500 y 1500 metros, las plantas de bombeo se constituirán en gigantescos "popotes" que deberán elevar el agua entre 1000 y 2000 metros con el respectivo consumo de energía que, en la actualidad, asciende a 1/10 del total generado en el país (2500 kw/hora).

El costo anteriormente mencionado, solamente incluye la conducción -- hasta el Distrito Federal, a esto, habría que añadirle las inversiones necesarias para ampliar la red de agua potable de la capital, -- instalación de medidores, expansión administrativa, etc., que aumentará considerablemente el costo del metro cúbico hasta el punto de -- que el habitante de la Ciudad de México en el año 2000 estará bebien do una de las aguas más caras del mundo. El Cuadro N° 7 muestra los caudales de las fuentes de aportación futuras.

#### 4. Drenaje.

En las secciones anteriores, dentro del inciso D. hemos relatado la lucha de una ciudad por obtener agua. La presente sección trata de otra lucha, la que se libra en contra de esta agua cuando se convier te en un elemento destructor o en foco de enfermedades, por lo que -- nos referiremos a los problemas del drenaje y sus soluciones, las -- cuales tienen un mayor grado de diversidad regional. Actualmente, -- sólo el 71% de la población de la Capital desaloja sus aguas residua les a través del alcantarillado. Pero, la situación más grave se pre senta en las zonas sur y sur-oriente, en donde, además de haber una incidencia muy alta de inundaciones y encharcamientos, existen 1.4 -- millones de habitantes sin servicio de alcantarillado. Esta zona la abarcan las delegaciones Coyoacán, Milpa Alta, Tlalpan, Xochimilco, Ixtapalapa y Tláhuac. La otra gran concentración desprovista de es- te servicio, compuesta por 1.2 millones de gentes, se localiza en la delegación Gustavo A. Madero, ubicada en la zona norte de la Ciudad,

Cuadro N° 7  
Fuentes de Aportación de Agua en el Año 2000

Fuente	Caudal sin Bajo Amacuzac (m <sup>3</sup> /s)	Caudal con Bajo Amacuzac (m <sup>3</sup> /s)
<b>A. Aportación de Fuentes Existentes:</b>		
<u>Poniente</u>		
Lerma	7.447	3.647
Pozos del poniente	0.688	0.688
Río Magdalena	0.076	0.076
Manantiales	0.215	0.215
<u>Oriente</u>		
Pozos del Peñón	1.145	1.145
Texcoco-Peñón	0.600	0.600
<u>Norte</u>		
Chiconautla	2.209	2.209
Tizayuca, Pachuca, Teoloyucan, Reyes, FF.CC.	3.474	3.774
<u>Sur</u>		
Pozos del sur	6.932	6.932
Ampliación Tláhuac	0.763	0.763
Pozos aislados	0.800	0.800
Tulyehualco	0.800	0.800
Tláhuac	0.573	0.573
<u>Centro</u>		
Pozos centro	0.892	0.892
Pozos particulares	2.200	2.200
Subtotal I	<u>29.423</u>	<u>25.923</u>
<b>B. Fuentes de Importación:</b>		
<u>Poniente</u>		
Cutzamala	10.500	10.500
Alto Cutzamala	7.500	7.500
<u>Oriente</u>		
Pozo Santa Catarina	0.750	0.750
<u>Norte</u>		
Taxhimay	1.250	1.250
Oriental	3.500	3.500
Tecolutla	6.000	6.000
P. Guadalupe	1.500	0.000
Tepeji-Tiautla	1.500	0.000
<u>Sur</u>		
Chalco	0.300	0.300
Bajo Amacuzac	0.000	6.500
Subtotal II	<u>32.800</u>	<u>36.300</u>
<b>C. Reuso:</b>		
TOTAL	<u>9.000</u>	<u>9.000</u>
TOTAL	<u>71.223</u>	<u>71.223</u>

en donde también existen problemas de drenaje pluvial.

El sistema de drenaje del Distrito Federal es de tipo combinado, lo cual significa que se utilizan los mismos conductos para desalojar - tanto las aguas residuales como las pluviales. Esto resulta totalmente incongruente si consideramos que la principal fuente de abastecimiento para esta Ciudad es el agua subterránea, por lo que, con el encauzamiento de los millones de metros cúbicos que se precipitan cada año, se podría recargar totalmente el acuífero. Sin embargo, en lugar de esto, se construyen y se amplían obras monumentales (Drenaje Profundo), que no sólo arrastran aguas residuales y pluviales, sino también, debido a la gran profundidad con que operan, abaten severamente el acuífero. Por este concepto, se está perdiendo un caudal que oscila entre los 300 y 400 millones de metros cúbicos anuales.

Con el objeto de desalojar las aguas residuales, así como de reducir encharcamientos e inundaciones, se han construido obras e instalaciones que, en la actualidad, conforman un sistema muy complejo, integrado por los siguientes componentes:

- a. La red secundaria, que recolecta las aguas residuales producidas por los usuarios del sistema hidráulico y las conduce a la red primaria junto con los escurrimientos producidos por la lluvia.
- b. La red primaria, que constituye la liga entre la red secundaria y el sistema general de desagüe.



c. El sistema general de desagüe, que regula y desaloja del Valle de México las aguas residuales y pluviales.

Por otra parte, la red secundaria, compuesta de atarjeas con diámetros de 30 a 45 centímetros, tiene una longitud de 12000 kilómetros. Y, la red primaria, está constituida por colectores de 60 centímetros hasta 3 metros, además, tiene una longitud de 1176 kilómetros y se ha desarrollado aprovechando la infraestructura realizada a principios de siglo. Es decir, sobre el sistema original se ha superpuesto en la parte central de la Ciudad un segundo sistema que escurre de sur a norte, el cual descarga en varios puntos sobre los conductos instalados de poniente a oriente. La configuración de la red es compleja porque ha tenido que responder al crecimiento anárquico del Distrito Federal. Esa complejidad se ha agravado, recientemente, - por el hecho de que otra infraestructura urbana, el Metro, se construye a las mismas profundidades en donde se ubican los principales colectores (entre 4 y 8 metros de profundidad). Las interferencias se han resuelto mediante sifones, los cuales disminuyen la eficiencia en la operación de la red. La única solución viable a este problema sería sustituir dichos colectores por otros nuevos que se instalaran entre los 12 y 18 metros de profundidad.

Cabe hacer notar, que tanto las redes primarias como las secundarias están expuestas a dislocamientos y deformaciones provocadas por el asentamiento del subsuelo (Figura N° 2). Este problema y los azolves provocados por el arrastre del suelo y la basura ocasionan una reduc

ción en la capacidad original de los conductos.

##### 5. Sistema General de Desagüe.

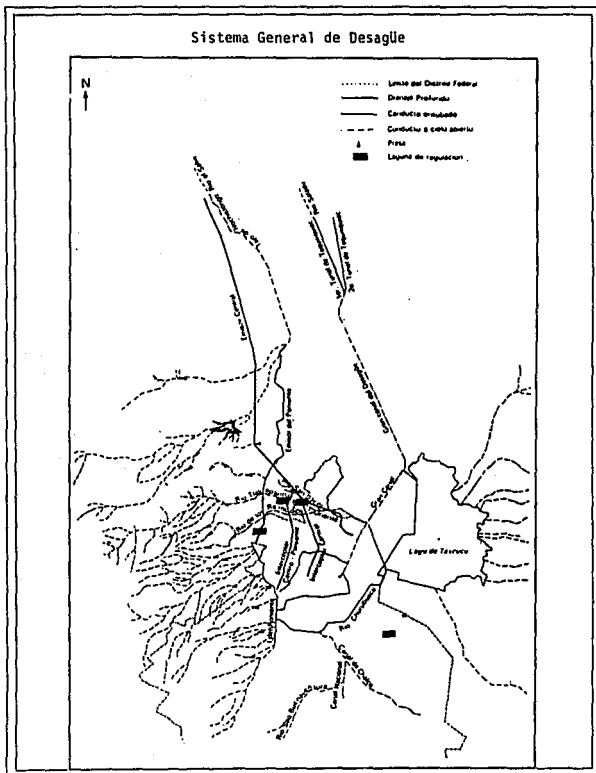
La función de este sistema, tal y como se muestra en el Mapa N° 6, - consiste en regular y desalojar posteriormente las aguas residuales y pluviales a través del Tajo de Nochistongo, los Túneles de Tequiquiac y del portal de salida del Drenaje Profundo.

Por lo que respecta a los conductos entubados, sólo se muestran algunos de ellos, que incluyen túneles excavados en roca, como El Interceptor y Emisor del Poniente y varios ríos que, como el Churubusco y el De la Piedad, ya se han entubado.

En lo que se refiere a los conductos a cielo abierto, el sistema general de desagüe incluye varios cauces naturales, los cuales conducen principalmente aguas pluviales, sin embargo, en su mayoría, están contaminados por aguas residuales y basura, lo que provoca problemas de insalubridad. Al norte se encuentran los ríos Cuauhtepac, San Javier, Tlalnepantla y Remedios, al sur, el San Buenaventura, el Canal Nacional y el Canal de Chalco. Estos cauces, sufren sistemáticamente fisuras, fugas y fallas en los bordos, problemas que se agudizan día con día a causa de los esfuerzos y deformaciones que se presentan en nuestro subsuelo.

El Gran Canal, por ejemplo, es el conducto artificial a cielo abier-

MAPA N° 6



to más importante del sistema general de desagüe, éste se encuentra ubicado al este de la zona metropolitana y drena la parte más baja de la Ciudad con la ayuda de doce estaciones de bombeo a lo largo de su recorrido. Recibe, además, escurrimientos del río de los Remedios y del Lago de Texcoco. Este último, tiene la función adicional de controlar los ríos del oriente y el río Churubusco, el cual es el más importante cauce que drena el sur y buena parte del este del Distrito Federal.

Por otra parte, cabe señalar que la capacidad del Gran Canal se limita a  $70 \text{ m}^3/\text{seg.}$ , debido a que es el máximo volumen admitido por el puente ubicado en el kilómetro 9.5, para, posteriormente, desembocar a través de la Laguna de Zumpango hacia el río Salado mediante los Túneles de Tequixquiac y subsecuentemente al río Tula.

Ahora bien, los conductos entubados más importantes son:

- a. El Interceptor del Poniente, el cual tiene una capacidad de  $25 \text{ m}^3/\text{seg.}$  y un diámetro de 4 metros. Este descarga al río Hondo y subsecuentemente al Vaso del Cristo, el que también tiene la utilidad de regular las avenidas del río de los Remedios, así como las descargas del Emisor del Poniente. Aquí, es conveniente mencionar que el río de los Remedios alimenta un drenaje combinado que puede enviar el flujo hacia el Gran Canal o hacia el Lago de Texcoco.

b. El Emisor del Poniente, que inicia en el Vaso del Cristo y es de sección cerrada hasta el Túnel de Barrientos, tiene una capacidad que oscila entre los 30 y los 80 m<sup>3</sup>/seg. ampliándose ésta a 130 - entre los kilómetros 25 y 32 de su recorrido. Así, el flujo continúa hasta la Laguna de Zumpango o a través del Tajo de Nochistongo hasta el río El Salto, el cual posteriormente descarga al río Tula.

c. Drenaje Profundo. A partir de 1975, año en que se concluyó su primera etapa, es el componente más importante del sistema general de desagüe, debido a que está instalado a profundidades que llegan hasta 237 metros por debajo del nivel del suelo, prácticamente no es afectado por los asentamientos y opera por gravedad, sin necesidad de bombeo, razones por las cuales constituye una obra durable y económica en el largo plazo. El Emisor Central, que descarga, a través de su portal de salida al río El Salto, es un túnel con 6.5 metros de diámetro, 50 kilómetros de longitud y 200 m<sup>3</sup>/seg. de capacidad. Los Interceptores Oriente y Central con 10 y 8 kilómetros de longitud respectivamente, formaron, junto con el Emisor Central, la primera etapa del Drenaje Profundo.

La función principal del Interceptor Oriente es liberar algunos flujos del Gran Canal, ya que drena parte de las zonas norte y central del Distrito Federal y recibe las contribuciones de varios ríos. La segunda etapa del Drenaje Profundo fue iniciada en 1977, incluyendo la prolongación de 5.5 kilómetros del Intercep-

tor Centro-Poniente, con una longitud de 16.5 kilómetros. Este Interceptor drena al noroeste de la Ciudad y alimenta al Interceptor Poniente.

El sistema de Drenaje Profundo opera en forma normal sólo durante la época de lluvias, sin embargo, el Interceptor Oriente se usa - ocasionalmente en época de estiaje con el fin de aliviar el flujo del Gran Canal.

#### 6. Cantidad Generada de Aguas Negras.

Según datos de 1982, el promedio anual de aguas negras, incluyendo - escurrimientos de aguas superficiales, es de aproximadamente 53.9 --  $m^3/seg.$ , las cuales están desglosadas en el siguiente esquema:

Cuadro N° 8  
Flujos Promedio de Aguas Residuales

Concepto	CAUDAL
	$m^3/s$
1. Descargas al Gran Canal	33.29
2. Descargas al Emisor Poniente	6.34
3. Descargas al Emisor Central	19.47
4. Total (*)	53.90
5. Extracción del Gran Canal para riego	4.08
6. Extracción del Emisor Poniente para riego	1.12
7. Extracciones totales al Valle de México	5.20
8. Descarga neta al Gran Canal	29.21
9. Descarga neta a través del Emisor Poniente	5.22
10. Descarga neta total (3+8+9)	53.90

Nota. (\*) Incluidos 2  $m^3/seg.$  aprovechados dentro del Distrito Federal.

Las proyecciones de gastos que incluyen aguas pluviales son más imprecisas, sin embargo, cálculos recientes indican un caudal promedio de  $84 \text{ m}^3/\text{seg.}$  de aguas combinadas.

### III. CONSECUENCIAS DE LA URBANIZACION.

Hace poco menos de quinientos años, los cronistas Fray Bernardino de Sahagún y Fray Bartolomé de las Casas no se cansaron de enumerar las vastas riquezas de la región del Valle de México en cuanto a recursos naturales. Ellos describieron la infinidad de especies animales que poblaban el área, sus cuantiosas zonas boscosas y lo agradable de su clima húmedo por dos lagos, uno de agua dulce y el otro de agua salada, que, vistos desde el Ajusco, semejaban la figura de un camello.

Desde entonces, los grandes grupos humanos que vivían en el Valle estaban unidos entre sí por la presencia de los lagos, pues de ellos extraían productos mediante la caza y la pesca que pródigamente se generaban a raíz del ambiente lacustre. Pero, mientras que con el tiempo los espejos de agua se redujeron más y más, los asentamientos humanos crecieron hasta lo que conocemos hoy. Y, si bien en otros tiempos la región era importante por sus riquezas naturales y por ser el centro político colonial, ahora lo es también, y no sólo porque sigue siendo el centro político del país sino porque conforma el terreno más conflictivo.

Si, el Distrito Federal y los once municipios del Estado de México - que lo rodean, concentran el 25% de las industrias, el 37% de los estable-

cimientos comerciales y el 26% de la población total del país.

Los lagos que existieron tiempo atrás, se han convertido en una inmensa planta de asfalto y concreto, y las valiosas tierras de cultivo que los circundaban, en grandes fraccionamientos. La otrora llamada "región más transparente del mundo", se ha convertido, gracias al auge del automóvil y a los fenómenos que trae consigo la mancha urbana (isla del calor, inversión térmica, desertificación rural, etc.), en uno de los espacios más contaminados del planeta.

Según datos de la Comisión Coordinadora para el Desarrollo del Distrito Federal, el Valle de México ha perdido el 73% de sus bosques, el 99% de sus lagos y su clima, que, como castigo de la naturaleza, se ha tornado en extremo.



**CAPITULO 3. LA PRECIPITACION PLUVIAL**

Los datos históricos que constituyen las estadísticas climatológicas que obran en poder del Servicio Meteorológico Nacional, abarcan períodos de larga duración. Sin embargo, de 1941 a 1970 son más o menos consistentes los datos, por lo que, para elaborar este Capítulo, se tomó como referencia este período de 30 años. En principio, daremos algunas definiciones meteorológicas.

- Observatorio meteorológico: Estación que cuenta con los instrumentos apropiados para efectuar las observaciones sinópticas de superficie a las 6:00, 12:00 y 18:00 horas, además de las que se requieren para fines climatológicos a las 7:00, 14:00 y 21:00 horas del meridiano - 90.
- Estación climatológica: Instalación con instrumentos que proporcionan los datos básicos de la observación realizada a las 8:00 horas - mediante un resumen climatológico diario.
- Humedad: Cantidad de vapor de agua que se encuentra en la atmósfera. Los valores de este parámetro se obtienen de las lecturas del psicrómetro o del hidrógrafo, cuyas medidas se efectúan a una altura de -- 1.25 a 2 metros del nivel del suelo.
- Humedad relativa: Es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua y la necesaria para la saturación.
- Evaporación: Medida del cambio del estado líquido del agua a vapor -

por la acción del calor.

- Evaporación total: Que es la media aritmética de la cantidad total - de la evaporación acumulada mensual y anualmente durante "x" número de años con estadísticas.
- Tensión del vapor de agua: Es la medida de la presión que ejerce el vapor de agua en la atmósfera, la cual es registrada en forma indirecta por medio del psicrómetro.
- Precipitación: Cualquier depósito acuoso en la superficie terrestre proveniente de la atmósfera, ya sea en forma líquida o sólida.
- Total de precipitación: Media aritmética de la cantidad de lluvia - acumulada mensual y anualmente durante "x" número de años con estadísticas.
- Precipitación máxima: Es la cantidad de lluvia más alta acumulada a nivel diario durante la observación de "x" número de años.
- Precipitación mínima: Es la cantidad de lluvia más baja acumulada en un mes durante la longitud de años con datos en dicho periodo.
- Lluvia apreciable: Cantidad de lluvia medida por el pluviómetro mayor de 0.1 mm.

- Lluvia inapreciable: Cantidad de lluvia registrada menor a 0.1 mm .
- Rocío: Es la condensación del vapor de agua sobre una superficie.
- Granizo: Precipitación sólida acuosa de forma irregular.
- Helada: Ocurre cuando la temperatura del aire en contacto con la superficie terrestre es igual o menor al punto de congelación del --- agua.
- Niebla: Oscuridad en las capas inferiores de la atmósfera que reduce la visibilidad en la superficie terrestre, ésta es causada por la suspensión de pequeñas partículas de agua con o sin residuos de humo o polvo.
- Nevada: Precipitación sólida acuosa compuesta por pequeños cristales de hielo.
- Estado del cielo (nubosidad): Masa de vapor acuoso suspendida en la atmósfera.
- Despejado: Cielo con ausencia de nubes o cuando la cantidad de ellas cubre menos de la tercera parte del mismo.
- Medio nublado: Cuando la cantidad de nubes que se observan cubren de una a dos terceras partes de la bóveda celeste.

- Nublado o cerrado: Cielo cubierto de nubes totalmente o en más de las dos terceras partes del mismo.

#### Unidades de Medida

Temperatura	°C	Grados celcius
Humedad relativa media	%	Porcentaje
Evaporación total	mm	Milímetros
Tensión media de vapor	mbs	Milibaríos
Precipitación	mm	Milímetros

#### I. ASPECTOS METEOROLOGICOS.

La cuenca del Valle de México se encuentra sujeta a los vientos anabáticos y catabáticos debido a su topografía, por lo que estas características contribuyen a crear las condiciones climatológicas del lugar. En cuanto a las precipitaciones, los principales factores que contribuyen a determinar su distribución zonal son las regiones de corrientes convergentes (lugares de baja presión), las cadenas montañosas, la distancia que haya a la costa, las perturbaciones climatológicas que ocurren en la misma (ciclones, huracanes, etc.) y la temperatura.

Así, pues, la lluvia se origina por el enfriamiento del aire saturado de vapor de agua y es el resultado final de la condensación. Si las gotitas contenidas en las nubes continúan aumentando de tamaño propenden

a caer en tierra, pero, en esta etapa, son tan pequeñas que las corrientes ascendentes de aire las vuelven a elevar, incluso, habiendo comenzado a caer, pueden ser evaporadas por el aire caliente de los niveles inferiores, por lo que la única posibilidad de que no desaparezcan éstas, es que se unan con otras y aumenten su tamaño, de manera tal que ni las corrientes de aire, ni la evaporación puedan detener su caída a tierra.

Si la temperatura de la atmósfera está por debajo del punto de congelación, el lugar de las gotitas es ocupado por partículas de hielo, las cuales, a medida que crecen en tamaño y caen a través de las nubes, el vapor de agua se congela sobre ellas. Pero, cuando pasan por una masa de aire caliente al acercarse a la tierra los cristales pueden fundirse formando gotas de lluvia.

Hay tres tipos de precipitaciones pluviales, debido a la manera cómo se enfría el aire y que a continuación detallamos:

- A. La lluvia de relieve. Esta se produce cuando una corriente de aire saturado es forzada a subir por las montañas que encuentran a su paso. A medida que sube se expande y enfría, ocasionando con ello la condensación y consecuentemente su precipitación, de tal manera que cae siempre del lado sobre el cual da el viento en la montaña.
- B. La lluvia de convección. Esta es ocasionada por el aire caliente y húmedo que se lleva a sí mismo y se enfría.

- C. La lluvia ciclónica. Esta tiene lugar cuando una masa de aire es obligada a subir sobre un viento de aire frío o es empujada a niveles de menor temperatura como en un ciclón o una depresión.

## II . LA LLUVIA EN EL VALLE DE MEXICO.

Como se mencionó anteriormente, el Valle de México cuenta con una precipitación pluvial promedio de 700 mm, o sea, 700 litros por metro cuadrado al año, sin embargo, el caudal resultante de este evento meteorológico es descargado casi en su totalidad por la red de drenaje, no obstante que es un recurso natural y de fácil aprovechamiento mediante sistemas de bajo costo de operación y mantenimiento. Por ello, la utilización masiva de este recurso reflejaría un gran ahorro tanto en el suministro como en el acarreo de las fuentes lejanas a la Ciudad.

La superficie de la mancha urbana es de  $1240 \text{ km}^2$ . Tomando en cuenta la extensión superficial de calles, avenidas, parques, jardines, etc., podemos considerar un área susceptible de captación de sólo  $1000 \text{ km}^2$ , que, multiplicados por los 700 litros por metro cuadrado de precipitación anual, arrojan un caudal de 700 millones de metros cúbicos, o sea,  $22.19 \text{ m}^3/\text{seg.}$  de agua, cantidad suficiente para abastecer a una población de 8 millones de habitantes a razón de 240 litros por habitante al día.

Con el fin de elaborar un trabajo representativo de la distribución anual de lluvias en esta zona, se recopilaron los datos de la precipita-

ción media del análisis estadístico realizado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, titulado **Precipitación y Probabilidad de Lluvia en el Distrito Federal y Estado de México**, con cifras que abarcan un periodo de 30 a 50 años de estudio. Para ello, se eligieron 22 estaciones de monitoreo (Mapa N° 7), de las cuales 15 pertenecen al Distrito Federal y 7 al Estado de México.

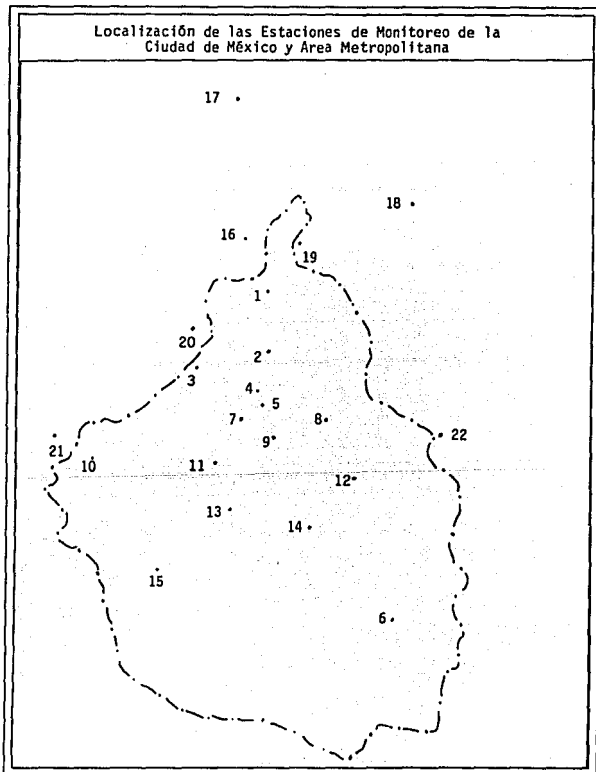
A continuación, se da la ubicación de cada una de ellas:

- |                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| 1. Azcapotzalco.       | 12. Iztapalapa.          |
| 2. León de los Aldama. | 13. Peña Pobre.          |
| 3. Tecamachalco.       | 14. Xochimilco.          |
| 4. Tacubaya.           | 15. Dínamo N° 3.         |
| 5. Colonia Escandón.   | 16. Tlalnepantla.        |
| 6. Milpa Alta.         | 17. Tepetzotlán.         |
| 7. Colonia del Valle.  | 18. Netzahualcóyotl.     |
| 8. Ixtacalco.          | 19. San Juan Ixhuatepec. |
| 9. Xoco.               | 20. El Molinito.         |
| 10. La Venta.          | 21. Huixquilucan.        |
| 11. Villa Obregón.     | 22. Reyes de la Paz.     |



MAPA N° 7

Localización de las Estaciones de Monitoreo de la  
Ciudad de México y Área Metropolitana



### A. Distribución Anual de las Lluvias en la Región.

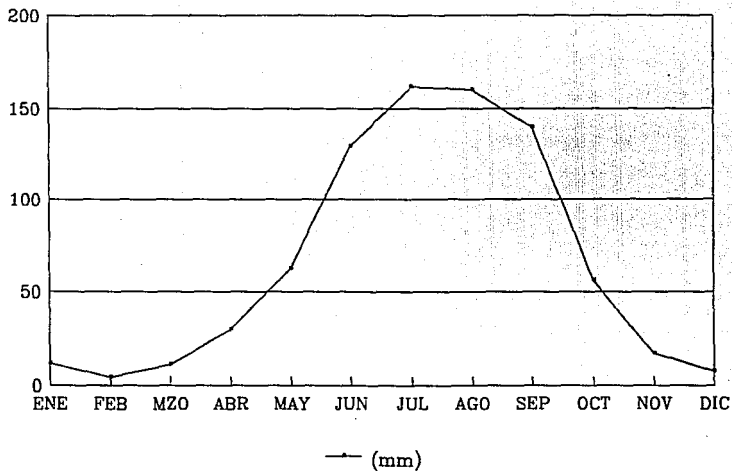
En la Gráfica N° 1, podemos observar que los puntos básicos para trazarla se obtuvieron mediante la fórmula de la media aritmética:

$$X_m = \frac{\sum X_i}{N} \quad (3.1)$$

Los promedios, pues, son los siguientes:

<b>ENERO</b> Xm = 11.33 Pm = 27.9	<b>FEBRERO</b> Xm = 4.02 Pm = 28.70	<b>MARZO</b> Xm = 10.5 Pm = 30.17	<b>ABRIL</b> Xm = 29.94 Pm = 36.59
<b>MAYO</b> Xm = 62.31 Pm = 41.46	<b>JUNIO</b> Xm = 129.14 Pm = 43.82	<b>JULIO</b> Xm = 161.67 Pm = 45.01	<b>AGOSTO</b> Xm = 160.23 Pm = 44.55
<b>SEPTIEMBRE</b> Xm = 139.6 Pm = 44.11	<b>OCTUBRE</b> Xm = 56.23 Pm = 40.51	<b>NOVIEMBRE</b> Xm = 16.73 Pm = 31.75	<b>DICIEMBRE</b> Xm = 7.3 Pm = 29.24
<b><u>ANUAL</u></b>			
Xm = 788.8			
Pm = 47.22			
Donde: Xm es la precipitación media medida en mm.			
Pm es la probabilidad de tener una precipitación igual o mayor a la media (%).			

GRAFICA No 1  
DISTRIBUCION ANUAL DE LLUVIA EN LA CMZM



### III. CONTAMINACION.

La atmósfera es el medio por el cual los contaminantes son transportados de su fuente de origen al receptor, funcionando como agente difusor de estos materiales el viento.

Por otra parte, los agentes atmosféricos limpiadores más eficaces son la lluvia y la nieve, ya que éstas arrastran los desechos en gran parte de la superficie receptora.

En 1909, el danés Soren Peter desarrolló la escala del pH para medir la acidez de las soluciones acuosas, así, pues, éste asigna un número -- que indica la concentración de iones de hidrógeno en una solución, el -- cual puede ser del 0 al 14, sin embargo, algo que debe tomarse muy en -- cuenta es que el grado de acidez o alcalinidad varía logarítmicamente y no linealmente respecto al pH; es decir, cuando éste disminuye de 6 a 5, la concentración de iones ácidos aumenta diez veces. En el caso de la -- lluvia, por mediciones hechas en lugares apartados de posible contaminación por gases producto de la combustión de industrias, automóviles, --- etc., se ha encontrado que el pH que debiera ser el normal es de 5.6. -- Así, para valores superiores a 5.6 se considera que la precipitación plu -- vial es alcalina y para inferiores a este número, ácida, o sea, que la -- "normalidad" se refiere a un pH igual a 5.6.

En el caso especial de la lluvia ácida, se sabe que los óxidos de -- azufre de nitrógeno reaccionan con el vapor de agua presente en la atmós

fera, formando ácidos tales como el sulfúrico o el nítrico (Figura N° 3).

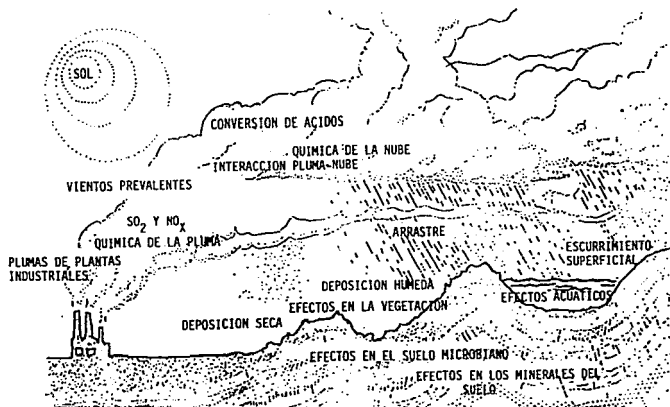
Las fuentes de óxidos de azufre y de nitrógeno se pueden dividir en naturales y antropogénicas. En el primer caso, tenemos los sulfatos arrancados de los océanos por las brisas marinas y la descomposición química de nitratos en los suelos; en el segundo, las fuentes antropogénicas son los gases que despiden los automóviles, las fábricas, las refinarias de hidrocarburos, sistemas de calefacción de vivienda, etc.

#### IV. ACIDEZ DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES EN EL DISTRITO FEDERAL.

Gran parte de las investigaciones sobre la concentración de contaminantes en la atmósfera se centra en el estudio de la llamada "lluvia ácida". La primera mención en el presente siglo sobre este fenómeno, ocurrió en una conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio humano, -- por otra parte, los estudios sistemáticos sobre este tema, comenzaron en la década de los años cincuenta. Además, también las características -- geográficas, orográficas y meteorológicas de una zona influyen de manera importante en el depósito de contaminantes, ya que determinan su tiempo de residencia en la misma. Así, pues, la precipitación se considera ácida, cuando su pH es inferior a 5.6, cantidad que corresponde al pH de -- equilibrio del bióxido de carbono con el agua atmosférica en una masa de aire "limpia".

Para nuestro propósito de identificar y cuantificar el depósito de --

### PROCESOS Y EFECTOS AMBIENTALES DE LA DEPOSICION ACIDA



Fuente: Adaptación de la Figura aparecida en "The Acid Precipitation Problem", Oregon, U.S.A. EPA Environmental Research Laboratory, 1979

FIGURA Nº 3

contaminantes, es necesario considerar tres tipos de muestreos:

- A. El muestreo de depósito seco que se efectúa durante los periodos sin lluvias. En éste, se captan partículas aerosoles y gases en un recipiente, el cual posteriormente se lava con agua destilada y la solución obtenida se analiza después en el laboratorio, tal y como se muestra en la siguiente figura.

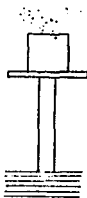


FIGURA N° 4

- B. El muestreo de depósito húmedo, que se realiza durante periodos en los que hay precipitación y, en el cual, se capta solamente el agua de lluvia. Aquí, es necesario utilizar un dispositivo que, durante los periodos secos, proteja el recipiente de colección y lo exponga únicamente cuando llueva. (Figura N° 5)

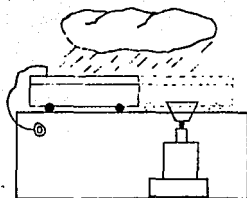


FIGURA N° 5

- C. El muestreo de depósito total, asociado al agua de lluvia y en el cual se captan, en un mismo recipiente, los depósitos secos y húmedos, como se ve en la siguiente figura.

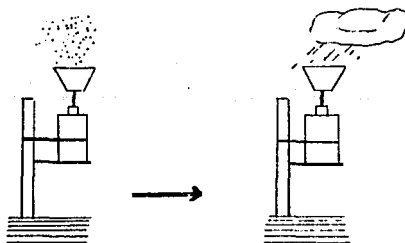


FIGURA N° 6



En consecuencia y según los objetivos que se persigan o el fenómeno que se desee estudiar, se utiliza alguno de estos tres tipos de muestreo.

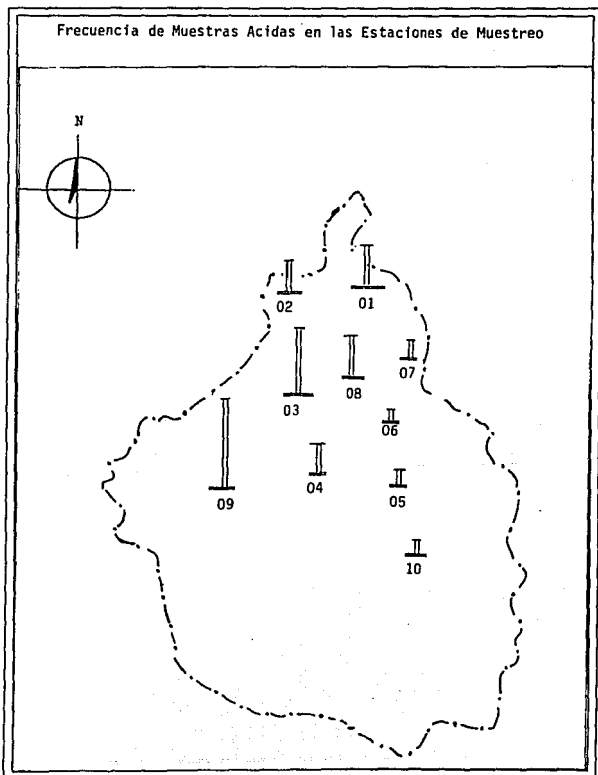
Así, los parámetros físico-químicos que se pueden determinar en el depósito de contaminantes son: pH, conductividad, sulfatos, nitratos, amonio, fluoruros, cloruros, sodio, potasio, magnesio, calcio, plomo, cromo, níquel, cobre y DDT.

Estudios realizados por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México, indican, en cuanto a la distribución geográfica de la acidez, que las estaciones situadas al oeste del Distrito Federal presentan un mayor porcentaje de muestras ácidas, debido, probablemente, a que se encuentran cercanas a las zonas industriales.

Pero, los muestreos realizados en las estaciones situadas al este de la Ciudad de México presentaron porcentajes más bajos de acidez, debido a que se encuentran cercanas a zonas erosionadas de uso agrícola (Mapa N° 8).

A continuación, podemos apreciar las estaciones de muestreo y la frecuencia de muestras ácidas y no ácidas en el siguiente cuadro.

MAPA N° 8



Cuadro N° 9

Clave	Estación	Porcentaje	
		pH $\leq$ 5.6	pH $>$ 5.6
01	Politécnico	14.02	85.08
02	Tezozomoc	17.15	82.85
03	Chapultepec	28.13	71.87
04	Coyoacán	14.28	85.72
05	Tlalpan	19.68	80.32
06	Aculco	4.00	96.00
07	PIDS	4.65	95.45
08	Centro N° 1	11.43	88.57
09	Contreras	44.45	55.55
10	Xochimilco	6.25	93.75

**CAPITULO 4. EL PROYECTO**

## I. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.

El sistema que deseamos proponer para dotar de agua limpia a una industria cualquiera, emplazada en una típica zona industrial, consiste, grosso modo, en captar el agua de lluvia, filtrarla, almacenarla y disponer de su distribución para los diferentes servicios de sanitarios, regaderas, lavamanos, riego, etc.

La industria se supondrá situada en la región norponiente de la Ciudad de México y zona metropolitana, donde se localizan las precipitaciones medias anuales predominantes y en la cual, esta lluvia, en lugar de causar beneficios, provoca graves inundaciones, además de diversos trastornos colaterales porque no se aprovecha en la forma debida.

Por otra parte, la superficie más apropiada de captar el agua para este fin son los techos, ya que tanto los patios de maniobras como los corredores pueden estar contaminados con residuos de las diferentes materias primas que se utilizan, y éstas pueden contener sustancias tóxicas que, al mezclarse con el agua, pueden lesionar la salud del personal.

Así, tenemos que por los techos (que se suponen de dos aguas con una pendiente pronunciada), el agua se conducirá por medio de canalones hasta las diferentes bajadas pluviales. En cada una de éstas, existirá una coladera desprendible de malla ancha, que es donde se separarán los sólidos de mayor volumen que pueda traer consigo la lluvia, además de que se interconectarán a un tubo conductor que le dará al agua dirección y velo

cidad. Después de completar este recorrido, los tubos conductores descargarán hasta una cámara de sedimentación, donde, por medio de un vertedero de pared gruesa, se permitirá que el agua pase con un flujo más estable hacia el filtro, el cual estará compuesto de tres secciones que contendrán, cada una, diferentes granulometrías de grava y arena.

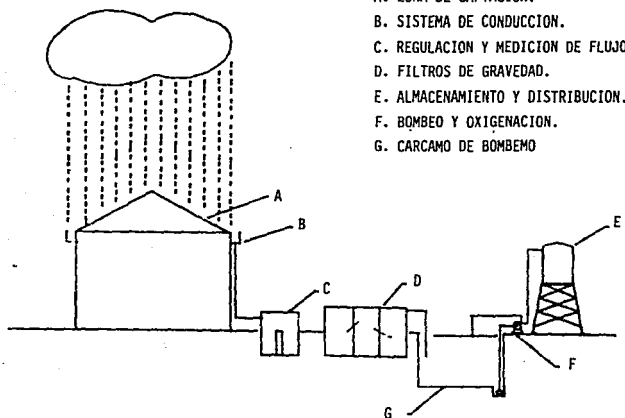
De este filtro, el agua pasará directamente a la cámara de almacenamiento o cisterna, de donde será impulsada por medio de una bomba centrífuga a otro filtro de cartucho conectado directamente en la línea que -- llega a un tanque elevado, para que, finalmente, de este depósito se distribuya hacia los diferentes servicios. El proceso descrito anteriormente se ilustra en la Figura N° 8.

Con el objeto de permitir su limpieza periódica, la cámara de sedimentación estará provista de un conducto de desagüe, el cual irá directamente a la red de drenaje.

## II. CARACTERISTICAS DE LA ZONA.

Como se mencionó anteriormente, la industria de nuestro proyecto se encuentra enclavada en la zona industrial norponiente del municipio de Naucalpan en el Estado de México, el cual colinda al norte con los Municipios de Tlalnepantla y Atizapán, al sur con la delegación Cuajimalpa, al este con las delegaciones Atzacapotzalco y Miguel Hidaigo y al oeste con los municipios de Huixquilucan y Jilotzingo.

### SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL



- A. ZONA DE CAPTACION.
- B. SISTEMA DE CONDUCCION.
- C. REGULACION Y MEDICION DE FLUJO.
- D. FILTROS DE GRAVEDAD.
- E. ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION.
- F. BOMBEO Y OXIGENACION.
- G. CARCAMO DE BOMBEO

FIGURA N° 8

Cabe hacer mención, que éste es uno de los más densamente poblados del Estado, ya que se concentran en él una buena parte de la industria, asimismo, esta zona padece graves problemas de contaminación, así como de abastecimiento de agua (principalmente el sector industrial y las clases pobres). Sin embargo, contiene, también, grandes concentraciones comerciales como son: Ciudad Satélite, Echeagaray, Lomas Verdes, que, a su vez, tienen una importante influencia política y económica en el Estado.

### III. CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS.

En Naucalpan de Juárez, predomina el clima templado, con lluvias abundantes en verano y escasas en invierno. Tiene un verano largo y fresco de una temperatura media entre los 6.5°C y los 22°C, presentándose la etapa más cálida antes de junio. La época de lluvias abarca los meses entre mayo y octubre, con una precipitación media anual mayor a los 700 milímetros.

#### A. Precipitación Media Mensual.

En seguida, se muestra mes a mes la variación de la precipitación en el municipio. Para poder tener un panorama más amplio, se consignan los datos registrados en las tres estaciones climatológicas del lugar. Todos ellos fueron recopilados del estudio estadístico *Precipitación y Probabilidad de Lluvia en el Estado de México*, elaborado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México en colaboración con la desaparecida Comisión de Estudios del Territorio Nacional,



el cual, abarca un periodo de observación que va de 20 a 30 años. Las -  
tres estaciones climatológicas, anteriormente mencionadas, están a cargo  
de la Secretaría de Agricultura y Ganadería y son:

1. Estación 15-038 Molinito (San Bartolo).

2296 m.s.n.m.

19°27' de latitud norte.

99°15' de longitud oeste.

2. Estación 15-039 Molino Blanco.

2266 m.s.n.m.

19°29' de latitud norte.

99°23' de longitud oeste.

3. Estación 15-093 Totolica (San Bartolo).

19°28' de latitud norte.

99°15' de longitud oeste.

Todos estos datos, están expresados en milímetros (mm) y la interpre-  
tación de las siglas es la siguiente:

- Pm = Precipitación mínima registrada.
- Pmx = Precipitación máxima.
- Pmd = Precipitación media en cada Estación.
- Ppm = Precipitación promedio mensual calculada con base a las pre  
cipitaciones medias de cada Estación.

<b>ENERO</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 0.00	Pm = 0.00	Pm = 0.00
Pmx = 99.00	Pmx = 103.60	Pmx = 115.90 Ppm = 8.39
Pmd = 8.60	Pmd = 7.88	Pmd = 8.64
<b>FEBRERO</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 0.00	Pm = 0.00	Pm = 0.00
Pmx = 31.00	Pmx = 26.80	Pmx = 22.00 Ppm = 5.63
Pmd = 5.76	Pmd = 5.03	Pmd = 6.10
<b>MARZO</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 0.00	Pm = 0.00	Pm = 0.00
Pmx = 50.20	Pmx = 59.00	Pmx = 56.50 Ppm = 10.37
Pmd = 9.10	Pmd = 10.58	Pmd = 11.44
<b>ABRIL</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 0.00	Pm = 0.00	Pm = 0.00
Pmx = 106.56	Pmx = 101.70	Pmx = 95.80 Ppm = 22.67
Pmd = 21.07	Pmd = 22.13	Pmd = 24.82
<b>MAYO</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 7.06	Pm = 3.80	Pm = 3.10
Pmx = 143.80	Pmx = 142.00	Pmx = 129.00 Ppm = 58.16
Pmd = 56.94	Pmd = 52.79	Pmd = 64.75
<b>JUNIO</b>		
Molino Blanco	Molino Blanco	Totolica
Pm = 27.70	Pm = 20.00	Pm = 28.70
Pmx = 266.90	Pmx = 333.10	Pmx = 255.10 Ppm = 129.36
Pmd = 135.43	Pmd = 115.55	Pmd = 137.10

<b>JULIO</b>		
Molinito Pm = 70.00 Pmx = 329.90 Pmd = 168.29	Molino Blanco Pm = 25.60 Pmx = 283.70 Pmd = 140.85	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 317.10 Ppm = 158.85 Pmd = 167.43
<b>AGOSTO</b>		
Molinito Pm = 52.00 Pmx = 323.50 Pmd = 170.80	Molino Blanco Pm = 44.30 Pmx = 320.40 Pmd = 144.48	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 336.20 Ppm = 158.29 Pmd = 159.61
<b>SEPTIEMBRE</b>		
Molinito Pm = 69.30 Pmx = 228.10 Pmd = 146.68	Molino Blanco Pm = 36.10 Pmx = 276.20 Pmd = 125.15	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 269.00 Ppm = 134.82 Pmd = 132.64
<b>OCTUBRE</b>		
Molinito Pm = 2.00 Pmx = 173.00 Pmd = 43.85	Molino Blanco Pm = 3.00 Pmx = 187.20 Pmd = 42.23	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 126.80 Ppm = 43.62 Pmd = 44.80
<b>NOVIEMBRE</b>		
Molinito Pm = 0.00 Pmx = 63.00 Pmd = 15.42	Molino Blanco Pm = 0.00 Pmx = 71.20 Pmd = 15.23	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 66.80 Ppm = 14.32 Pmd = 12.33
<b>DICIEMBRE</b>		
Molinito Pm = 0.00 Pmx = 28.80 Pmd = 7.67	Molino Blanco Pm = 0.00 Pmx = 31.60 Pmd = 6.95	Totolica Pm = 0.00 Pmx = 33.60 Ppm = 7.35 Pmd = 7.45

Por otra parte, la Gráfica N° 2, indica la variación de la precipitación media mensual en el municipio de Naucalpan de Juárez, utilizando, - para este fin, los datos de la precipitación promedio.

#### B. Precipitación Media Anual.

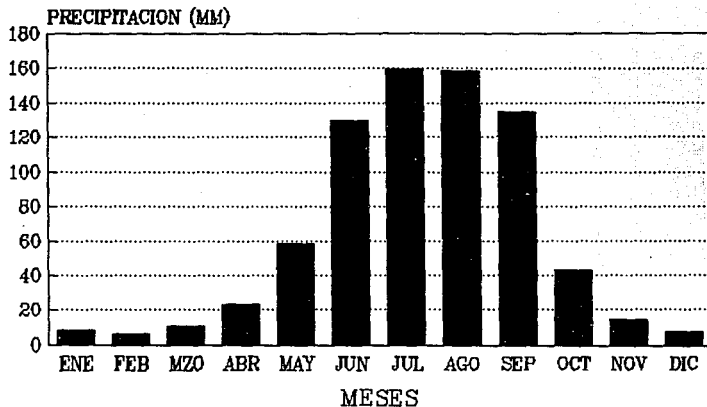
Utilizando los datos del promedio mensual de precipitación, construimos el Cuadro N° 10 para encontrar la precipitación media anual.

Cuadro N° 10

Mes	Ppm (mm)	Precipitación Acumulada (mm)
Enero	8.39	8.39
Febrero	5.63	14.02
Marzo	10.37	24.39
Abril	22.67	47.06
Mayo	58.16	105.22
Junio	129.36	234.58
Julio	158.85	393.43
Agosto	158.29	551.72
Septiembre	134.82	686.54
Octubre	43.62	730.16
Noviembre	14.32	744.48
Diciembre	7.35	751.83

# GRAFICA No 2

## DISTRIBUCION DE LLUVIA EN NAUCALPAN



(\*) ANUAL

Como se puede apreciar, la precipitación media anual es de:  $P_{ma} = 751.83 \text{ mm}$ .

#### IV. SUPERFICIE DE CAPTACION.

Se llama superficie de captación a la porción de terreno y/o techo - que se utiliza para recolectar el agua de lluvia.

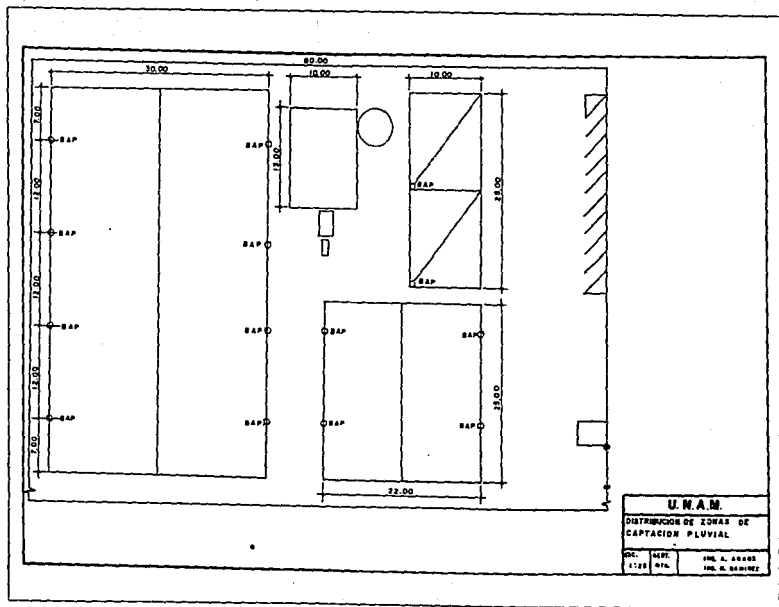
En este renglón, tenemos que nuestra industria ocupa un terreno de -  $5600 \text{ m}^2$  de extensión, los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

● Corredores y patios de maniobras	$2354 \text{ m}^2$
● Oficinas y naves industriales	$2256 \text{ m}^2$
● Estacionamiento y áreas verdes	$\frac{990 \text{ m}^2}{}$
Total	$5600 \text{ m}^2$

El Plano N° 1, muestra la superficie de la Planta con esta distribución, por lo que, en consecuencia, nuestra área total de captación es - de:  $A_c = 2256 \text{ m}^2$ .

Los techos de las naves industriales son de dos aguas, en lámina, im permeables y con una pendiente lo suficientemente pronunciada para que - el agua fluya con prontitud hacia los canales.

Asimismo, el techo de las oficinas está dividido en dos secciones, - cada una perfectamente impermeabilizada y con una inclinación esquinada



PLANO No 1

para facilitar el rápido desalojo del fluido.

#### V. VOLUMEN DE CAPTACION.

Hasta este momento, las unidades de la precipitación se han expresado en milímetros, pero, ¿qué volumen de agua de lluvia se puede captar en una superficie dada? Para saberlo, tenemos la siguiente equivalencia:

$$1 \text{ (mm) (m}^2\text{)} = 1 \text{ litro}$$

Esto significa que, por cada milímetro de lluvia que se precipite sobre un metro cuadrado de superficie, se podrá captar teóricamente un litro de líquido. Decimos teóricamente, porque estudios prácticos realizados en la zona nos indican que, por causa de la evaporación instantánea, rebotes y salpicaduras, generalmente se pierde un 10% del total de la precipitación. Este factor del 10% es variable y depende de factores tales como la ubicación, condiciones climatológicas, materiales para la construcción de los techos, etc.

Lo anterior, implica que para saber qué cantidad de agua de lluvia se puede captar en una determinada área, emplazada en una zona de precipitación conocida, simplemente se multiplica el área en metros cuadrados por la precipitación media neta en milímetros, operación de la que se obtiene el volumen de captación de lluvia en litros.



Para este proyecto, la precipitación media neta está dada por la fórmula:

$$P_{mnx} = 0.9 P_{mx} \quad \text{4.1}$$

Donde:  $P_{mnx}$  - Precipitación media neta en "x" periodo

$P_{mx}$  - Precipitación media en "x" periodo.

Y el volumen de captación:

$$V_{cx} = (P_{mnx}) (A_c) \quad \text{4.2}$$

Donde:  $V_{cx}$  - Volumen de captación para "x" periodo.

$A_c$  - Area de captación.

Por lo tanto, aplicando la fórmula 4.1 para la zona de Naucalpan de Juárez, tendremos:

$$P_{mna} = 0.9 (751.83)$$

$$P_{mna} = 676.64 \text{ mm}$$

Con un volumen de captación de:

$$V_{ca} = (676.64) (2256)$$

$$V_{ca} = 1\,526\,499.8 \text{ litros}$$

$$V_{ca} = 1526.5 \text{ m}^3$$

Utilizando los valores de precipitación media mensual del Cuadro N° 10 y las ecuaciones 4.1 y 4.2, se construye el cuadro N° 11, el cual nos muestra el volumen de captación mensual y anual, y que se esquetmatiza a continuación:

Cuadro N° 11  
Volumen de Captación Mensual

Mes	Ppm (mm)	Pmnm (mm)	Vcm (m <sup>3</sup> )
Enero	8.39	7.55	17.03
Febrero	5.63	5.06	11.43
Marzo	10.37	9.33	21.05
Abril	22.67	20.40	46.03
Mayo	58.16	52.34	118.09
Junio	129.36	116.42	262.65
Julio	158.85	142.96	322.53
Agosto	158.29	142.46	321.39
Septiembre	134.82	121.34	273.74
Octubre	43.62	39.25	88.56
Noviembre	14.32	12.88	29.07
Diciembre	<u>7.35</u>	<u>6.61</u>	<u>14.92</u>
Totales	751.83	676.64	1526.52

#### VI. CONSUMO Y GRADO DE AUTOSUFICIENCIA.

En materia de dotación de agua potable en el Valle de México, exis--

ten diversos manuales e instructivos editados por los organismos encargados de su estudio (SEDUE, INFONAVIT, SAHOP, etc.), los cuales manejan cifras que van de 80 a 160 litros por habitante al día. Sin embargo, en 1984, se llevó a cabo el Congreso: *Ecotécnicas Aplicadas a la Vivienda*, (PLEA'84), organizado por el Infonavit, en el cual la mayoría de los ponentes coincidieron en establecer una dotación de agua potable para el Valle de México de 100 litros por habitante al día. De esta cantidad, aproximadamente el 80% se utiliza en servicios, por lo que, dado el objetivo de este proyecto, consideramos una dotación inicial de 80 litros -- por habitante al día.

Esta dotación inicial, se reducirá en aproximadamente un 40%, si implementamos en esta industria diversos dispositivos de ahorro, como son los atomizadores para regaderas y lavamanos y los fluxómetros en sanitarios. De lo anterior, se desprende que la dotación final necesaria será de 50 litros por habitante al día.

Determinada la dotación y tomando en cuenta que la industria da empleo a 200 trabajadores, el volumen de consumo diario es de  $10.00 \text{ m}^3$ .

Si estimamos que se laboran seis días por cada una de las cincuenta y dos semanas al año, sin considerar periodos vacacionales ni días festivos, tenemos la cantidad de 312 días laborables, en los cuales se consumen un total de  $3120 \text{ m}^3$ . Dividiendo esta cantidad anual entre los 12 meses, encontramos que el volumen de consumo mensual es de:  $V_{cm} = 260 \text{ m}^3$ . Ahora, para conocer el grado de autosuficiencia para un periodo determi-

nado, se calcula el cociente del volumen de captación (Vcx), entre el volumen de consumo (vcx) y se multiplica por 100 para expresarlo como -- una cantidad porcentual:

$$Gs = 100 (Vcx/vcx) \underline{\hspace{2cm}} 4.3$$

Aplicando la ecuación 4.3 para un periodo anual, tenemos que el grado de autosuficiencia es:

$$Gs = 100 (1526.5 / 3120)$$

$$Gs = 48.92 \%$$

Este grado, nos indica que el sistema aporta al año casi el 50% del total del consumo. Cantidad nada despreciable, si consideramos que el costo del agua en la Ciudad de México y zona metropolitana se está incrementando constantemente.

El cuadro N° 12, nos muestra la variación de este grado a lo largo del año, para así poder determinar las dimensiones de la cisterna. Los datos del volumen de captación mensual se redondean a números enteros, -- utilizando el siguiente criterio: para cantidades decimales menores o -- iguales a 0.5, se toma el entero inmediato inferior; para cantidades mayores de 0.5 se toma el entero inmediato superior.

Cuadro N° 12  
Variación Mensual del Grado de Autosuficiencia  
Con un vcm Constante de 260 m<sup>3</sup>

Mes	Vcm (m <sup>3</sup> )	vcm-Vcm	Gsm (%)
Enero	17	-243	6.5
Febrero	11	-249	4.2
Marzo	21	-239	8.0
Abril	46	-214	17.7
Mayo	118	-142	45.5
Junio	263	3	101.0
Julio	323	63	124.0
Agosto	321	61	123.0
Septiembre	274	14	105.0
Octubre	89 (141)	-171 (-30)	34.2 (88.5)
Noviembre	29	-231	11.1
Diciembre	15	-245	5.8

Las cantidades positivas de la diferencia, nos indican un excedente de agua pluvial acumulada en octubre de 141 m<sup>3</sup>, que, sumados a los 89 m<sup>3</sup> captados en el mismo mes, nos modifican el grado de autosuficiencia de -34.2 a 88.5 m<sup>3</sup>.

La cisterna debe ser, entonces, de una capacidad tal que cumpla con

las dos condiciones siguientes:

- A. Que pueda almacenar lo equivalente al consumo de al menos 15 días.
- B. Que pueda almacenar una precipitación pluvial neta de 100 mm por hora de intensidad (precipitación de diseño).

Por lo tanto, si tenemos un consumo diario de  $10 \text{ m}^3$  para cumplir con el punto A., necesitamos de  $150 \text{ m}^3$  de capacidad. Por otro lado, una precipitación neta de 10 mm por hora de intensidad, al multiplicarla por el área de captación, nos da un volumen aproximado de  $225 \text{ m}^2$ .

Así, para cumplir con ambas condiciones, la cisterna deberá tener una capacidad de  $375 \text{ m}^3$ .

Para finalizar, se aconseja que durante la época de secas (de finales de octubre a mediados de mayo del siguiente año), se mantenga siempre un volumen de  $150 \text{ m}^3$ , para tener así un amplio margen y captar eventos esporádicos de importancia.

**CAPITULO 5. DISEÑO Y SELECCION DE MATERIALES**

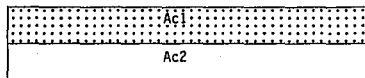
## I. TECHOS DE CAPTACION.

En el presente Capítulo, determinaremos el diseño de canaletas, tuberías y filtro del sistema, así como la selección de materiales.

### A. Canaletas.

Para el diseño de canaletas, requerimos de un cálculo del flujo a manejar, teniendo en cuenta que las áreas de captación son de dos aguas y -- con una pendiente. Por lo que, tomando en cuenta una precipitación de diseño de 100 mm por hora, tenemos:

$$1. \text{ Nave industrial. } \quad A_c = 1500 \text{ m}^2 \quad \therefore \quad A_{c1} = 750 \text{ m}^2 \quad A_{c2} = 750 \text{ m}^2$$



Utilizando la fórmula de Burkli Ziegler, que es  $Q = KA^{3/4}$  \_\_\_\_\_ (1)

Donde: Q = Caudal en litros por segundo (LPS)

A = Área tributaria en hectáreas (ha)

K =  $27.78 \times c \times i \times S^1$

i = Intensidad de lluvia (precipitación de diseño [cm/hr])

S = Pendiente = 0.267

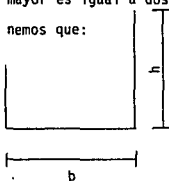


Sustituyendo en (1)

$$Q = (27.78 \times 0.70 \times 10 \times (0.267)^4) (0.075)^{3/4}$$

$$Q = 20.03 \text{ LPS}$$

Tomando en cuenta que lo que nos interesa es desalojar lo más rápido posible el agua captada, suponemos una velocidad de 3 metros por segundo, añadiendo que sabemos que en una canaleta rectangular la base mayor es igual a dos veces la altura sobre el seno de  $\theta$ , entonces tenemos que:



$$b = 2h / \sin \theta = 2h / 1 = 2h \quad (2)$$

$$A = \text{Area de la canaleta} = b \times h \quad (3)$$

$$A = 2h^2$$

Despejando h

$$h = \sqrt{A/2} \quad (4)$$

Sabemos que  $Q = AV$  y, despejando A

$$A = Q/V \quad (5)$$

Sustituyendo datos tenemos:

$$A = 66.76 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo valores en 4

$$h = 5.77 \text{ cm}$$

$$\therefore b = 11.55 \text{ cm}$$

Así, obtenemos que se requiere una canaleta que tenga su base = 11.55 cm y una altura (h) = 5.72 cm para un sistema ideal. Pero, tomando un 50% más para la seguridad en el caudal, obtenemos las dimensiones a manejar: h = 7.07 cm y b = 14.15 cm.

2. Bodega.  $A_c = 506 \text{ m}^2$   $A_{c1} = 253 \text{ m}^2$   $A_{c2} = 253 \text{ m}^2$

Sustituyendo los valores en la fórmula número 1, y tomando en cuenta el 50% más de seguridad, tenemos:

$$Q = 13.29 \text{ LPS}$$

Sustituyendo en (4) y (5), obtenemos:

$$h = 4.70 \text{ cm}; b = 9.41 \text{ cm}$$

La selección del material podrá ser de lámina galvanizada o fibra de vidrio pintada y pulida

## II. CONDUCCION POR GRAVEDAD.

El empleo de tuberías en la conducción permite hacer un análisis hidráulico de los conductores que están trabajando. Pero, como canal y dependiendo de las características topográficas que se tengan, la velocidad mínima de escurrimiento deberá ser de 0.50 metros por segundo, a fin de evitar el asentamiento de las partículas que arrastre el agua, sin embargo, la velocidad máxima permisible para evitar la erosión, será la -- que se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 13

Material	Velocidad	Coefficiente de Rugosidad "n"
Concreto simple hasta 0.45 $\phi$	3.0 m/s	
Concreto reforzado mayor de 0.60 $\phi$	3.5 m/s	
Asbesto/Cemento	5.0 m/s	0.010
Acero galvanizado	5.0 m/s	0.014
Fierro fundido	5.0 m/s	0.013
Acero sin revestimiento	5.0 m/s	0.014
Acero con revestimiento	5.0 m/s	
P.V.C. (cloruro de polivinilio)	5.0 m/s	0.009

Por el criterio seleccionador usado, se determinó que fuera PVC el material de la tubería de conducción del agua pluvial recolectada, esto,

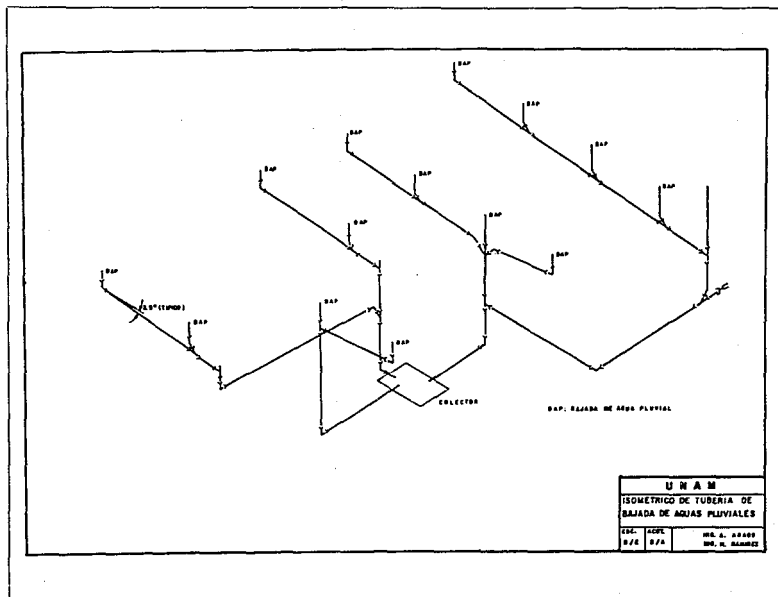
basados en sus diferentes propiedades (Plano N° 2).

En general, hasta hace unas décadas era tradicional que las buenas - instalaciones sanitarias en casas y edificios se hicieran con tubería de hierro fundido (fofo). Sin embargo, el método que se sigue para unir esta tubería con sus conexiones es puramente artesanal, lo que significa - que aun cuando este tipo de unión, calafateada o retacada es muy eficiente, requiere de mano de obra especializada y costosa, además de materiales de unión tales como: estopa alquitranada, trenzada y plomo.

Haciendo un poco de historia al respecto, vemos que hacia los años - 1600 - 1700, en que se empezó a usar el "fofo", hasta 1980, en que se -- inicia el uso de PVC en Alemania, la tecnología empleada en la fabrica-- ción de materiales para instalaciones sanitarias no experimentó ningún - cambio importantes.

Posteriormente, los tubos y conexiones de este material que se produ-- cen a partir de la resina de PVC, producto de la industria petroquímica, hacen que esta sustancia, mezclada con otros materiales (estabilizado--- res, lubricantes, modificadores y pigmentos), constituya una mezcla de - características tales, que puede ser moldeada por extrusión a fin de ha-- cer los tubos, y que, por el método de inyección, se obtengan las ---- conexiones y accesorios.

En México, la fabricación de tuberías de PVC se inició en el año de 1965 y su uso en sistemas sanitarios en casas y edificios habitacionales



PLANO N° 2

<b>U N A M</b>			
<b>ISOMETRICO DE TUBERIA DE BAJADA DE AGUAS PLUVIALES</b>			
ESC.	ACPE	MR. A. ARAND	
R/A	R/A	MR. R. RAMIREZ	

se ha extendido a escuelas, oficinas e industrias. Así, el grado de integración alcanzado por las industrias productoras de tuberías PVC facilitan al proyectista diseñar instalaciones sanitarias completas a base de tuberías plásticas, desde ramaleos interiores, sistemas de ventilación, bajadas de agua pluvial, albañales, etc., hasta el alcantarillado. También se cuenta con conexiones de adaptación del PVC con otros tipos de materiales, tales como el hierro fundido o galvanizado, asbesto/cemento, entre otros.

Existen dos sistemas básicos de acoplamiento para unir entre sí los tramos de tuberías de PVC que son el primero: de espiga campana con anillo de hule, y el segundo corresponde al: cementeado.

El sistema espiga campana presenta dos grandes ventajas, por un lado, es fácil de trabajar y por otro, actúa como junta de dilatación para absorber las contracciones y dilataciones ocasionadas por los cambios de temperatura. La ventaja del sistema cementado, por su parte, es que da una mayor rigidez estructural, la cual hace innecesarios los atraques en el colector principal.

Por esto, puede decirse que, desde sus inicios, la fabricación de estos materiales ha sido apoyada y reglamentada por las normas nacionales (DGN-E-12-1968) ahora (NOM-E-12-1978) y el sello oficial de garantía, lo que ha permitido a los fabricantes el establecimiento de un control de calidad racional que abarca todos los aspectos de la producción, garantizando un conjunto de cualidades definidas, constantes y homogéneas, ap--

tas para el diseño y construcción de sistemas sanitarios satisfactorios, que hacen efectivas las siguientes ventajas técnico-económicas de las tuberías PVC:

A. Hermeticidad del acoplamiento.

El acoplamiento espiga campana con anillo de hule, constituye un sello perfecto que garantiza la hermeticidad del sistema. El acoplamiento cementado, por su parte, es un sello hermético que garantiza también la no contaminación del entorno.

B. Economía.

Por su poco peso y sencillo sistema de acoplamiento, la tubería PVC es fácil de transportar e instalar, cualidades que se traducen en -- ahorro de tiempo y dinero, lo cual minimiza hasta en un 50% el costo final de la instalación.

C. Mejor funcionamiento.

Debido a que el coeficiente de fricción del PVC (0.009) es menor que el de cualquier otro material usado para desagües, las tuberías de este material pueden conducir mayor caudal que cualesquier otro de igual diámetro. Además, su gran tersura y baja capacidad de absorción de agua, evita que se formen sedimentos que, en un momento dado, podrían disminuir su área hidráulica.

D. Resistencia Química.

Las tuberías de PVC no son afectadas por detergentes, ácidos, álcalis y otras sustancias agresivas que se presentan en los desagües, - tampoco se oxidan y no son un medio adecuado para el crecimiento de algas y hongos.

E. Resistencia Mecánica.

Las tuberías de PVC son muy resistentes a los golpes y al trato normal en una obra, desde luego, deben protegerse contra un trato inadecuado y rudo.

F. Vida Útil.

Las propiedades físicas y químicas de las tuberías de PVC, unidas a un diseño adecuado y a una instalación bien hecha, ofrece una duración prácticamente ilimitada.

G. Disponibilidad de Materiales.

Las industrias productoras de tuberías de PVC suministran una completa gama de diámetros, tubos y toda la serie de conexiones y accesorios, lo que permite resolver los problemas que se presentan en las instalaciones sanitarias.



#### H. Intemperismo.

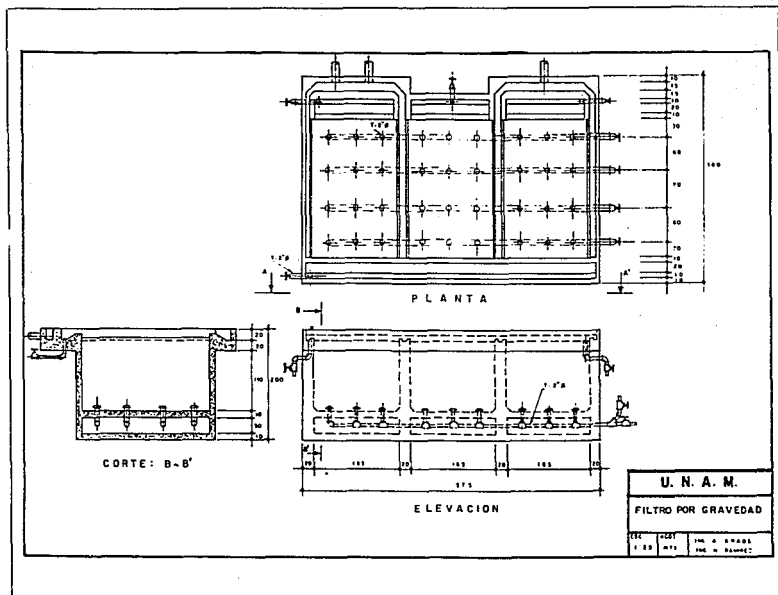
Las tuberías de PVC expuestas por largo tiempo a la acción del sol, pierden su resistencia al impacto, por tal razón, se aconseja que -- las instalaciones sean ocultas o bajo techo; de no ser esto posible, deben recubrirse con pintura blanca epóxica.

#### III. FILTRACION.

La definición de este término es la siguiente: Operación unitaria en la que se hace pasar un flujo de agua a través de un medio poroso, removiéndose, así, las partículas en estado de suspensión o coloidal.

La filtración en el proyecto se realizará tal y como se aprecia en el Plano N° 3, circulando el agua pluvial captada a través de una capa de materia porosa. El medio poroso podría estar constituido por un lecho simple (arena), un lecho doble (arena y antracita), o un lecho múltiple (arena, antracita y grava) u otras combinaciones. Estos arreglos -- pueden actuar de tres maneras:

- A. Como soporte de microorganismos (principalmente algas) que secretan diastases de acción coagulante sobre el agua.
- B. Fijando, por adsorción, las materias coloidales contenidas en el agua.



PLANO N° 3

- C. Reteniendo mecánicamente las materias sólidas contenidas en el agua, cuyo volumen es demasiado grande para que puedan ser adsorbidas.

Por lo que respecta a la elección de la materia filtrante, la granulometría que se utiliza generalmente en las capas filtrantes son las siguientes:

- A. Talla efectiva de 0.3 a 0.5 mm. Filtración muy rápida con una velocidad de hasta 25 metros por hora.
- B. Talla efectiva de 0.6 a 0.8 mm. Filtración rápida con una velocidad máxima de 15 metros por hora.
- C. Talla efectiva de 0.9 a 10 mm. Para filtración después de una buena decantación.
- D. Talla efectiva de 1.3 a 15 mm. Para filtración de aguas coaguladas y decantadas.
- E. Talla efectiva de 2.0 a 2.5 mm. Para desbaste ordinario de aguas in dustriales.
- F. Talla efectiva de 3.5 a 10 y 25 mm. Se utilizan exclusivamente como capa de soporte.

Con relación a la calidad de arena y grava, se utilizan generalmente

productos que contienen como mínimo un 98% de sílice. Los granos deben ser duros para evitar el desgaste por flotamiento durante los lavados.

Ahora, hablaremos de la antracita, que encontró su campo de utilización en la filtración, reemplazando a las arenas sílicas y charzosas, ya que se obtuvieron con ésta un mayor tiempo del filtro en operación, mayores flujos por área y menor consumo de agua en el retrolavado, lo que ha hecho que ésta sea aceptada como un excelente medio filtrante.

Una de sus características más importantes, es que este material se produce de un grado de carbón duro seleccionado en los campos del norte del estado de Pennsylvania en la Unión Americana, y es sumamente importante que este grado de antracita se procese y tenga las cualidades del material originalmente seleccionado como estándar del medio filtrante - tal y como lo determinó la American Water Works Association.

Lo anterior, significa un grado de hulla que deberá llenar los requisitos de análisis químicos y físicos, tales como:

- A. Densidad 1.50 - 1.60.
- B. Dureza MOH 3.0 - 3.5.
- C. Contenido de carbón 88% - 92%.
- D. Solubilidad en ácido sulfúrico menor de 2%.

E. La solubilidad en 1% de hidróxido de sodio a 88°C deberá ser despreciable.

F. No deberá tener sustancias perjudiciales a la salud, tales como arcilla, esquisitos bituminosos, basuras extrañas o sulfuros de hierro.

Además, el material deberá tener un bajo contenido de cenizas y friabilidad, lo que significa que se fracturará cúbicamente (no en escamas) en su elaboración, es decir, al tamaño efectivo que se requiera, de --- acuerdo con el lecho de grava o arena, generalmente de 1.0 a 1.2 mm y -- con un coeficiente de uniformidad menor de 1.6 mm; así como que poseerá un alto contenido en anthroxalón.

El espesor de la capa filtrante, por la pérdida de carga a través de una masa filtrante, es directamente proporcional a su altura y al caudal del agua. La reducción de la porosidad producida por las impurezas retenidas (especialmente en las proximidades de la superficie) es más rápida cuanto más desechos contenga la masa filtrante.

Por consiguiente, para obtener en todo momento una agua filtrada clara, es preciso que la pérdida de carga esté comprendida entre dos límites que dependen de la naturaleza de las impurezas a retener y su cantidad así como de la velocidad de filtración.

El límite inferior que es el necesario para obtener una agua clara - al reanudar la filtración después del lavado, se obtiene utilizando una

altura de capa tanto mayor cuanto más gruesa es la materia filtrante. Sin embargo, el límite superior no debe excederse, para evitar que la presión del agua arranque de la materia filtrante las impurezas retenidas anteriormente y las arrastre con el agua filtrada. Este valor límite es tanto mayor cuanto más fina es la materia filtrante.

Como norma general, puede decirse que entre más pequeño sea el tamaño de la materia, menor podrá ser el espesor de la capa filtrante, pero mayor la pérdida de carga media. Por el contrario, cuanto más gruesa es la materia filtrante, mayor deberá ser el espesor de la capa, pero menor será la pérdida de carga.

En el proyecto de esta Tesis, el arreglo a seguir de la masa filtrante será una combinación de diferentes materiales y granulometría, la cual tendrá una altura comprendida entre los 60 y 150 centímetros (Figura N° 9).

La recolección del agua filtrada será por medio de boquillas que serán instaladas en el fondo de cada una de las cavidades y la conducirán por gravedad a través de un arreglo de tubería PVC.

Las boquillas podrán ser de porcelana o polistireno, que son de doble circulación:

- A. Recolección del agua filtrada.
- B. Inyección del agua para el retrolavado del filtro.

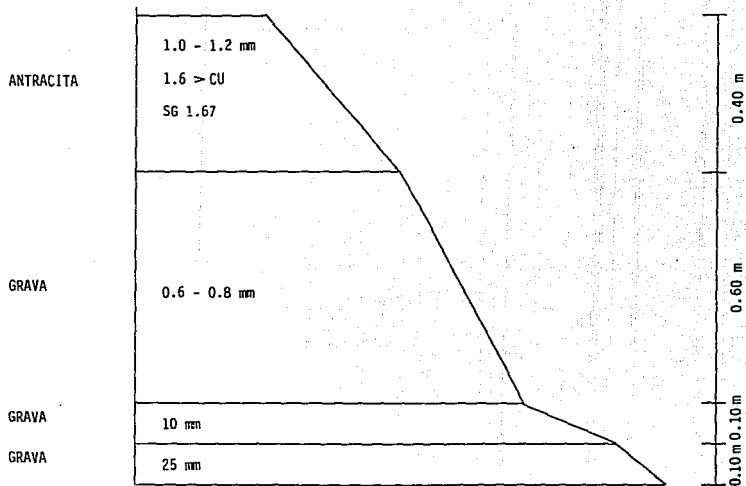


Figura N° 9

Datos técnicos:

Velocidad de filtración	=	15 m/h máxima.
Area total de filtración	=	12.37 metros cuadrados.
Capacidad de filtración	=	185.5 metros cúbicos por hora.
Volumen máximo de captación	=	203 metros cúbicos por hora máximo.
Eficiencia de filtración con una precipitación máxima de 100 mm/h	=	91.4%

Cabe señalar que el retrolavado del filtro será por medio de una corriente de agua ascendente, que inundará cada una de las cavidades, provocando el esponjamiento y la separación de impurezas de los elementos de la masa filtrante. Como recomendación, el esponjamiento de la masa filtrante no deberá de exceder el 20% del volumen aparente de la masa más fina o la menos densa situada en la superficie.



**CONCLUSIONES**

En la presente investigación, hemos visto la lucha que ha librado la Ciudad de México y área metropolitana por abastecerse del líquido vital para la vida. Asimismo, se ha comentado cómo el drenaje es de tipo combinado, lo cual significa que se utilizan los mismos conductos para desalojar tanto las aguas residuales como las pluviales, cosa que resulta totalmente incongruente si consideramos que la principal fuente de abastecimiento para la metrópoli más grande del mundo es, precisamente, el agua subterránea, y que, con el encauzamiento de un caudal aproximado de entre los 300 y 400 millones de metros cúbicos de lluvia que hay cada año, se podrían recargar los acuíferos a un bajo costo de operación y mantenimiento.

En nuestro proyecto, específicamente, se determinó la posibilidad de utilizar, para uso secundario, el agua pluvial en una industria, en virtud de que en ella se pueden tener grandes áreas de captación.

Para la realización del tema escogido, fue necesario investigar en los estudios que se han hecho sobre la precipitación pluvial en esta zona determinada, encontrando datos sumamente importantes, tales como el de una posible captación de 700 mm promedio, que, combinado con los 2,256 m<sup>2</sup> del Ac propuestos en este diseño, se obtendrán 1,526.5 m<sup>3</sup> de agua. Explicando también que el volumen recogido se filtrará a través de un arreglo de antracita y grava de diferente granulometría, el cual trabajará por gravedad, para que, finalmente, se deposite el agua en una cisterna que habrá para tal fin.

Concluimos, pues, que el proyecto representa una opción más para el abastecimiento y ahorro del agua, ayudando de igual forma, a disminuir - el alto costo y problema que representa el trasladarla y desalojarla.

**BIBLIOGRAFIA**

1. Análisis de la Tecnología de Sistemas de Ahorro de Agua y un Estudio Experimental sobre el Empleo de Dispositivos Domésticos, DEPFI, ---- UNAM, DDF, DGOH. México, Octubre de 1981.
2. Atlas General de Agua, SARH, México, 1978.
3. Báez, Armando Dr. Acid Rain over the Mexico City Valley and ----- Surrounding Rural Areas, Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), México, sin año.
4. Bravo A., Humberto Dr. Estudio Preliminar de la Lluvia Ácida en la - Cuenca del Valle de México, Ponencia del II Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en Monterrey, N.L. del 4 al 6 de diciembre de 1980, Centro de Ciencias de la Atmósfera (UNAM), Departamento de Contaminación Ambiental.
5. Cassaige Muñoz, Héctor Ing. Plantas Hidráulicas, ESIME Zacatenco, México, 1965.
6. Deffis Caso, Armando Arq. La Casa Ecológica Autosuficiente, México, 1985.
7. Ecoplan del Distrito Federal, SEDUE, México, 1979.
8. Ecoplan del Estado de México, SEDUE, México, 1981.
9. Ecotécnicas Aplicadas a la Vivienda, Memorias del Tercer Seminario - PLEA, SEDUE-INFONAVIT, México, del 6 al 11 de agosto de 1984.
10. Estudio de Demandas y Consumos de Agua en el Area Metropolitana de - la Ciudad de México, Informe General BALSA, SARH, CAVM, México, ---- 1975.
11. Garza Maldonado, Francisco Ing. Manual para Instalaciones Sanitarias con Tubertas de Policromo de Vinilo (PVC), AMITUP, México, sin año.
12. Granillo Vázquez, Silvia y González Ehrlich, Erika. El Agua se Va -- para no Volver (El Subsuelo del Valle de México), Información Científica y Tecnológica, Vol. 8, N° 112, México, Enero de 1986.
13. Heredia, Abelardo; Silva, Román y Flores, Emigdio. La Geohidrología, Ciencia y Desarrollo, CONACYT, N° 19, México, Marzo-Abril de 1978.
14. Linsley-Franzini. Ingeniería de los Recursos Hidrológicos, New ---- York, U.S.A., 1a. Edición, 1964.
15. Manual Técnico del Agua, Degremont-Acfi, S.A., Suresnes (Francia), - 1959.

16. Normales Climatológicas, Período 1941-1970, Dirección General del -- Servicio Meteorológico Nacional, México, 1982.
17. Páramo, Víctor Hugo; Guerrero, Marco Antonio; Morales, Ma. de los -- Angeles; Morales, Ramón E. y Baz C., David. Acidez de las Precipitaciones en el Distrito Federal, Ciencia y Desarrollo, N° 52, México, Septiembre-Octubre de 1983.
18. Ponencias Sobre Conservación, Reducción y Reuso del Agua, Ecotécni-- cas Aplicadas a la Vivienda PLEA, SEDUE-INFONAVIT, México, 1984.
19. Ramírez, Pablo. Problemas de Abastecimiento de Agua Potable a la --- Ciudad de México hasta el Año 2000, Lecturas CEESTEM, sin año.
20. Valero, Juan Manuel. Rescate de una Ciudad Destruída, Información -- Científica y Tecnológica, Vol. 7, N° 107, México, Agosto de 1985.
21. Velasco Levi, Alejandro. La Contaminación Atmosférica en la Ciudad - de México, Ciencia y Desarrollo, N° 52, México, Septiembre-Octubre - de 1983.
22. Zepeda C., Sergio Ing. Manual de Instalaciones, Ed. Limusa, México, 1986.