

76



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL

"RECOLECCION Y USOS DE AGUAS PLUVIALES,  
COMO FACTOR DE DESARROLLO SUSTENTABLE."

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JUAN CARLOS MARTINEZ BAEZ

DIRECTOR DE TESIS: M.I. JUAN CARLOS FERNANDEZ CASILLAS



MEXICO, D. F.,

ABRIL DEL 2002

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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/047/01

Señor  
**JUAN CARLOS MARTÍNEZ BAEZ**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. JUAN CARLOS FERNÁNDEZ CASILLAS, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"RECOLECCION Y USOS DE AGUAS PLUVIALES, COMO FACTOR DE  
DESARROLLO SUSTENTABLE"**

- INTRODUCCION**
- I. EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO**
  - II. APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES. ALTERNATIVAS DE USO.**
  - III. IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL APROVECHAMIENTO DE AGUAS PLUVIALES.**
  - IV. DISEÑO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES**
  - V. CASO PRÁCTICO**
  - VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**  
Cd. Universitaria a 6 de marzo de 2001.  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO,  
GPB/GMP/mstg.

**Gracias Dios  
por darme eso  
que cada día te pedí,  
un poquito de entusiasmo  
para así  
poder alcanzar mi meta,  
ahora te pido que me ilumines  
y guíes mis pasos...**

**Sabiendo que jamás existirá  
una forma de agradecer  
toda una vida de sacrificios y esfuerzos,  
quiero que sientan  
que el objetivo logrado también es suyo  
y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo  
fue su apoyo,  
con cariño y admiración...**

**A mis padres y a mi hermano  
que siempre me impulsaron a seguir adelante  
y me motivaron  
para hacer este sueño realidad...**

**Gracias.**

**A todos los profesores que a lo largo de mi vida académica me apoyaron y asesoraron para obtener mi formación profesional...**

**Muy en especial al Maestro Juan Carlos Fernández Casillas por asesorarme y así poder concluir de manera exitosa esta última etapa...**

**Al Ingeniero Ariel Cano Vicario (e.p.d.), por darme la suficiente confianza y motivación para poder continuar...**

**A todos mis compañeros que siempre me impulsaron y ayudaron...**

**A mi Padrino Tomas y a mi Tío Pepe, ya que ellos fueron una parte importante en mi formación personal y profesional...**

**A toda mi familia que de una forma u otra siempre estuvieron apoyándome...**

**Gracias.**

**Y de forma muy especial, a todos mis amigos que siempre estuvieron cuando más los necesité:**

**Anita  
Beto  
Carlitos  
Ernesto  
Euri  
Gabriel de la Vega  
Gabriel Ruiz  
Jazmín  
Jorge García  
Jorge Soria  
Julio  
Luis  
Luisa  
Lupita  
Pepe  
Quique  
Tamara  
Uriel**

**Gracias.**

**“RECOLECCIÓN Y USOS DE AGUAS  
PLUVIALES, COMO FACTOR  
DE DESARROLLO SUSTENTABLE.”**



# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.</b>	<b>6</b>
----------------------	----------

<b>CAPITULO I: “EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO.”</b>	<b>9</b>
-----------------------------------------------------------	----------

1.1	Desarrollo Sustentable.	10
1.2	Consideraciones Generales.	12
1.3	México en el Contexto Latinoamericano. Temas Ambientales.	13
1.4	México y su Desarrollo Sustentable.	16
	1.4.1 Situación Actual.	16
	1.4.2 Indicadores Positivos.	17
1.5	Criterios para el Desarrollo Sustentable en México.	17

<b>CAPITULO II: “APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES. ALTERNATIVAS DE USO.”</b>	<b>19</b>
------------------------------------------------------------------------------------	-----------

2.1	Usos de las Aguas Pluviales.	21
2.2	Potabilización.	22
2.3	Agricultura.	23
2.4	Usos Industriales.	23
2.5	Recarga de Mantos Acuíferos.	24
	2.5.1 Métodos de Recarga.	26
2.6	Generación de Energía Eléctrica.	27
2.7	Desarrollo de la Fauna y Flora Acuática.	27
2.8	Navegación.	28
2.9	Recreación y Turismo.	28
2.10	Usos Múltiples.	29

**CAPITULO III: "IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES."** 30

3.1	El Ciclo Hidrológico.	31
	3.1.1 Potencial Mundial de Agua.	35
3.2	Las Necesidades Humanas y los Recursos de Agua.	37
	3.2.1 Consumo Humano.	37
	3.2.2 Consumo Industrial.	38
	3.2.3 Consumo Agrícola.	39
3.3	La Lluvia Artificial.	39

**CAPITULO IV: "DISEÑO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES."** 41

4.1	Sistemas de alcantarillados.	43
	4.1.1 Clasificación de las tuberías.	43
	4.1.2 Disposición de la red de alcantarillado.	43
	4.1.3 Otros elementos de alcantarillado.	46
4.2	Descripción del sistema.	51
4.3	Evaluación del caudal de diseño.	51
	4.3.1 Método racional.	52
4.4	Normas de diseño.	56
4.5	Sumideros de aguas de lluvia.	57
4.6	Canales de aguas de lluvia.	59
	4.6.1 Sección hidráulica del canal.	60
	4.6.2 Diseño hidráulico del canal.	62
	4.6.3 Análisis adimensional.	62
	4.6.4 Pendiente de los taludes.	64
	4.6.5 Curvatura.	64
	4.6.6 Transiciones.	65

**CAPITULO V: "CASO PRÁCTICO."  
"SISTEMA DE ALCANTARILLADO  
COMBINADO DE VALLE DE CHALCO  
SOLIDARIDAD."**

67

5.1	Generalidades del Valle de Chalco.	68
5.2	Importancia del alcantarillado.	69
5.3	Características principales del sistema de alcantarillado.	71
5.3.1	Cunetas o sangrías.	71
5.3.1	Cárcamos de bombeo.	72
5.4	Funcionamiento hidráulico de la red de drenaje combinado.	72
5.4.1	Resumen de resultados del funcionamiento.	74
5.5	Estudios de mecánica de suelos.	76
5.5.1	Estratigrafía.	76
5.5.2	Propiedades índice.	77
5.5.3	Propiedades mecánicas.	77
5.5.4	Compresibilidad.	78
5.5.5	Conclusiones del estudio de mecánica de suelos.	78
5.6	Proceso constructivo.	79
5.6.1	Limpieza y trazo.	79
5.6.2	Ruptura de pavimentos.	79
5.6.3	Excavaciones de cepas.	80
5.6.4	Clasificación de los materiales.	81
5.6.5	Ademes.	83
5.6.6	Cama o plantilla.	85
5.6.7	Instalación de tubería de concreto.	85
5.6.8	Métodos de prueba.	86
5.6.9	Conexión domiciliaria.	87
5.6.10	Acostillado.	88
5.6.11	Relleno en cepas.	88
5.6.12	Reposición de pavimentos.	89
5.6.13	Construcción de pozos comunes, pozos especiales y pozos cajas.	90
5.6.14	Colocación de brocales y tapas.	92
5.7	Descripción de la red de drenaje combinado.	92

**CAPITULO VI: "CONCLUSIONES."**

95

**BIBLIOGRAFÍA**

103

# **“INTRODUCCIÓN.”**

## “INTRODUCCIÓN”

La fuente esencial del agua potable es la lluvia, utilizada en pocas ocasiones como fuente directa, excepto en islas rodeadas de agua salada, como las Bermudas, donde el agua de lluvia se recoge en cisternas que constituyen la única fuente de aprovisionamiento. Cuando llueve en abundancia, el agua corre por arroyos, y cuando llueve con menos intensidad, se filtra en el suelo a través de los estratos porosos hasta encontrar un estrato impermeable en el que el agua se acumula, formando depósitos subterráneos. El agua subterránea alimenta fuentes y manantiales, que a su vez proporcionan agua a ríos, arroyos y lagos. En su discurrir, el agua subterránea disuelve minerales solubles, y a menudo las aguas superficiales de lagos y ríos están contaminadas por desechos industriales y actividades de depuración.

Los pueblos antiguos no necesitaban obras de ingeniería para su aprovisionamiento de agua. Cazadores y nómadas acampaban cerca de las fuentes naturales de agua fresca, y las poblaciones estaban tan dispersas que la contaminación del agua no constituía un serio problema. Cuando se desarrolló la vida en comunidad y las aldeas agrícolas se transformaron en centros urbanos, el suministro de agua se convirtió en un problema para los habitantes de las ciudades y para el riego de los campos circundantes. El primer pueblo en tener en cuenta la sanidad del suministro de agua fue el pueblo romano, que construyó una extensa red de acueductos para traer las aguas limpias de los montes Apeninos hasta la ciudad, intercalando estanques y filtros a lo largo del recorrido del agua para asegurar su claridad. La construcción de estos sistemas de suministro de agua decayó con la desintegración del Imperio romano, y durante varios siglos, las fuentes de suministro de agua para fines domésticos e industriales fueron las fuentes y manantiales locales.

En los modernos sistemas de abastecimiento de aguas, suelen convertirse cuencas enteras en reservas para controlar la contaminación. Las aguas son embalsadas mediante un sistema de presas, y conducidas a las redes de distribución local por la fuerza de la gravedad o con ayuda de bombas.

El invento de la bomba en Inglaterra a mediados del siglo XVI impulsó las posibilidades de desarrollo de sistemas de suministro de agua. En Londres la primera obra de bombeo de aguas se finalizó en el año 1562. Se bombeaba agua de río a un embalse a unos 37 m por encima del nivel del Támesis, y desde el embalse se distribuía a los edificios vecinos a través de tuberías, aprovechando la fuerza de la gravedad.

La calidad del agua de estas fuentes varía considerablemente. Las aguas superficiales suelen ser más turbias y contener mayor cantidad de bacterias que las subterráneas, pero éstas tienen mayores concentraciones de productos químicos en disolución. El agua de mar contiene altas concentraciones de productos químicos disueltos y algunos microorganismos. Al ser tan variada la calidad del agua, dependiendo de la fuente de obtención, las compañías suministradoras y las autoridades han de cumplir con ciertos requisitos para el agua potable establecidos por las normativas de la Comunidad Europea o de la Organización Mundial de la Salud.

En los últimos años ha aumentado el interés en la conversión de agua de mar en agua potable en regiones muy secas como en Oriente. Diversos procesos como destilación, electro diálisis, ósmosis inversa y evaporación por congelación directa (que consiste básicamente en congelar el agua de mar a  $-1.9^{\circ}\text{C}$  suministrando cristales de hielo puro que se separan de la solución, la cual a su vez, se concentra en sales) se han desarrollado para este fin. A pesar de sus buenos resultados, estos procesos de tratamiento de agua de mar son mucho más costosos que el tratamiento del agua dulce.

En el caso de la Ciudad de México, se recurrieron a todos los medios posibles para poderla abastecer; inicialmente se recurrió a la extracción de agua del subsuelo, pero como el crecimiento de la población se incremento en gran medida, en consecuencia sus necesidades también aumentaron, en especial la de consumo de agua; posteriormente, se comenzó a traer de lugares más alejados, y es por ello que se planeo el Sistema Cutzamala, para darle a la población la dotación de agua que requería para sus múltiples necesidades, desde el consumo, hasta la producción y recreación. Es por ello que se comenzó a pensar en un crecimiento, de tal forma que se satisficieran las necesidades presentes, pero sin afectar a las generaciones futuras.

El objetivo primordial de este trabajo, es el de analizar a grandes rasgos los recursos hidrológicos existentes, así como buscar la forma de optimizar su utilización al máximo, tomando en cuenta las necesidades presentes y futuras de la humanidad; también se pretende, en forma general, proponer una serie de medidas y acciones que ayuden a concientizar a las personas de la necesidad de cuidar este vital liquido.

En el primer capítulo de este trabajo se analizará el significado de dicho crecimiento llamado desarrollo sustentable; así como sus consideraciones generales, es decir, como se da este fenómeno a nivel internacional por parte de los gobiernos, así como de los empresarios. El lugar de México a nivel Latinoamericano, así como con respecto a Norteamérica; también se analizará a México, pero de forma interna, su situación actual y los criterios a seguir para tener un mejor desarrollo sustentable a corto, mediano y largo plazo.

En el segundo capítulo se considerarán las distintas alternativas de uso para el agua pluvial, desde el consumo humano, hasta la generación de energía eléctrica, así como la agricultura, la navegación, los usos industriales, etc.

En el tercer capítulo se analizará el impacto ambiental como consecuencia del uso de las aguas pluviales.

Otro punto importante es el diseño de los sistemas de alcantarillado pluvial, en el cuarto capítulo veremos la clasificación de las tuberías, la disposición de la red de alcantarillado, así como la evaluación de caudal de diseño y las normas que lo rigen. También veremos el diseño de los canales de agua de lluvia en sus diferentes aspectos.

En el quinto capítulo se verá un caso práctico, el sistema de alcantarillado combinado del municipio de Valle de Chalco Solidaridad, su localización geográfica, la importancia del alcantarillado, sus características principales, los estudios de mecánica de suelos realizados, el proceso constructivo, así como la descripción de la red de drenaje combinado.

Ya para terminar, en el sexto capítulo se hará una recopilación de todos los anteriores para dar las conclusiones y recomendaciones pertinentes en base al uso del agua, así como de un mayor aprovechamiento de la misma por parte de la sociedad, tanto pública, como privada.

## CAPÍTULO I

# “EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO.”



## CAPÍTULO I

# “EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO.”

## CAPITULO I

### “EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MÉXICO”

#### 1.1 Desarrollo Sustentable.

A lo largo de los siglos, las sociedades tradicionales vivieron y se desarrollaron en armonía con la naturaleza. Esas sociedades aceptaron estar dominadas por la naturaleza y aprendieron a adaptar y ajustar sus actividades y su enfoque del desarrollo, según las necesidades de la naturaleza.

Al desembocar la evolución del ser humano en el mundo moderno y la revolución científica, cambio poco a poco el concepto de la naturaleza y del mundo. El hombre empezó a percibir a la Tierra y a la naturaleza como dos conceptos separados. En este contexto, se empezó a percibir a la Tierra como una masa inerte, y a la naturaleza como un reto a controlar, aprovechar y someter al servicio del ser humano.

Junto con la revolución científica, se inicio la revolución industrial, que requería de grandes cantidades de recursos naturales para sus procesos industriales, y arrojaba al aire, al suelo y al agua grandes cantidades de desechos (todo considerado “necesario para la modernización”).

Durante varias generaciones, esta manera de actuar no provocó grandes problemas perceptibles y la naturaleza parecía tener la capacidad de tolerar los daños de la industrialización. Poco a poco, los investigadores en varios campos empezaron a detectar problemas preocupantes, como la contaminación del aire, del agua y del suelo, la destrucción de los bosques, el agotamiento de los recursos naturales y varios problemas de salud relacionados con estos hechos. Asimismo, los antropólogos se preocuparon por la migración de las poblaciones pobres hacia las ciudades y las irrupciones sociales. Los habitantes de los poblados y comunidades rurales se preocuparon por la desintegración de sus familias, al enfrentar la necesidad de buscar oportunidades de empleo en las ciudades. Todos estos cambios se consideraron necesarios y positivos en la vía del “progreso” y de la “modernización”.

No fue sino a partir de la década de 1950, cuando los grupos de investigadores en el campo manifestaron su inquietud por el vínculo entre estos acontecimientos y su relación con los procesos industriales. La tendencia general era de aceptar la actividad industrializadora como el camino lógico hacia el progreso y la prosperidad. Los efectos negativos eran considerados como el precio a pagar por la “industrialización”.

Hacia los años 70, los investigadores estaban convencidos de que la modernización, con la industrialización como su foco central, era la principal culpable de los problemas ecológicos que se presentaban, y que la Tierra no tendría, en el futuro, la capacidad de absorber los desechos y la contaminación provenientes de la acción industrializante. Cada año surgían más indicios de un uso indiscriminado de los recursos naturales por parte de las empresas industriales que no las reemplazaban, contaminando el medio ambiente. Los países se enfrentaban así a un aumento de problemas y de desintegración de sus comunidades.

Poco a poco estas preocupaciones lograron influir en varios grupos, y empezaron a aparecer asociaciones ecológicas. Además, se incrementó la publicación de las investigaciones ecologistas relacionadas con el tema, y al final algunos ciudadanos se interesaron directamente en ello. Por desgracia, el sector que permaneció indiferente fue el empresarial. Para que este último aceptara su responsabilidad, se requería un cambio completo en su filosofía, y esto representaba un costo muy alto en sus utilidades. Las presiones de la competencia los afectaban mucho, y nadie podía demostrar de manera contundente que la culpa era de la industrialización (pues solo existían algunos síntomas). Sin embargo, bajo las presiones de diversos grupos, los gobiernos de algunos países empezaron a aplicar normas contra la contaminación para reducir en cierta medida dicha contaminación ambiental.

En 1987, bajo la dirección de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), tuvo lugar un importante reconocimiento internacional que confirmó la gravedad de los problemas ecológicos y el riesgo para las futuras generaciones, y que dio origen a la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Los resultados del estudio se encuentran en el famoso "Brundtland Report", contenido en el libro *Our Common Future* (Brundtland, G.H. y cols. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, 1987). Tal estudio indica claramente que el mundo seguía un camino muy peligroso en su proceso de modernización. Los puntos importantes enfatizaban que si no cambiamos profundamente el enfoque del desarrollo (en particular la industrialización basada sólo en fines económicos) la Tierra y sus sistemas ecológicos sufrirían daños irreversibles, y se ponía en peligro la existencia sana del ser humano en el futuro. El estudio concluye con una definición del nuevo concepto llamado **desarrollo sustentable**, por su carácter de sustentador de la naturaleza. Este concepto subraya las responsabilidades primordiales del ser humano en el proceso de salvar al planeta.

La humanidad tiene la capacidad de hacer sustentable el desarrollo para asegurar que se pueden satisfacer las necesidades actuales, sin perjudicar la aptitud de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.

Sin duda, los participantes llegaron a un acuerdo sobre la fuerte responsabilidad por parte del ser humano de sus propios actos, y el que estos no debían perjudicar la calidad de vida de sus descendientes. Aquí reside el problema principal. Mientras nuestra forma de vida actual puede satisfacer ampliamente a nuestra generación, las generaciones futuras se enfrentaran a

un mundo gravemente dañado, y en muchas regiones, sin posibilidad de recuperación.

En el meollo de este dilema se encuentran el sector empresarial, constituido por las organizaciones que controlan la industrialización. Grandes intereses económicos están involucrados y, al mismo tiempo, la supervivencia de dichas empresas a largo plazo. En la comunidad empresarial se observa ya una preocupación entre algunos visionarios, que están conscientes de lo nocivo de su enfoque actual y del hecho de que peligran los recursos naturales. Por esta razón, un importante número de empresas han empezado a introducir algunos procesos anticontaminantes y a reducir la cantidad de recursos naturales de sus manufacturas. Sin embargo, todavía muchas organizaciones industriales se oponen a los preceptos contra la contaminación, debido a su costo y al hecho de que no se han convencido de la gravedad de los hechos.

## 1.2 Consideraciones generales.

En el ámbito internacional, se ha reconocido la necesidad urgente de cambios sustanciales en el desarrollo empresarial, si deseamos conservar nuestros recursos naturales, así como sustentar un ambiente ecológico viable y una mejor calidad de vida para las futuras generaciones.

En la actualidad México se encuentra en una posición particularmente vulnerable, debido a las tremendas presiones a que está sometido para que promueva cambios profundos en las organizaciones empresariales, a fin de que opere una transición de enfoques tradicionales a otros más eficientes y modernos. Esta presión para que se efectúen cambios rápidos conlleva el riesgo de tomar decisiones a corto plazo, que podrían perjudicar gravemente a largo plazo el desarrollo saludable de las empresas mexicanas. Este desarrollo a largo plazo se denomina **desarrollo sustentable**. Se han asociado varias interpretaciones a este término. Sin embargo, se hará referencia a tres áreas esenciales que requieren ser tomadas en cuenta por las organizaciones empresariales al planear el futuro. Dichas áreas principales son:

- a) Utilización de los recursos naturales.
- b) Ambiente ecológico.
- c) Calidad de vida.

Estos tres aspectos del desarrollo sustentable se relacionan y dependen el uno del otro, a tal grado que hoy en día muchos investigadores resumen el punto de enfoque o el propósito del trabajo para un desarrollo sustentable como: la necesidad de restaurar y mantener en condiciones saludables todos los ecosistemas de la Tierra, a fin de asegurar la sana existencia de toda la humanidad en el futuro.

Hasta ahora se ha aceptado que, para un desarrollo sano, el modelo del (Estados Unidos) es al que aspiran todos los países, y es el que ofrece el enfoque que las organizaciones empresariales han encontrado

económicamente exitoso. Sin embargo, por primera vez en la historia de la Tierra, nos enfrentamos a una compleja serie de problemas sin precedentes. Los problemas más preocupantes son:

- ✓ La capa protectora de ozono, que se encuentra sobre las latitudes altamente pobladas del hemisferio norte, se está adelgazando dos veces más rápido de lo que creían los científicos hace algunos años. Cada día se condenan a la extinción 140 especies de plantas y animales.
- ✓ Los niveles atmosféricos de dióxido de carbono, que captan calor, tienen una concentración 26% superior a la concentración preindustrial, y continúan aumentando.
- ✓ La superficie de la Tierra estuvo más caliente en 1990 que en cualquier año anterior desde que se empezaron a tomar registros a mediados del siglo XIX. Seis de los siete años más calientes registrados ocurrieron después de 1980.
- ✓ Desaparecen por año 17 millones de hectáreas de bosques, equivalentes a la mitad de la superficie de Finlandia.
- ✓ La población mundial aumenta 92 millones de habitantes anualmente, casi como agregar un México cada año: de este total, 88 millones de habitantes se suman al mundo en países en vías de desarrollo.

Estas no son simples palabras, sino hechos que llegan a ser más alarmantes debido a que la mayor parte de este deterioro ha sido causado por la industrialización moderna. Aun así, muchos se sienten tentados a negar la gravedad de la situación, y siguen pensando en seguir como siempre, llevando a cabo simples ajustes menores. Pero cada día surgen más señales del deterioro que son más difíciles de negar.

### 1.3 México en el Contexto Latinoamericano. Temas Ambientales.

Desde el punto de vista del modelo del desarrollo, México comparte muchos problemas con otros países latinoamericanos. Tienen un vínculo cultural mucho más estrecho con el resto de América Latina, y su enfoque de desarrollo y los problemas inherentes a este enfoque también se relacionan, aunque tenga a Estados Unidos como su poderoso vecino del Norte, del cual, siempre ha sido económicamente dependiente, refiriéndonos a la época moderna.

En América Latina, el concepto de desarrollo se relaciona con la necesidad de mejorar la situación de la pobreza como de la ecología que se deteriora rápidamente.

Es importante enfatizar que el deterioro ambiental no es una consecuencia ineludible del progreso humano, sino una característica de cierto tipo de crecimiento económico que prevalece en la actualidad, intrínsecamente insustentable en términos ecológicos, además de ser inequitativo e injusto desde el punto de vista social. De hecho, si la degradación social es la consecuencia, no del desarrollo en sí, sino de una forma particular de desarrollo, se vuelve no solo indispensable, sino también posible cambiar esa orientación (es decir, iniciar la búsqueda e implementación de otras formas de desarrollo). Entonces, la solución no es frenar el desarrollo, sino cambiar cualitativamente el modelo de desarrollo, manteniendo como su máximo objetivo la mejora de la calidad de vida para todos los habitantes del planeta.

Debido a la manera en que los países de América Latina son atraídos al orden internacional, y modifican sus políticas para pagar sus enormes deudas, paulatinamente los gobiernos están adoptando modelos neoliberales que promueven un crecimiento basado en las exportaciones. A pesar de que algunos de estos países, como Chile, México y Brasil, el modelo para ser exitoso con relación al ámbito macroeconómico, con respecto a su situación interna, se presentan alarmantes problemas de deforestación, de erosión de suelos, de contaminación industrial, de contaminación por plaguicidas y pérdida de biodiversidad.

En relación con la degradación ambiental, se reconoce que se puede asociar una parte de esta con los problemas de la pobreza. Se pueden atribuir algunas áreas de deforestación, erosión de la tierra y desertificación a los desesperados intentos de los pobres por sobrevivir. Asimismo, en la mayor parte de los países latinoamericanos, la masiva destrucción planeada de los bosques ha estado en manos de las empresas.

✓ Uso de la tierra.

América Latina tiene aproximadamente 693 millones de hectáreas de tierra potencialmente cultivable que representan el 34% de la superficie, de la cual solo el 9% es cultivada. En términos totales esto parece muy positivo, pero debe tomarse en cuenta que existen grandes variaciones en cuanto a la tierra disponible de cada país.

Existe gran potencialidad para intensificar el uso de la tierra, evitando el desperdicio actual, así como de los bosques sujetos a alteraciones. Se estima que el 22% de América Latina está cubierta por ecosistemas alterados, como bosques secundarios, tierra marginal y degradada.

Los principales problemas en el uso de tierra son la erosión, la desertificación y la deforestación. En 1980, en América Latina, aproximadamente el 10% de la tierra se vio afectada por la erosión, y desde entonces este porcentaje sigue aumentando.

La desertificación ha ido apoderándose de la superficie árida potencialmente productiva en América Latina, y esto sucede en su mayoría en México y Brasil.

Se considera que la deforestación es posiblemente el problema más apremiante en el uso de la tierra debido a su importancia como regulador ecológico.

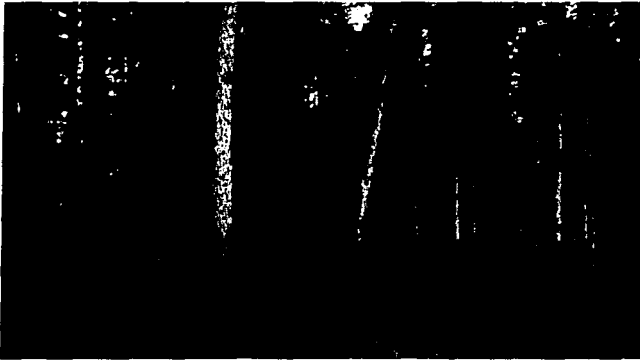


Figura 1.1 Bosque antes de la deforestación.

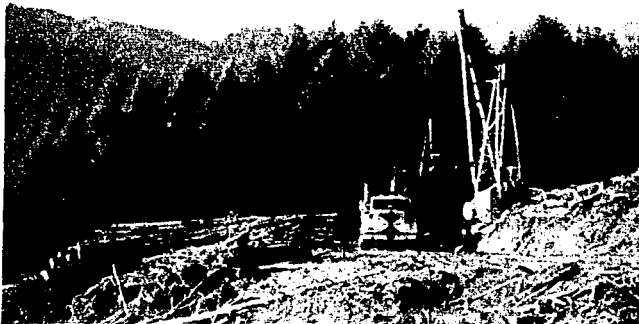


Figura 1.2 Bosque después de haber sido deforestado.

## 1.4 México y el Desarrollo Sustentable.

El incremento en las interconexiones de los países en términos tanto ecológicos como económicos no se pueden subestimar. En el caso de México existe un fuerte apego económico a Estados Unidos debido a los importantes aumentos en el comercio e inversión. También, México esta estrechamente vinculado con el resto de América Latina desde un punto de vista cultural, y en muchas situaciones, también histórico y estructural. Por consiguiente, México es atraído en dos direcciones, el país desea y necesita desarrollarse desde un punto de vista económico, y el modelo que aparentemente ha adoptado es el modelo del Norte, en tanto que al mismo tiempo le preocupa como encaja este en sus profundos valores culturales.

Un plan bien elaborado de desarrollo sustentable para México debe abordar específicamente estos problemas con la conservación de los valores culturales, a la vez que para largo plazo proporcione un camino saludable de desarrollo donde se tomen en cuenta los aspectos tanto ecológicos como de calidad de vida. Enfocándonos principalmente en tres aspectos claves del desarrollo sustentable, o sea, el ambiente, los recursos naturales y la calidad de vida.

### 1.4.1 Situación Actual.

Se presenta a continuación la situación actual de México según varios aspectos estrechamente vinculados con la sustentabilidad a largo plazo.

#### ✓ Bosques.

Según un reporte de la ONU (Organización de las Naciones Unidas), México pierde por año aproximadamente 600 000 hectáreas de tierra cubierta por árboles. Con base en esta tasa de pérdida, los investigadores estiman que el País carecerá de bosques dentro de 40 años. Hasta la fecha, ha perdido unos 12 millones de hectáreas de bosque templado y unos 5 millones de hectáreas de selva tropical. Actualmente tiene once reservas protegidas que varían en tamaño de 20 hectáreas a 2 546 790 hectáreas.

Los tres principales problemas en el uso de la tierra en el México rural son: la deforestación, la erosión y la desertificación.

#### ✓ Agua.

En el norte y en las altas planicies centrales de México hay escasez de agua. En conjunto, esta zona tiene el 20% de la disponibilidad total del agua en el país, y a la vez el 75% de la población y el 85% de la industria.



Sé están sobre explotando los mantos acuíferos en 73 zonas del país, lo que resulta en una mayor desertificación. En la ciudad de México, los mantos acuíferos están siendo sobre explotados al 140% de su capacidad.

✓ Agricultura.

El sector agrícola ha estado deprimido durante las últimas décadas, periodo a lo largo del cual México pasa de ser autosuficiente en alimentos básicos a importador de los mismos. La industria agrícola se puede dividir en dos sectores: por un lado, las grandes granjas comerciales (orientadas hacia la exportación), y por el otro, las pequeñas granjas, las pequeñas agro empresas y la agricultura de subsistencia del campesino.

#### 1.4.2 Indicadores Positivos.

A pesar de la destrucción y del desperdicio que ya se ha presentado en México, el país posee aun una riqueza de recursos naturales que le brinda un futuro bastante viable. Esta base de recursos esta constituida por una importante herencia de flora y fauna, minerales y una variedad de fuentes de energía. Las tierras están muy erosionadas pero se puede hacer mucho para recuperar los terrenos marginados. Será necesario controlar estrictamente el suministro de agua en las principales zonas industriales, pero hay zonas de México donde hay un abundante abastecimiento de agua. Aun existen bosques valiosos, pero habrá de detener la tala ilegal. En fin, si México logra controlar el uso y explotación inmoderada de sus recursos naturales, aun se encuentra en una posición muy positiva para un futuro sustentable. La clave para el mantenimiento de esta base de recursos depende de la industrialización controlada y de la solución de los graves problemas de la pobreza.

#### 1.5 Criterios para el Desarrollo Sustentable en México.

Una vez que México haya evaluado las fuerzas y debilidades de su situación actual, el siguiente paso es fijar criterios o guías que puedan servir como bases para un desarrollo sustentable.

✓ Recursos naturales y las preocupaciones ambientales.

Todo desarrollo, empresa o actividad nueva, tiene que planearse con base en la conservación estricta de los recursos naturales, evaluados positivamente por su impacto ambiental. El país ya no puede permitirse actividades o desarrollos que sean perjudiciales para su base ecológica.

En relación con la inversión extranjera, los dirigentes del sector privado y publico tendrán que mostrar al inversionista extranjero, que México ya no es un

país interesado en inversiones no sustentables ecológicamente, no importa cuan lucrativas sean para unos cuantos. Esto será muy difícil para el país porque las presiones son enormes. Sin embargo, si no se tiene el valor para seguir una senda sustentable, a futuro las próximas generaciones mexicanas afrontarán un desastre ecológico irreversible.

Por otro lado, la aplicación de las leyes ecológicas sólo pueden ser completamente efectivas y correctas si los empresarios mexicanos adoptan una mentalidad ecológica. Esto significa que tienen que estar convencidos al 100% de la necesidad de conservar los recursos naturales.

En la comunidad, cada empresario tiene que estar convencido de que el futuro de su empresa, su familia y la unidad depende de sus actitudes y acciones pro ecológicas. Ya no se puede separar la naturaleza de un negocio.

✓ Evaluación ambiental de una empresa.

Las empresas necesitan reportar su desempeño ambiental y de recursos naturales de la misma manera que reportan el financiero. Esto indicará el costo real de la elaboración de un producto o servicio, además de indicar donde se pueden efectuar los ahorros y mejoras. Los costos de los tratamientos ambientales y de rehúso, de reciclaje o de la disposición final, serán considerados como un costo interno y no como uno que se puede pasar al consumidor como un gravamen público.

## CAPÍTULO II

# **“APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES. ALTERNATIVAS DE USO.”**

## CAPITULO II

### APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES. ALTERNATIVAS DE USO.

De todos los recursos naturales, el agua es la sustancia que interviene en todas las actividades sociales y económicas del hombre.

Para un clima semejante al que predomina en nuestro país, en términos generales, se estima que para satisfacer en forma razonable todas las necesidades de agua de una persona se requiere, en promedio, dos mil metros cúbicos por año. Este volumen comprende el agua necesaria para uso doméstico, público, agropecuario, recreativo, industrial, generación de energía eléctrica, entre otros.

En la actividad económica, el agua tiene un papel primordial, y su carencia afecta de manera directa su desarrollo. El agua se emplea en actividades como la agricultura, en la generación de energía eléctrica, hidráulica y de vapor. En general, la industria emplea grandes cantidades de este recurso en todos sus procesos de transformación o de manufactura, aún para la producción de sustancias cuya constitución no interviene, también la emplea como sustancia para la dilución y desalojo de los desechos.

Actualmente llegan a la ciudad de México cerca de 40 m<sup>3</sup>/s, los cuales se obtienen de diversas fuentes de abastecimiento, tales como: el río Lerma, pozos municipales, los ríos principales de la cuenca del alto Amacuzac (ríos Balsas y Cutzamala), aguas del norte de la ciudad (de Chiconautla, sistema de pozos Tizayuca y Venta de Carpio), de la zona sur poniente (sistema Chalco y Tulyehualco) y captaciones de la sierra sur del Distrito Federal (Desierto de los Leones y parte de Contreras). Aguas que al ser captadas, tratadas y conducidas hasta la ciudad de México se destinan como se muestra en la siguiente tabla.

Si se considera que en el presente la dotación media es de 300 litros por habitante por día (de forma teórica), y que se cuenta con una población en el Área Metropolitana de aproximadamente 20 millones de habitantes, y en el

Distrito Federal de 8 millones de habitantes, se necesita suministrar un gasto del orden de 80 m<sup>3</sup>/s (en forma teórica), para cubrir la demanda. Y para ello se ha pensado en nuevas fuentes de abastecimiento, tales como: la segunda y tercera etapa del sistema Cutzamala, la cuenca del río Tuxpan y en un futuro, el río Papaloapan.

Tabla 2.1 Diferentes usos del agua.

Usos	Número de usuarios	Caudal	
		m <sup>3</sup> /s	%
Doméstico	1 millón de viviendas	22	55.0
Industrial	30 mil establecimientos	5	12.5
Servicios	60 mil establecimientos	4	10
Comercial	120 mil establecimientos	1	2.5
Usos no contabilizados	Usos públicos y fugas	8	20.0
	Total	40	100.0

## 2.1 Usos de las Aguas Pluviales.

Los problemas que tiene la Ciudad de México con respecto al agua son muchos y muy variados, desde las inundaciones por exceso de lluvia, hasta la escasez de agua potable. Estos hechos pueden manejarse conjuntamente para obtener una solución simultánea, la cual consiste en la captación y conducción, almacenamiento y aprovechamiento de las aguas de lluvia mediante el diseño y la construcción de obras destinadas para tales fines y de esta manera disminuir el uso de agua potable en algunas actividades humanas. Con la solución anterior las inundaciones provocadas por las lluvias extraordinarias se minimizarán y los escurrimientos pluviales captados y almacenados se convertirán en otra fuente de aprovechamiento de agua.

Ahora bien, las aguas pluviales generalmente resultan ser de buena calidad, sobre todo si estas no han tocado la superficie terrestre, puesto que normalmente contienen polvos y algunas bacterias, así como compuestos químicos provenientes de los gases y vapores que se encuentran en su caída. Su captación se hace mediante los techos de las edificaciones, vialidades y superficies impermeables, conduciéndolas hasta su almacenamiento que por lo regular resultan ser tanque o depósitos con características específicas, según

Distrito Federal de 8 millones de habitantes, se necesita suministrar un gasto del orden de 80 m<sup>3</sup>/s (en forma teórica), para cubrir la demanda. Y para ello se ha pensado en nuevas fuentes de abastecimiento, tales como: la segunda y tercera etapa del sistema Cutzamala, la cuenca del río Tuxpan y en un futuro, el río Papaloapan.

Tabla 2.1 Diferentes usos del agua.

Usos	Número de usuarios	Caudal	
		m <sup>3</sup> /s	%
Doméstico	1 millón de viviendas	22	55.0
Industrial	30 mil establecimientos	5	12.5
Servicios	60 mil establecimientos	4	10
Comercial	120 mil establecimientos	1	2.5
Usos no contabilizados	Usos públicos y fugas	8	20.0
	Total	40	100.0

## 2.1 Usos de las Aguas Pluviales.

Los problemas que tiene la Ciudad de México con respecto al agua son muchos y muy variados, desde las inundaciones por exceso de lluvia, hasta la escasez de agua potable. Estos hechos pueden manejarse conjuntamente para obtener una solución simultánea, la cual consiste en la captación y conducción, almacenamiento y aprovechamiento de las aguas de lluvia mediante el diseño y la construcción de obras destinadas para tales fines y de esta manera disminuir el uso de agua potable en algunas actividades humanas. Con la solución anterior las inundaciones provocadas por las lluvias extraordinarias se minimizarán y los escurrimientos pluviales captados y almacenados se convertirán en otra fuente de aprovechamiento de agua.

Ahora bien, las aguas pluviales generalmente resultan ser de buena calidad, sobre todo si estas no han tocado la superficie terrestre, puesto que normalmente contienen polvos y algunas bacterias, así como compuestos químicos provenientes de los gases y vapores que se encuentran en su caída. Su captación se hace mediante los techos de las edificaciones, vialidades y superficies impermeables, conduciéndolas hasta su almacenamiento que por lo regular resultan ser tanque o depósitos con características específicas, según

sean las condiciones hidrológicas, geológicas y topográficas que predominen en la zona.

El agua que ha sido recolectada por escurrimientos superficiales arrastra a su paso toda clase de impurezas que se van acumulando y para eliminarlas se recomienda desechar las primeras aguas escurridas, sobre todo cuando se inicia la temporada de lluvias, y todavía para procurar que el agua que se almacene sea lo mas limpia posible se deberá adaptar un desarenador o filtro sencillo, constituido por capas de arena y grava graduada, antes de la descarga al deposito.

Para el caso de zonas urbanas es difícil pensar que con las aguas de lluvia se puede abastecer totalmente de este líquido a la población debido a las grandes cantidades de agua necesaria para su uso en las diversas actividades que tiene lugar en estas zonas, requiriéndose para esto extensas zonas de captación y grandes obras de almacenamiento; sin embargo, se pueden diseñar captaciones individuales para utilizar el agua en algunas actividades distintas al consumo directo del hombre y su aseo personal.

## 2.2 Potabilización.

Este tipo de aprovechamiento tiene preferencia sobre cualquier otro, la dotación es la cantidad de agua expresada en litros por habitante por día y debe satisfacer todas las necesidades de una persona; la dotación por habitante es variable y aumenta conforme crece la población y su nivel socioeconómico.

En localidades rurales la dotación es únicamente la necesaria para satisfacer las necesidades primarias. Por ejemplo en las zonas áridas del país, llega a ser de 10 lts al día por habitante.

En los grandes centros urbanos la dotación se hace para satisfacer en forma plena las necesidades de sus habitantes, incluye los usos domésticos, públicos, comerciales e industriales. La dotación para estos centros urbanos llega a ser mayor de 300 litros por habitante por día.

Los sistemas de abastecimiento son desde una toma colectiva de agua, para toda una localidad, hasta las tomas domiciliarias y agua entubada dentro de las casas.

El agua destinada al consumo humano debe ser potable, entendiéndose como tal el agua que cumpla con las normas de calidad correspondientes.

El agua de lluvia, puede recolectarse de los techos, almacenándose en cisternas, para abastecimiento individual reducido. También de cuencas, para suministro de pequeñas comunidades.

El agua de lluvia raramente es la fuente inmediata de abastecimiento, su recolección, generalmente, se hace en regiones semiáridas, carentes de aguas satisfactorias superficiales o subterráneas. En casa habitación, el agua de lluvia que escurre en los tejados, se conduce a través de canales y ductos de bajada a barriles o cisternas de almacenamiento situados sobre el piso o hechos en el suelo. El almacenamiento transforma la recepción intermitente del agua de lluvia, en una fuente de suministro continuo.

El aprovechamiento del agua pluvial, es proporcional a área receptora y de la cantidad de precipitación, pero parte del agua es arrastrada por el viento, hacia fuera de los tejados y parte se evapora o se pierde humedeciendo la superficie y los ductos colectores. En ocasiones debe despreciarse la primera corriente de agua porque contiene polvo, desechos de pájaros y otras sustancias indeseables; una compuerta deflectora colocada en el ducto de salida, permite desviar el agua no deseada. Los filtros de arena, permiten limpiar el agua a la entrada de la cisterna y, previenen su deterioro, debido al crecimiento de organismos ofensivos y a los cambios consecuentes de sabor, olor y otras alteraciones en apariencia.

### 2.3 Agricultura.

Debido a las características climáticas de nuestro país, el riego es indispensable. El 63% del territorio es árido, lo que hace necesario el riego para el aprovechamiento agrícola; el 31% es semiárido, en el cual solo se puede desarrollar el cultivo de temporal, en épocas de lluvia; el 5% es semihúmedo, en el cual es prácticamente posible obtener cosechas todo el año, pero para aumentar los rendimientos es conveniente suministrar el riego; el 1% es húmedo y permite desarrollar cultivos todo el año.

Las condiciones climatológicas no son la única limitante de la agricultura del país, ya que es uno de los más montañosos del mundo, lo que origina el contraste y la irregularidad del clima y que predominen las fuertes pendientes; de los 196.7 millones de hectáreas con que cuenta, solo 71 millones son de tierras llanas con pendiente menor del 25%. Por esto, para aprovechar la superficie cultivable, debemos buscar fuentes de agua para riego, económicas, seguras y con la calidad necesaria, para así lograr el desarrollo y crecimiento agrícola del país.

### 2.4 Usos Industriales.

Este es uno de los usos del agua donde se consume mayor cantidad de ella, el empleo industrial de este líquido es de lo más amplio y variado, no sólo por el tipo de industria, sino también porque una sola fábrica puede emplearla en diversas actividades. Debido a esto, resulta imposible formar un criterio general sobre la calidad de agua aceptable para el consumo industrial, y



tampoco se ha podido determinar con precisión el volumen requerido por las diferentes industrias.

En la actualidad en todos los sectores de las actividades económicas existe una dependencia creciente de agua, que adquiere especial importancia en el sector industrial. Esta demanda obedece a que la mayor parte de la industria primaria y secundaria, requieren este recurso en cantidades cada vez mayores, para sus procesos de elaboración, transformación y en algunos para enfriamiento.

Por otra parte, la industria trae consigo la concentración de la demanda de agua en determinadas zonas geográficas, requiriéndose para abastecimiento y como medio de eliminación de desechos, además de la transformación.

Las necesidades de agua en la industria, están determinadas por la tecnología y producción total. La cantidad de agua que se consume o usa para producir artículos industriales depende de la clase de producto que se elabore y, si el agua se consume al incorporarse al producto durante el proceso de elaboración, o si solamente se aprovecha para el proceso y puede volver a usarse en el mismo o en otro proceso, aunque a veces tiene que reacondicionarse para satisfacer determinados requisitos.

En la práctica es difícil precisar la cantidad de agua que se requiere para producir un artículo, en términos generales, se requiere de un metro cúbico de agua para obtener cualquiera de las siguientes cantidades de producto: 30 kg de acero, 70 kg de pulpa de madera, 12 kg de hule sintético, 29 kg de productos petroquímicos, 33 kg de azúcar, 0.3 kg de algodón. Aquí podemos apreciar la relación que guarda la industria con el suministro de agua.

Para algunas industrias, la calidad de agua es más importante que la cantidad disponible; esto representa un problema, por un lado el establecimiento de nuevas industrias puede frenarse, por el excesivo costo que implica el tratamiento de agua de mala calidad y por otro, debido a la práctica que siguen para la eliminación de los desechos.

## 2.5 Recarga de Mantos Acuíferos.

Una de las formas utilizadas para lograr la explotación racional de un acuífero, coordinándolo con los demás elementos que determinan el régimen hidrológico de una cuenca, es la recarga artificial.

La recarga artificial consiste en la intervención en los procesos de recarga de un acuífero, en los puntos y periodos más convenientes a su régimen de explotación.

La recarga artificial requiere que el terreno tenga zonas porosas y vacías que no se drenen rápidamente al exterior y que almacenen convenientemente el agua. La existencia de medios porosos y vacíos que no se drenen

rápida al exterior no suelen existir naturalmente en áreas húmedas y templadas, y únicamente se encuentran en zonas áridas; cuando todo está lleno de agua solo se puede tratar de desplazar unas aguas por otras o producir mezclas apropiadas. En cambio, en acuíferos explotados, se pueden producir descensos de nivel que dejan un volumen vacío para ser recargado; en este caso es esencial la existencia de un bombeo apropiado a la recarga, y dicha recarga debe realizarse de modo que no se impida o disminuya la recarga natural o lo que pudiera inducirse de aguas superficiales (ríos, lagos) o de otros acuíferos, a menos que sea este precisamente el efecto que se desea producir (evitar la intrusión marina o la llegada de las aguas contaminadas).

El almacenamiento de agua en el terreno tiene la gran ventaja de que no utiliza la superficie del terreno (salvo el preciso para las instalaciones de recarga) y se minimizan las pérdidas por evaporación.

Los acuíferos pueden tener diversas funciones en el programa de ordenación hidráulica de una cuenca, según sus propias características y las de la cuenca en que están integradas.

a) Utilización del acuífero como regulador y como depósito.

Este es el caso de los embalses subterráneos de gran volumen en lugares donde se disponga de períodos con excedentes de aguas superficiales que de otra manera se desperdiciarían.

b) Utilización del acuífero como red de distribución.

Cuando el acuífero tiene un volumen y espesor grande, la recarga puede ser estacional ya que puede admitir una oscilación fuerte de nivel, pero si el acuífero tiene un volumen pequeño en relación con la explotación de que es objeto, habrá que recargarlo de forma casi permanente con aguas previamente reguladas, en cuyo caso el acuífero actúa como una red de distribución de dichas aguas si su transmisividad es suficiente. Con ello se logran dos cosas: mantener los niveles evitando la afectación de pozos existentes, y lograr un bombeo total mayor que el que permitirían los recursos naturales del acuífero. El sistema es útil cuando ya existen los pozos y el bombeo ha hecho descender los niveles lo suficiente como para crear espacio para la recarga.

c) Corrección de una disminución de la recarga existente.

La recarga natural puede reducirse por transvase de aguas de una cuenca a otra o por desvío de un río en una zona; la recarga artificial puede tratar de corregir las afectaciones que se deriven. La regulación de un río mediante embalses de retención pueden también crear problemas aguas abajo debido a la disminución de frecuencia y tamaño de las crecidas e inundaciones durante y después de las cuales se produce una parte importante de la recarga, aunque

el efecto no este claramente establecido, pues existe el efecto favorable de que los embalses liberan un agua mas clara, si los vertidos aguas abajo no la degradan. Otras causas de disminución de recarga son la urbanización, la supresión de regadíos con agua procedente de otros lugares, la instalación de una red de saneamiento que evite que las aguas usadas vuelvan al acuífero, etc.

d) Defensa del acuífero.

Se tiene el caso típico, de las barreras contra la intrusión salina.

e) Eliminación de vertidos indeseables.

Este es el caso de inyección en acuíferos profundos que no son utilizables para abastecimiento.

También se utiliza este método para recuperar aguas procedentes de refrigeración industrial y urbana. Sin embargo, hay que utilizar el método con reservas, pues ello puede provocar el aumento de la temperatura del agua del acuífero en varios grados, contribuyendo a fomentar colonias bacterianas, algas, etc.

f) Drenaje de zonas urbanas y obras civiles.

Si el terreno es aceptablemente permeable, puede constituir un medio para evacuar aguas de tormenta en zonas edificadas, estacionamientos, industrias, carreteras, autopistas, etc., sin tener que recurrir a costosas obras de evacuación para esas aguas; no obstante se requiere disponer de terrenos apropiados y con extensión suficiente, una seguridad de funcionamiento y un cierto mantenimiento de los campos de recarga.

### 2.5.1 Métodos de recarga.

Al tratar este punto es preciso distinguir entre recarga inducida y recarga artificial propiamente dicha.

La recarga inducida consiste en crear situaciones favorables a la infiltración natural. Sus métodos pueden consistir en preparar superficies de forma adecuada, como creación de terrazas, plantaciones adecuadas, etc., o bien, la sobreexplotación controlada de los puntos favorables a la infiltración, para lograr una penetración de mayor volumen de agua en el acuífero (bombeo próximo a un río, lago, etc.).

La recarga inducida está limitada por la colmatación del lecho del río si las aguas son turbias o muy contaminadas; la instalación de embalses de decantación o la depuración de vertidos es muy favorable, así como el

mantener mediante regulación unos caudales mínimos de dilución durante los estiajes.

La recarga artificial consiste en crear unos dispositivos especialmente diseñados para este fin. Pueden distinguirse:

- a) Sistemas de recarga en superficie.
- b) Sistemas de recarga en profundidad.
- c) Sistemas mixtos.

Aunque en un principio fue más común la recarga en superficie, actualmente domina la recarga de profundidad de pozos, en especial en zonas densamente pobladas y próximas a poblaciones.

En la elección de uno u otro sistema también influye la calidad del agua de recarga, siendo preferibles los de superficie, en especial los que utilizan gran superficie, cuando el agua es muy turbia o contaminada y no es económico su pretratamiento.

La extracción del agua recargada se suele hacer mediante pozos, aunque en instalaciones en que uno de los objetivos principales es la corrección de la calidad del agua por infiltración, también se construyen drenes horizontales y menos frecuentemente zanjas de drenaje.

## 2.6 Generación de Energía Eléctrica.

El suelo montañoso del país, que limita a la agricultura, favorece al aprovechamiento hidroeléctrico, con los cuales se inició la electrificación masiva, en los últimos años se ha presentado una preferencia por las plantas termoeléctricas, al grado de que el petróleo proporciona la mayor parte de la energía que impulsa la actividad económica. Las plantas termoeléctricas no consumen ni contaminan el agua, ni cambian sustancialmente el régimen de los ríos; los volúmenes de agua utilizados están incluidos en los destinados para usos industriales, por lo que no se requiere reserva especial.

Como dato, Chiapas contribuye en el 60% de energía generada en hidroeléctricas, y eso representa tan solo el 2% de la generación eléctrica del país.

## 2.7 Desarrollo de la Fauna y Flora Acuática.

Nuestro país cuenta con una amplia variedad de lagunas, que tienen las condiciones ecológicas favorables para el desarrollo de valiosas especies marinas de alto valor comercial.

Los recursos pesqueros de las aguas estuarinas han venido siendo afectadas negativamente por: las obras de control de los ríos, las descargas de

los drenajes agrícolas contaminados con insecticidas, fertilizantes químicos y sales; los desechos industriales y por las descargas de aguas residuales. En conjunto han provocado un alarmante descenso en la producción.

Las lagunas litorales son lugares donde pueden aplicarse las nuevas tecnologías, destinadas a mejorar el medio ecológico y elevar la productividad. La producción agrícola de las lagunas litorales alcanzan niveles que superan a los de la agricultura tecnificada y pueden elevarse si se cuenta con las obras necesarias para alcanzar el aprovechamiento óptimo.

Las lagunas naturales del país cubren un área total de 1 540 780 hectáreas, de las cuales, un millón son susceptibles de ser aprovechadas.

Los ríos y arroyos, en su estado natural, descargan en las aguas marinas de la plataforma continental, contribuyendo a mantener el equilibrio ecológico que permite el desarrollo del ciclo biológico. En la actualidad, estas aportaciones de agua dulce, tienden a reducirse o a cambiar de régimen de descarga, conforme se van controlando y aprovechando los ríos, alterando el equilibrio en algunas zonas. Es necesario considerar entre los principales usos del agua, la alimentación de esta faja costera de agua dulce, con el propósito de fomentar el desarrollo y la explotación comercial de las especies marinas.

## 2.8 Navegación.

Las condiciones necesarias para este propósito, no dependen directamente de la potencialidad del río, sino de la regularidad de la corriente, de la pendiente y características generales del cauce.

Son pocos los ríos del país y cortos los tramos, que pueden considerarse navegables, entre ellos tenemos al Usumacinta, Grijalva, Tonalá, Papaloapan, Coatzacoalcos y Pánuco. La navegación ha sido tradicional y puede incrementarse al construir almacenamientos destinados a propósitos que permitan la regulación del cauce.

## 2.9 Recreación y Turismo.

El aprovechamiento del agua para estos fines esta relacionada con el desenvolvimiento de las ciudades, en algunos países, este uso tiene mayor preferencia.

En las zonas que cuentan con lagos y ríos es relativamente fácil desarrollar diversas formas de recreo, pero en las zonas áridas y semiáridas, este uso esta ligado a las presas de almacenamiento, cualquiera que sea el uso al que están destinadas.

En algunas zonas áridas y semiáridas del país, es recomendable el aprovechamiento de los escasos recursos hidráulicos disponibles, para fines

recreativos y turísticos, por el elevado índice de productividad que se podría obtener en comparación con otros propósitos.

## 2.10 Usos Múltiples.

Las corrientes naturales del país, es uno de los recursos más valiosos que se tienen, pero la tendencia que tienen a salirse de sus cauces y provocar inundaciones durante los periodos hidrometeorológicos anormales, causan graves daños a nuestra economía. Los desastres producidos por avenidas, se deben principalmente a que el hombre, en su afán por acercarse a los ríos, invaden los cauces y valles adyacentes construyendo centros de población, desarrollando la agricultura y la industria en zonas peligrosas.

Las presas para el control de los ríos y las obras de defensa contra inundaciones, están relacionadas con la seguridad y bienestar de la población. En nuestro país, son pocas las presas que tienen como único objetivo el control de las avenidas, para protección contra inundaciones. No es frecuente que se considere en los almacenamientos una capacidad adicional para este objetivo, sin embargo, los vasos tienen cierto efecto regulador que reduce la magnitud de las avenidas.

El aprovechamiento hidráulico ideal, es el destinado a usos múltiples que se apoyan unos en otros y, se complementan para diversificar e incrementar los beneficios, cuya magnitud es mayor que si se desarrollaran separadamente. En los proyectos para usos múltiples se asocia generalmente el control de las avenidas con cualquier otro, ya sea para abastecimiento de agua, riego, generación de energía eléctrica, etc., aumentando la factibilidad económica del conjunto.

## CAPÍTULO III

# **“IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES”**

## CAPITULO III

### **“IMPACTO AMBIENTAL ASOCIADO AL APROVECHAMIENTO DE LAS AGUAS PLUVIALES”**

#### 3.1 El Ciclo Hidrológico.

En la Tierra, el agua existe en un espacio llamado hidrósfera, que se extiende desde unos quince kilómetros arriba de la atmósfera hasta un kilómetro por debajo de la litosfera o corteza terrestre. El agua circula en la hidrosfera a través de un laberinto de caminos que constituyen el ciclo hidrológico.

El concepto básico de la hidrología esta representado en dicho ciclo, el cual consiste en la circulación del agua, que se inicia con la evaporación de los ríos, lagos, océanos, humedad superficial y transpiración de las plantas, para, posteriormente condensarse y formar las nubes. Cuando ya hay una gran concentración de 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.

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).
- d) Océanos.

Este ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua, como se muestra en la figura 3.1, de forma esquemática nos podemos dar cuenta como el agua se evapora desde los océanos y desde la superficie terrestre para volverse parte de la atmósfera; el vapor de agua se transporta y se eleva en la atmósfera hasta que se condensa y precipita sobre la superficie terrestre o los océanos; el agua precipitada puede ser interceptada por la vegetación, convertirse en flujo superficial sobre el suelo, infiltrarse en él, correr a través del suelo como flujo subsuperficial y descargar en los ríos como escorrentía superficial. La mayor parte del agua interceptada de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y



finalmente fluye hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa.

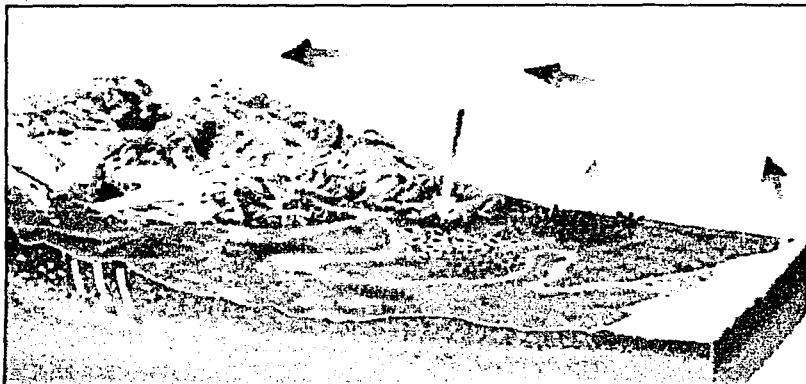


Figura 3.1 Ciclo Hidrológico

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 medida del flujo hidráulico de la misma.

El cálculo de la cantidad total de agua en la Tierra y en los numerosos procesos del ciclo hidrológico ha sido tema de exploración científica desde la segunda mitad del siglo XIX. Sin embargo, la información cuantitativa es escasa, particularmente en los océanos, lo cual significa que las cantidades de agua en varios componentes del ciclo hidrológico global no se conocen en forma precisa.

En la tabla 3.1, se encuentran las cantidades estimadas de agua en las diferentes formas que existen en la Tierra. Cerca de 96.5% del agua del planeta se encuentra en los océanos. Si la Tierra fuera una esfera uniforme, esta cantidad sería suficiente para cubrirla hasta una profundidad cerca de 2.6 km. Del resto, el 1.7% se encuentra en los hielos polares, el 1.7% en manantiales subterráneos y solamente el 0.1% en los sistemas de agua superficial y atmosférica. El sistema de agua atmosférica, que es la fuerza motriz de la hidrología del agua superficial, tiene solamente  $12\,900\text{ km}^3$  de agua, es decir, menos de una parte en 100 000 de toda el agua de la Tierra.

Tabla 3.1 CANTIDADES ESTIMADAS DE AGUA EN EL MUNDO.

TIPOS	AREA 10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup>	VOLUMEN km <sup>3</sup>	PORCENTAJE DE AGUA TOTAL.	PORCENTAJE DE AGUA DULCE
Océanos	361.3	1 338 000 000	96.5000	
Agua subterránea				
Dulce	134.8	10 530 000	0.7600	30.100
Salada	134.8	12 870 000	0.9300	
Humedad del suelo	82.0	16 500	0.0012	0.050
Hielo polar	16.0	24 023 500	1.7000	68.600
Hielo no polar y nieve	0.3	340 600	0.0250	1.000
Lagos				
Dulces	1.2	91 000	0.0070	0.260
Salinos	1.8	85 400	0.0060	
Pantanos	2.7	11 470	0.0008	0.030
Ríos	148.8	2 120	0.0002	0.006
Agua biológica	510.0	1 120	0.0001	0.003
Agua atmosférica	510.0	12 900	0.0010	0.040
Agua total	510.0	1 385 984 610	100.0000	
Agua dulce	148.8	35 029 210	2.5000	100.000

Cerca de dos terceras partes del agua dulce de la Tierra son hielo polar y la mayoría de la restante es agua subterránea que va desde 200 hasta 600 metros de profundidad. La mayor parte del agua subterránea por debajo de esta profundidad es salina. Solamente el 0.006% del agua dulce está en los ríos. El agua biológica, fijada en los tejidos de plantas y animales, representa cerca del 0.003% de toda agua dulce, equivale a la mitad del volumen contenido en los ríos.

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.

A pesar de que el contenido del agua en los sistemas superficiales y atmosféricos es relativamente pequeño, inmensas cantidades de agua pasan anualmente a través de ellos. En la tabla 3.2, se muestra el balance anual global de agua; en la figura 3.1, se ilustran los principales componentes en unidades relativas a un volumen anual en precipitación terrestre de 100. Puede verse que la evaporación desde la superficie terrestre consume el 61% de esta precipitación, y el restante 39% conforma la escorrentía hacia los océanos, principalmente como el agua superficial. La evaporación desde los océanos constituye cerca de 90% de la humedad atmosférica. El análisis de flujo y el almacenamiento de agua en el balance global de agua, dan una visión de la dinámica del ciclo hidrológico.

Tabla 3.2 Balance anual de agua global.

Área	UNIDADES	OCÉANOS	TIERRA
	km <sup>2</sup>	361 300 000	148 800 000
	km <sup>2</sup> /año	458 000	119 000
Precipitación	mm/año	1 270	800
	pulg./año	50	31
	km <sup>3</sup> /año	505 000	72 000
Evaporación	mm/año	1 400	484
	pulg./año	55	19
Escorrentía hacia los océanos			
Ríos	km <sup>3</sup> /año		44 700
Agua subterránea	km <sup>3</sup> /año		2 200
	km <sup>3</sup> /año		47 000
Escorrentía total	mm/año		316
	pulg./año		12

Por otro lado, 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. Con respecto a la temperatura, a una profundidad de 325 m podemos esperar que ésta se encuentre de 4°C a 16°C, mas alta que la temperatura de la superficie, dependiendo del tipo de suelo donde esté ubicado el manto acuífero.

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 sequías. 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.

A pesar de que el concepto de ciclo hidrológico es simple, el fenómeno es enormemente complejo e intrincado. Este no es solamente un ciclo grande, sino que esta compuesto de muchos ciclos interrelacionados de extensión continental, regional y local. Aunque el volumen total de agua en el ciclo hidrológico global permanece esencialmente constante, la distribución de esta agua esta cambiando continuamente en continentes, regiones y cuencas locales de drenaje.

La hidrología de una región está determinada por sus patrones de clima tales como la topografía la geología y la vegetación. También, a medida que la civilización progresa, las actividades humanas invaden gradualmente el medio ambiente natural del agua, alterando el equilibrio dinámico del ciclo hidrológico e iniciando nuevos procesos y eventos.

### 3.1.1 Potencial Mundial de Agua.

El agua, líquido vital para la vida, fue formada hace 4 500 millones de años, mismo periodo 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.

Tabla 3.3 Volumen mundial de agua.

CONCEPTO	MILLONES DE km <sup>3</sup>	PORCENTAJE
Océanos	1 307	97.4
Glaciares	25	1.8
Agua dulce	10	0.8
total	1 342	100.0

La extensión del globo terráqueo es de 500 millones de km<sup>2</sup>, de los cuales, la superficie correspondiente a los diversos océanos es de 361 millones de km<sup>2</sup>, es decir, en 71%. La superficie terrestre abarca 149 millones de km<sup>2</sup>.

Refiriéndonos al agua dulce, esta se encuentra en depósitos subterráneos, lagos, corrientes y en la atmósfera. La distribución mundial de este elemento esta dada tal y como se muestra en la tabla 3.5.

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

Tabla 3.4 Extensión de los ríos principales ríos por continente.

CONTINENTE	LONGITUD EN km	NUMERO DE RÍOS.
África.	26 700	10
América del Norte.	27 700	10
América del Sur.	21 500	8
Asia.	56 900	15
Europa.	37 700	36
Oceanía.	3 500	1
Total.	174 000	80

Tabla 3.5 Distribución mundial del agua.

CONCEPTO	MILLONES DE km <sup>3</sup>	PORCENTAJE
Océanos	1 307.0000	97.389
Glaciares y campos de hielo	24.6000	1.833
Agua dulce en estado líquido		
Agua subterránea a mas de 800 m.	4.5500	
Agua subterránea a menos de 800 m.	5.6500	
Zona profunda.	0.0120	
Subtotal.	10.2120	0.761
Agua superficial.		
Lagos de agua dulce.	0.1250	
Lagos de agua salada y mares internos.	0.0850	
Canales y corrientes.	0.0003	
Subtotal.	0.2103	0.016
Agua atmosférica.	0.0140	0.001
Total.	1 342.0363	100.000

Por otra parte, la profundidad media de los principales lagos del mundo es de 120 m (promedio anual), y estos se encuentran distribuidos como se muestra en la tabla 3.6.

Tabla 3.6 Superficie de los lagos por continente.

CONTINENTE	NUMERO DE LAGOS	SUPERFICIE EN Km <sup>2</sup>
África.	9	170 000
América.	16	214 000
Asia.	7	136 000
Europa.	53	492 000
Oceanía.	3	23 000
Total.	88	1 035 000

Por todas las cifras que hasta este momento se han visto, y a pesar de los limitados recursos de agua dulce que se tienen, dichos recursos podrían llegar a ser suficientes, sin embargo, y desafortunadamente, en muchos casos estos recursos son mal usados o peor aún, desperdiciados, y esto significa una escasez de agua en zonas donde realmente se necesita. Esto nos lleva a la conclusión de que se necesitan nuevas fuentes para abastecer a las diferentes poblaciones; y tomando como referencia a la Ciudad de México, las fuentes alternas de abastecimiento de agua ya están sobre explotadas o a punto de llegar a su límite, esto implica la búsqueda de nuevas fuentes de abastecimiento.

### 3.2 Las Necesidades Humanas y los Recursos de Agua.

Planteando a escala mundial, el problema de las necesidades humanas y de las necesidades que hay por el agua, esto parece un tema inabordable, en función de la imposibilidad de calcular los volúmenes de manera exacta. A lo cual le podemos añadir la imprecisión de los datos estadísticos, la variabilidad de las necesidades en agua para un mismo uso, la mayor o menor eficacia de los métodos de gestión aplicados, ya sea para su rehúso, o bien, para descargarla en los cuerpos de agua.

Conviene renunciar a ciertos tipos y modos de consumo ya sea obteniendo nuevos recursos o bien considerando la posibilidad de transferir actividades hacia un espacio cuyos recursos acuíferos sean más abundantes o estén menos explotados. Asistimos así a una expansión del problema espacial inicialmente planteado, y si este proceso se produce con simultaneidad de lugares e incidencias, cabe prever finalmente una universalización del conflicto y una seria competición en pos del agua.

Sin embargo, es evidente que un esquema de conjunto de este tipo se halla ahora en curso de iniciación, y no precisamente en aquellas regiones secas y cálidas donde los problemas de la escasez del agua han sido siempre tema de preocupación, sino más bien en los países ricos de las zonas templadas supuestamente exentas de semejante amenaza. Existe pues un problema de desajuste entre las disponibilidades y los recursos en agua, pero conviene precisar que en la realidad este problema es de carácter social por su contexto ecológico y tecnológico.

- ✓ La evaluación de las necesidades.

Más allá de la diversidad de las evaluaciones aparecen de inmediato algunas constantes, particularmente una correlación muy estrecha entre el consumo de agua y la evaluación del nivel de vida, lo mismo que una tendencia global al crecimiento exponencial con doblamiento del consumo cada 15 años. Esas características se relacionan con los tres sectores del consumo: humano, agrícola e industrial.

#### 3.2.1 Consumo Humano.

Las necesidades mínimas del hombre podrían ser del orden de unos 15 litros por día, tal vez menos en el caso de los pastores nómadas de los países secos. Si el hombre lava y se lava, las necesidades pueden alcanzar hasta los 30 litros por día, volumen que coincide de hecho con los consumos registrados en las zonas rurales pobres y tradicionales de ciertas regiones europeas. A partir de estas cifras mínimas, los módulos de consumo crecen no solamente con el nivel de vida, sino

también con la tasa de concentración urbana. Tratándose de necesidades propiamente familiares los aparatos electrodomésticos, los cuartos de baño y el inodoro originan enormes incrementos de consumo que son característica de las civilizaciones evolucionadas. Estas necesidades pueden ser idénticas en la ciudad y en el campo, con una tendencia al crecimiento según las condiciones climáticas.

El consumo urbano se incrementa con las necesidades colectivas y públicas. Las primeras corresponden al consumo de los muebles administrativos, hospitales, cuarteles, centros de enseñanza, etc., lugares que se procura tener lo más limpio posible, ya que los riesgos de infección son de consideración. Las segundas se deben a servicios múltiples, tales como los mataderos, limpieza de calles, recolección de aguas residuales, servicio de bomberos o riego de los jardines públicos. El total representa de 200 a 400 litros/día/habitante, o también de 75 a 150 m<sup>3</sup>/año/habitante.

La conjunción de todos estos servicios alcanza volúmenes impresionantes que llegan hasta los 500 litros/día/habitante en París, los 1 000 litros/día/habitante en Chicago y los 1 200 litros/día/habitante en el caso de ciertas zonas residenciales de la aglomeración de Los Ángeles. En el caso de México, el consumo puede ser de unos 300 litros/día/habitante en el Distrito Federal y zonas conurbanas, y de 100 litros/día/habitante en zonas rurales, pero tomando en cuenta las distintas regiones del país, hay lugares en donde no se pueden satisfacer las necesidades mínimas.

### 3.2.2 Consumo Industrial.

Incluso sin hacer mención de la navegación y de la producción hidroeléctrica, el agua constituye uno de los elementos esenciales del consumo industrial, ya porque es un ingrediente de la producción final (por ejemplo, caso de las fabricas de conservas alimenticias), ya porque se utiliza como refrigerante, fluido portador de calor, proveedor de vapor, disolvente o diluyente, etc., o bien porque sirve para disolver y evacuar los desechos industriales. Una parte de los volúmenes utilizados es efectivamente consumida y otra es evaporada, pero la fracción más importante vuelve al circuito, lo cual no deja de plantear graves problemas.

El volumen y la naturaleza de las necesidades varían considerablemente de una a otra rama de la industria, y la elección de los procedimientos de fabricación puede aumentar o disminuir en notables proporciones los módulos de consumo. Por lo tanto, es de modo totalmente teórico, como las estadísticas mencionan un consumo de 150 m<sup>3</sup> por tonelada de acero producido, 500 m<sup>3</sup> por tonelada de papel, 9 m<sup>3</sup> por tonelada de remolacha azucarera, 50 m<sup>3</sup> por tonelada de cuero, de 50 a 200 m<sup>3</sup> por tonelada de tejido teñido y hasta 1 300 m<sup>3</sup> por tonelada de textil artificial. En el sector energético donde la noción de consumo tiene un significado diferente, se estima que una central clásica utiliza para fines refrigeradores 130 litros de agua por Kwh. producido. En total las necesidades en agua varían

considerablemente de una a otra rama industrial, pero inciden sobre todo en las industrias de primera transformación.

En comparación con el consumo humano, el consumo industrial presenta evidentemente unas características tales como la búsqueda de rentabilidad o de racionalidad, las cuales pueden conducir a una notable disminución de los módulos de consumo.

### 3.2.3 Consumo Agrícola.

Los caudales absorbidos con vistas a la satisfacción de las necesidades humanas e industriales son devueltos en gran parte al circuito del agua después de usados, de modo que el consumo real medido según los volúmenes captados y restituidos es generalmente menos importante de lo que pueda parecer. Pero tratándose de los volúmenes requeridos por el sector agrícola, por el contrario, el consumo neto es considerable. Una fracción corresponde a las necesidades de la ganadería, con 50 litros de agua por cabeza de ganado mayor, frente a 5 ó 20 litros por cabeza de ganado menor, pero la fracción más importante es utilizada por los vegetales, cuyo crecimiento está vinculado al fenómeno de la evapotranspiración. Una parte de esta agua es absorbida por los tejidos vegetales, que contienen hasta el 90% y más en el caso de la lechuga, y de las hortalizas acuosas como el pepino o la sandía. Otra parte cuantitativamente mucho más importante se evapora en el ciclo vegetativo, el cual exige el equivalente de un volumen de agua de 4 500 m<sup>3</sup>/ha para el trigo y de 7 500 m<sup>3</sup>/ha para la alfalfa bajo clima templado oceánico. Una parte de esta agua la proporciona el ciclo natural del agua, pero los volúmenes de complemento distribuidos por irrigación corresponden a valores considerables.

El consumo dedicado a la irrigación puede registrar grandes variaciones de uno a otro año en función del déficit estacional de las precipitaciones, por lo que no debe extrañar la imprecisión de las cifras retenidas en definitiva.

### 3.3 La Lluvia Artificial.

Lo mismo que la recarga de las capas, el recurso de la lluvia artificial poco puede interesar a los países y regiones que padecen aridez y que son los que más necesitan obtener nuevos recursos de agua, ya que el agua sólo puede ser extraída de los sistemas nubosos y no existe ningún procedimiento capaz de recuperar masivamente la escasa humedad.

Técnicamente hablando, el proceso pluvial desencadenado (a gran altitud y con temperaturas comprendidas entre los -2 y los -10 °C) por la presencia de finos cristales de hielo (nuclei) asociados a pequeñísimas gotitas de agua en sobrefusión; los nuclei provocan una aglutinación y una condensación de las



gotitas bajo la forma de copos de nieve, los cuales constituyen el núcleo; durante su caída estos copos se recalientan y se transforman en gotas de lluvia. Como en todos los procesos naturales el rendimiento (suponiendo que podamos llamarlo así) no parece ser muy elevado: la mayor parte del agua regresa a la atmósfera en forma de vapor antes de haber alcanzado el suelo, particularmente en los países calientes y secos: en el desierto de Sonora sólo llegan al suelo 230 mm de lluvia, aunque las nubes hallan vertido más de 900 mm.

La siembra de nubes con el propósito de provocar la lluvia, implica para ser eficaz, la conjunción de un determinado número de condiciones, referentes a la naturaleza del sistema nuboso y a su temperatura (demasiado elevada impide la condensación; demasiado fría el sistema evoluciona a cirros). Ello hace suponer que a lo sumo se puede acelerar o amplificar el proceso natural, pero no modificarlo radicalmente. Cuando las condiciones se juzgan favorables, la intervención consiste en dispersar por encima del sistema nuboso algún sustituto de los núcleos de condensación en forma de nieve carbónica o de yoduro de plata quemado en acetona, siendo esta última fórmula la más usada. La siembra puede ser efectuada desde el suelo aprovechando los movimientos convectivos del aire, pero es mejor situar los quemadores bajo las alas de una avioneta y confiar en que el rendimiento alcance los 250 m<sup>3</sup> de agua por gramo de yoduro quemado, de acuerdo con las previsiones del vendedor de lluvia.

Estas restricciones no consideran el hecho de que el procedimiento esté totalmente desprovisto de Interés económico. Sin embargo, su empleo en la agricultura parece más indicado para el incremento de las reservas de agua otoñales en el suelo, que para el relanzamiento de la vegetación durante una fase de sequía. También más indicado para las grandes explotaciones que para las pequeñas, dada la imprecisión relativa de las precipitaciones obtenidas. Más indicado, en definitiva para los cultivos sencillos y especulativos, como el trigo de bajo rendimiento: basta con un buen chaparrón otoñal para que el rendimiento por hectárea aumente en uno o dos hectolitros en este tipo de explotaciones: si el resultado se logra sobre varios centenares o millares de hectáreas, el rendimiento correlativo puede representar hasta cien veces la puesta inicial constituida por la operación de siembra en nubes. Es una apuesta que vale la pena arriesgar.

Los agricultores no son los únicos afectados, ya que la lluvia provocada puede reactivar igualmente el flujo superficial si se proyecta acertadamente sobre los sectores de aprovisionamiento más indicados de las cuencas vertientes.

## **CAPÍTULO IV**

# **“DISEÑO DE SISTEMAS DE RECOLECCIÓN DE AGUAS PLUVIALES”**

## CAPITULO IV

### “DISEÑO DE SISTEMAS DE RECOLECCION DE AGUAS PLUVIALES”

El sistema de alcantarillado consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y el escurrimiento superficial producido por la lluvia. De no existir estas redes de recolección de aguas, se pondría en grave peligro la salud de las personas debido al riesgo de enfermedades epidemiológicas y, además, se causarían importantes pérdidas materiales.

Las aguas residuales pueden tener varios orígenes, como los que se muestran a continuación.

a) Aguas residuales domésticas.

Son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos. Esta agua está compuesta por sólidos suspendidos (generalmente materia orgánica biodegradable), sólidos sedimentables (principalmente materia inorgánica), nutrientes (nitrógeno y fósforo) y organismos patógenos.

b) Aguas residuales industriales.

Se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza, pueden contener, además, de los componentes citados anteriormente respecto a las aguas domésticas, elementos tóxicos tales como plomo, mercurio, níquel, cobre y otros, que requieren ser removidos previamente a su vertido al sistema de alcantarillado.

c) Aguas de lluvias.

Proviene de la precipitación pluvial y, debido a su efecto de lavado sobre tejados, calles y suelos, pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos; en zonas de alta contaminación atmosférica, pueden contener algunos metales pesados y otros elementos químicos.

#### 4.1 Sistemas de alcantarillados.

Los sistemas de alcantarillado se clasifican según el tipo de agua que conduzcan, estos son:

- ✓ Alcantarillado sanitario. Es el sistema de recolección diseñado para llevar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales.
- ✓ Alcantarillado pluvial. Es el sistema de evacuación del escurrimiento superficial producido por la lluvia.
- ✓ Alcantarillado combinado. Es un alcantarillado que conduce simultáneamente las aguas residuales (domésticas e industriales) y las aguas de lluvia.

##### 4.1.1 Clasificación de las tuberías.

La clasificación de las tuberías es la siguiente:

- ✓ Laterales o iniciales. Reciben únicamente los desagües provenientes de los domicilios.
- ✓ Secundarias. Reciben el caudal de dos o más tuberías iniciales.
- ✓ Colector secundario. Recibe el desagüe de dos o más tuberías secundarias.
- ✓ Colector principal. Capta el caudal de dos o más colectores secundarios.
- ✓ Emisario final. Conduce todo el caudal de aguas residuales o lluvias a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento, o mandarla hacia un cuerpo de agua, como puede ser un río, un lago o el mar.
- ✓ Interceptor. Es un colector colocado paralelamente a un río o canal.

##### 4.1.2 Disposición de la red de alcantarillado.

No existe una regla general para la disposición de la red de alcantarillado, ya que esta se debe ajustar a las condiciones físicas de cada población. A continuación se presentan algunos esquemas que se pueden emplear como guías.

## a) Sistema perpendicular sin interceptor.

El sistema perpendicular sin interceptor es un sistema adecuado para un alcantarillado pluvial, ya que sus aguas pueden ser vertidas a una corriente superficial en las cercanías de la población sin que haya riesgos para la salud humana ni deterioro de la calidad del cuerpo receptor (figura 4.1).

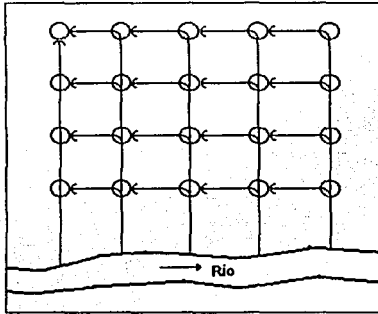


Figura 4.1 Esquema de un alcantarillado perpendicular sin interceptor.

## b) Sistema perpendicular con interceptor.

El sistema de alcantarillado perpendicular con interceptor es utilizado para alcantarillados sanitarios. El interceptor recoge el caudal de aguas negras de la red y lo transporta a una planta de tratamiento de aguas residuales o vierte el caudal a la corriente superficial aguas debajo de la población para evitar riesgos contra la salud humana (figura 4.2).

## c) Sistema perpendicular con interceptor y aliviadero.

Este sistema de alcantarillado perpendicular con interceptor y aliviadero, es adecuado para alcantarillados combinados, ya que el aliviadero permitirá reducir la carga hidráulica pico, producida en el caso de una precipitación, que llegaría a la planta de tratamiento de aguas residuales. El caudal excedente de la precipitación es vertido por medio del aliviadero a la corriente superficial en las cercanías de la población sin riesgo para la salud humana, debido a la dilución del caudal de aguas residuales (el caudal de aguas residuales en un alcantarillado combinado es del orden del 3% del caudal total) (figura 4.3).

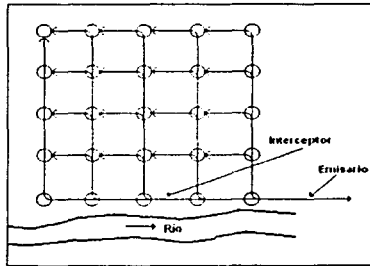


Figura 4.2 Esquema de un alcantarillado perpendicular con interceptor.

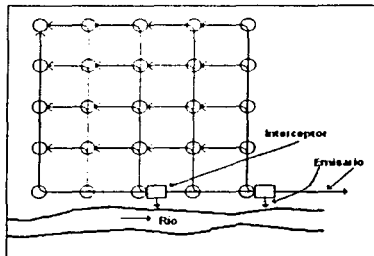


Figura 4.3 Alcantarillado perpendicular con interceptor y aliviadero.

d) Sistema de abanico.

Dadas unas condiciones topográficas especiales, puede adoptarse el esquema en abanico con interceptor, sin interceptor o con aliviadero, según sea el tipo de alcantarillado (figura 4.4).

e) Sistema en bayoneta.

El sistema de alcantarillado en bayoneta es apropiado para alcantarillados sanitarios en donde existan terrenos muy planos y velocidades muy bajas (figura 4.5).

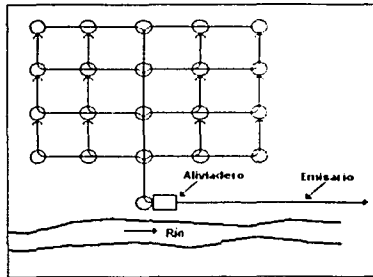


Figura 4.4 Alcantarillado en abanico.

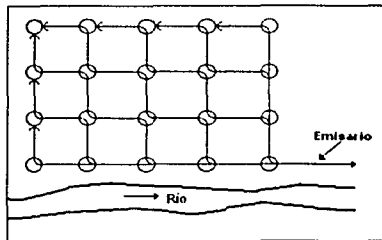


Figura 4.5 Sistema en bayoneta.

#### 4.1.3 Otros elementos de alcantarillado.

La red de alcantarillado, además de los colectores o tuberías, está constituida por otras estructuras hidráulicas diseñadas para permitir el correcto funcionamiento del sistema, entre las que se tiene:

- ✓ Pozos de visita.
- ✓ Caldas.
- ✓ Aliviaderos frontales o laterales.
- ✓ Sifones invertidos.
- ✓ Sumideros y rejillas.
- ✓ Conexiones domiciliarias.

##### a) Cambios de dirección en colectores.

Los cambios de dirección se realizan generalmente mediante un pozo de inspección. Sin embargo, es posible realizar un cambio de dirección mediante curvas de gran radio, aprovechando la deflexión máxima permitida entre la campana y espiga de las tuberías.

Los pozos de inspección son estructuras cilíndricas cuya unión a la superficie se hace en forma tronco-cónica. El diámetro del cilindro es generalmente de 1.20 m y en la superficie tiene una tapa de diámetro igual a 0.60 m. Adicionalmente en la base del cilindro se localiza la cañuela, la cual es la encargada de hacer la transición entre un colector y otro. La tapa tiene como fin permitir la realización de las labores de limpieza y mantenimiento general de las tuberías, así como proveer al sistema de una adecuada ventilación, para lo cual tiene varios orificios.

El cilindro y la reducción tronco-cónica son construidos en mampostería o con elementos de concreto, prefabricados o construidos en el sitio.

La distancia máxima entre pozos de inspección es de 120 m, con el fin de facilitar las labores de limpieza y la adecuada ventilación. En el caso de que el cambio de dirección se realice con las mismas tuberías, se debe colocar un pozo en la curva si el radio de esta es menor de 40 m, y dos pozos si el radio de la curva es mayor de 40 m.

Como se observa en las figuras 4.6 y 4.7, el diámetro del pozo puede ser ampliado según la tabla 4.1.

Tabla 4.1 Diámetro del pozo según el diámetro de la tubería.

DIÁMETRO DEL COLECTOR DE SALIDA	DIÁMETRO DEL POZO
8" a 24"	1.20 m
27" a 30"	1.50 m
33" a 36"	1.80 m

En las figuras 4.8 y 4.9, se muestran los pozos de inspección tipo utilizados para los cambios de dirección siempre y cuando el diámetro de salida sea inferior de 36". Cuando se tenga un diámetro mayor, se debe emplear otro tipo de pozos y se recomienda consultar las especificaciones pertinentes.

#### b) Caída o cambio de pendiente.

Siempre que exista un cambio de pendiente del terreno, debe proyectarse una cámara de caída cuya forma se ilustra en las figuras 4.10 y 4.11. El requerimiento mínimo para el empleo de la cámara de caída es que exista una diferencia mayor de 0.75 m entre las cotas de las tuberías concurrentes y la de salida.

La cámara de caída consiste en una tubería colocada antes de la llegada al cilindro, cuyo diámetro se especifica en la tabla 4.2.

Si el cambio de pendiente es demasiado fuerte e impide así que los colectores puedan proyectarse paralelamente al terreno, se deben colocar una o varias estructuras de caída en serie. Con lo anterior se logra cumplir los



requerimientos de pendiente máxima (según la velocidad máxima) y profundidades mínimas a la clave del colector.

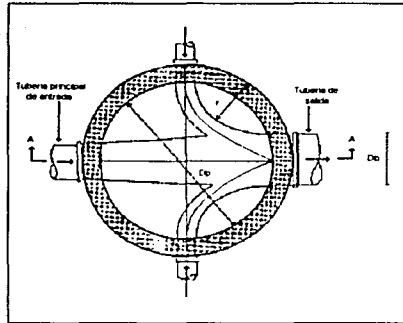


Figura 4.6 Planta del pozo de inspección sin cambio de dirección para diámetros de salida menores de 36".

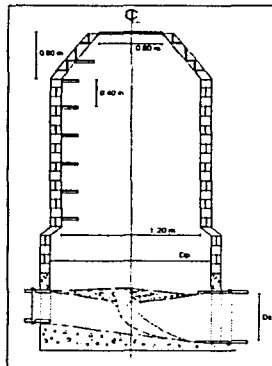


Figura 4.7 Corte de la figura 4.6. Pozo de inspección sin cambio de dirección para diámetros menores de 36".

Tabla 4.2 Diámetro de la cámara de caída en función de diámetro de la tubería de entrada.

DIÁMETRO DEL COLECTOR DE SALIDA	DIÁMETRO DE LA CAÑUELA
8" a 12"	8"
14" a 18"	12"
20" a 36"	16"
Mayor a 36"	Accesorio especial

Debe aclararse que debido al aumento de la pendiente es posible que hidráulicamente se pueda reducir el diámetro del colector, lo cual en la práctica no se hace; se debe entonces dejar el mismo diámetro aunque resulte sobredimensionado.

A dicha cámara pueden concurrir uno o varios colectores y en ella puede hacerse un cambio de dirección.

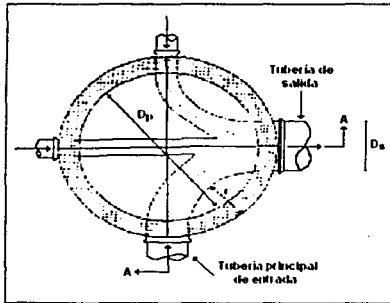


Figura 4.8 Planta del pozo de inspección con cambio de dirección para diámetros de salida menores de 36".

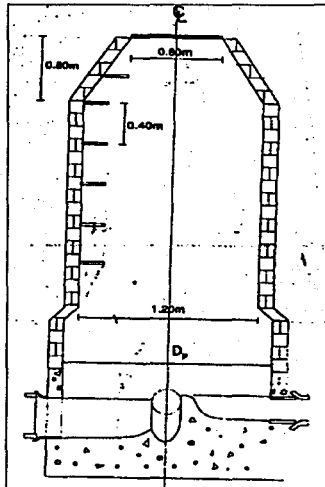


Figura 4.9 Corte de la figura 4.6. Cambio de dirección y diámetro menor de 36".

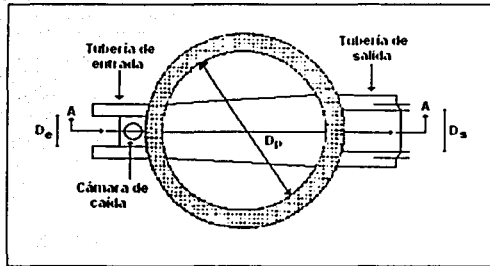


Figura 4.10 Planta de la cámara de caída.

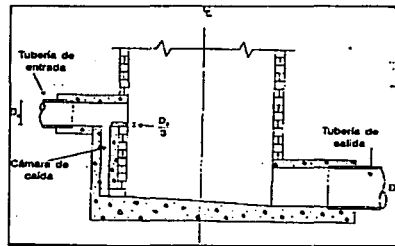


Figura 4.11 Corte de la figura 4.10. Cámara de caída.

Existen otras formas de cámara de caída, que pueden ser utilizadas según la magnitud del caudal. Estas se ilustran en las figuras 4.12 y 4.13.

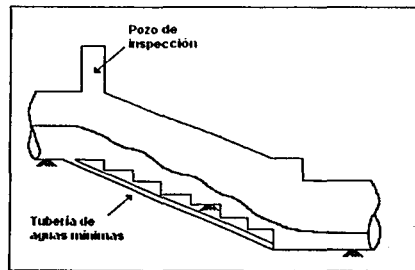


Figura 4.12 Cámara de caída escalonada.

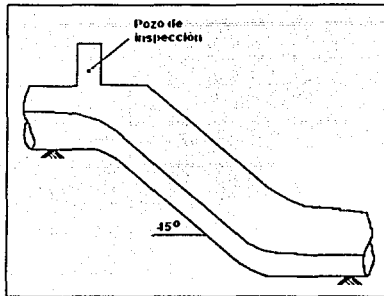


Figura 4.13 Cámara de caída rápida.

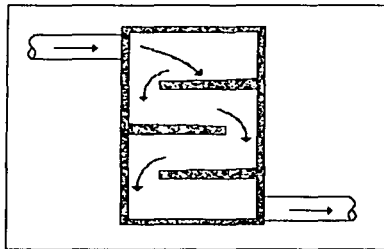


Figura 4.14 Pozo de caída con escalones alternos.

## 4.2 Descripción del sistema.

Como se dijo anteriormente, el alcantarillado de aguas de lluvia está conformado por el conjunto de colectores y canales necesarios para evacuar el escurrimiento superficial producido por la lluvia. Inicialmente el agua es captada a través de las coladeras en las calles y las conexiones domiciliarias, y llevada a una red de tuberías que van ampliando su sección a medida que aumenta el área del drenaje. Posteriormente estos colectores se hacen demasiado grandes y entregan su caudal a una serie de canales de aguas de lluvia, los que harían la entrega final al río.

## 4.3 Evaluación del caudal de diseño.

En general puede ser empleado cualquier modelo de lluvia-escurrimiento. Para superficies menores de 1 300 Ha se utiliza el Método Racional, dada su simplicidad. Sin embargo, para áreas mayores a 1 300 Ha se debería utilizar

un modelo más apropiado a las características de la cuenca, por ejemplo, el método del hidrograma unitario u otro método similar.

#### 4.3.1 Método racional.

El método racional es posiblemente el modelo más antiguo de la relación lluvia escurrimiento. Este modelo toma en cuenta, además del área de la cuenca, la altura o intensidad de la precipitación y es hoy en día muy utilizado, particularmente en el diseño de drenajes urbanos.

Supóngase que en una cuenca impermeable se hace caer uniformemente una lluvia de intensidad constante durante un largo tiempo. Al principio el gasto que sale de la cuenca será creciente con el tiempo, pero llegará un momento en el que se alcance un punto de equilibrio, es decir, en el que el volumen que entra por unidad de tiempo por la lluvia sea el mismo que el gasto de salida de la cuenca.

El tiempo que transcurre entre el inicio de la lluvia y el establecimiento del gasto de equilibrio se denomina *tiempo de concentración*, y equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto más alejado hasta la salida de la cuenca.

Naturalmente, el tiempo de concentración  $t_c$  depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y de la velocidad que adquiere, en promedio, dentro de la misma. Esta velocidad está en función de las pendientes del terreno y los cauces y de la rugosidad de la superficie de los mismos, el tiempo de concentración se calcula mediante la ecuación:

$$t_c = \frac{L}{3600v} \quad (4.1)$$

donde:

$t_c$  = tiempo de concentración en  $h$

$L$  = longitud del cauce principal de la cuenca en  $m$

$v$  = velocidad media del agua en el cauce principal, en  $m/s$

La velocidad media  $v$  se estima con las tablas 4.3 y 4.4. Nótese que la fórmula 4.1 no toma en cuenta el recorrido del agua de lluvia, desde que llega a la superficie hasta los cauces.

**Tabla 4.3 Obtención la velocidad media con respecto a la pendiente del cauce.**

PENDIENTE DEL CAUCE PRINCIPAL (%)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)
1-2	0.6
2-4	0.9
4-6	1.2
6-8	1.5

**Tabla 4.4 Obtención de la velocidad media con respecto a la pendiente del terreno.**

PENDIENTE (%)	VELOCIDAD MEDIA (m/s)		CANAL NATURAL NO BIEN DEFINIDO
	BOSQUES	PASTIZALES	
0-3	0.3	0.5	0.3
4-7	0.6	0.9	0.9
8-11	0.9	1.2	1.5
12-15	1.1	1.4	2.4

Otra manera de estimar el tiempo de concentración es mediante la fórmula de Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (4.2)$$

donde:

$S$  = pendiente del cauce principal  
 $L$  = longitud del cauce principal de la cuenca en  $m$   
 $t_c$  = expresada en  $h$

En una cuenca no impermeable solo una parte de la lluvia con intensidad  $i$  escurre directamente hasta la salida. Si se acepta que durante la lluvia, o al menos una vez que se ha establecido el gasto de equilibrio, no cambia la capacidad de infiltración en la cuenca, se puede escribir la llamada *fórmula racional*:

$$Q_p = C * i * A_c \quad (4.3)$$

donde.

$C$  = coeficiente de escurrimiento  
 $i$  = intensidad de la lluvia  
 $A_p$  = área de la cuenca  
 $Q_p$  = gasto máximo posible

a) Área de la cuenca ( $A_p$ ).

Para determinar el área de drenaje dentro de la ciudad, se procede de la siguiente manera, se trazan diagonales o bisectrices por las manzanas y planimetrando las respectivas áreas aferentes a cada colector. En los casos en que alrededor de la población exista una cuenca que aporte un gran volumen de agua, se deberán diseñar canales interceptores con el fin de evitar que los colectores iniciales resulten excesivamente grandes.

b) Intensidad de la lluvia ( $i$ ).

Este valor es obtenido a través de un estudio hidrológico de la zona, del cual se obtienen las curvas de intensidad, duración y frecuencia.

Es importante recordar que, de acuerdo con estas curvas, la intensidad es inversamente proporcional a la duración y directamente proporcional a la frecuencia de la lluvia. Para poder, entonces, obtener un valor de intensidad de la lluvia en la aplicación del método racional, es necesario definir la frecuencia de la lluvia y su duración.

✓ Frecuencia de la lluvia.

En general, las frecuencias utilizadas varían entre 3 años, como mínimo, hasta valores del orden de 100 años. El escoger un valor va a depender de varios criterios tales como la importancia relativa de la zona y el área que se está drenando. De esta manera, se indican algunos valores que puedan ser utilizados como guías para la determinación en los tramos o tuberías de alcantarillado:

Las frecuencias de diseño para los canales de aguas de lluvia son:

- Canales que drenen áreas menores a 1 000 Ha:
 

Sección revestida en concreto:	10 años
Capacidad total:	25 años
- Canales que drenen áreas mayores a 1 000 Ha:
 

Sección revestida en concreto:	10 años
Capacidad total:	50 años
Borde libre:	100 años
- Canales interceptores de aguas de lluvia:

Los canales interceptores mencionados anteriormente (inciso a, referente al área de drenaje), cuyo desbordamiento ponga en peligro vidas humanas, debe diseñarse para un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 4.5 Frecuencia de diseño en función del tipo de zona.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA	FRECUENCIA (AÑOS)
Zona residencial	3 a 10
Zona comercial e industrial	10 a 50
Colectores principales	10 a 100

Tabla 4.6 Frecuencia de diseño según el área drenada.

ÁREA DRENADA	FRECUENCIA (AÑOS)
Menor de 3 Ha	3
Entre 3 y 10 Ha	5
Mayor de 10 Ha	10

✓ Duración de la lluvia.

Se puede demostrar que el caudal producido será máximo si la duración de la lluvia es igual al tiempo de concentración del área drenada. El tiempo de concentración es el tiempo que tarda el agua en llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el colector o, en otros términos, es el tiempo requerido desde el comienzo de la lluvia para que toda el área esté contribuyendo al colector en cuestión.

El tiempo de concentración puede ser dividido en dos: el tiempo de concentración inicial y el tiempo de recorrido en el colector.

El tiempo de concentración inicial es considerado como aquel de recorrido en montañas, terreno plano, cunetas, zanjas y depresiones. Este tiempo depende de las características de la superficie, tales como pendiente y tipo de superficie, y oscila entre los 10 y 20 minutos.

El tiempo de recorrido en el colector dependerá de la velocidad y la longitud entre pozos.

c) Coeficiente de escurrimiento (C).

El coeficiente de escurrimiento tiene un significado similar al del coeficiente de retorno en el cálculo del alcantarillado sanitario. No toda el agua de lluvia precipitada llega al sistema de alcantarillado, parte se pierde por factores tales como evaporación, intercepción vegetal, detención superficial en cunetas, zanjas o depresiones, y por infiltración. De todos los factores anteriores el de mayor importancia es el de infiltración, el cual es función de la impermeabilidad del terreno y por esto en algunos casos se le llama coeficiente de impermeabilidad.

La determinación absoluta de este coeficiente es muy difícil ya que existen hechos que pueden hacer que su valor varíe con el tiempo. Por una parte, las pérdidas por infiltración disminuyen con la duración de la lluvia debido a la



saturación paulatina de la superficie del suelo y, por otra parte, la infiltración puede ser modificada de manera importante por la intervención del hombre en el desarrollo de la ciudad, por acciones tales como la tala de árboles y la construcción de nuevos sectores residenciales y comerciales.

En la tabla 4.7 se dan algunas guías para la selección del coeficiente de escurrimiento.

**Tabla 4.7 Coeficientes de escurrimiento típicos.**

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE
Zonas comerciales.	0.90
Desarrollos residenciales con casas contiguas y predominio de zonas duras.	0.75
Desarrollos residenciales multifamiliares con bloques contiguos y zonas duras entre ellos.	0.75
Desarrollo residencial unifamiliar con casas contiguas y predominio de jardines.	0.55
Desarrollo residencial con casas rodeadas de jardines o multifamiliares apreciablemente separados.	0.45
Áreas residenciales con predominio de zonas verdes y cementerios tipo jardines.	0.30
Laderas desprovistas de vegetación.	0.60
Laderas protegidas con vegetación.	0.30

Normalmente, las manzanas o los sectores no están constituidos por un valor único del coeficiente de escurrimiento y por lo tanto es necesario hacer un promedio ponderado teniendo en cuenta el porcentaje de área cubierto por cada tipo de superficie que se esté drenando.

#### 4.4 Normas de diseño.

Además de cumplir con los requerimientos mencionados anteriormente, se deben cumplir las siguientes normas particulares de los alcantarillados de aguas de lluvias.

##### a) Velocidad.

- ✓ Velocidad mínima. La velocidad mínima requerida en los alcantarillados pluviales depende de la norma exigida para el proyecto, se recomiendan valores del orden de 0.8 a 1.0 m/s.
- ✓ Velocidad máxima. Para aguas con cantidades no significativas de sedimentos suspendidos, la velocidad máxima es función del material de la tubería, como se indica en la tabla 4.8.

b) Diámetro mínimo.

El diámetro mínimo de la sección de alcantarillas pluviales es de 10 pulgadas (0.25 m).

c) Borde libre en los colectores.

A diferencia del alcantarillado sanitario, en el cual hay que tener en cuenta el coeficiente de utilización, el colector debe estar en capacidad de evacuar un caudal a tubo lleno igual o mayor que el caudal de diseño.

d) Tiempo de concentración.

El tiempo de concentración mínimo es de 15 minutos.

Tabla 4.8 Velocidad máxima para tuberías de alcantarillados, en m/s.

MATERIAL DE LA TUBERÍA	AGUA CON SEDIMENTOS COLOIDALES	AGUA CON FRAGMENTOS DE ARENA Y GRAVA
Ladrillo común.	3.0	2.0
Ladrillo vitrificado y gres.	5.0	3.3
140 kg/cm <sup>2</sup>	3.0	2.0
210 kg/cm <sup>2</sup>	5.0	3.3
Concreto de: 250 kg/cm <sup>2</sup>	6.0	4.0
280 kg/cm <sup>2</sup>	6.5	4.3
315 kg/cm <sup>2</sup>	7.5	5.0
Concreto reforzado mayor de 280 kg/cm <sup>2</sup> y curado al vapor.	10.0	6.6
Cloruro de polivinilo.	10.0	10.0

#### 4.5 Sumideros de aguas de lluvia.

Los sumideros son las estructuras encargadas de recoger la escorrentía de las calles. Se ubican a los lados de las calles, y en la esquina aguas abajo de cada manzana.

La entrada a la red de alcantarillado debe hacerse en los pozos de inspección. Cada sumidero estará conectado directamente o a través de otro sumidero con el pozo respectivo por medio de una tubería cuyo diámetro mínimo es de 8 pulgadas.

a) Clasificación de los sumideros.

- ✓ Según el tipo de rejilla:
  - Reja horizontal.
  - Reja vertical.
  - Reja horizontal y vertical.

- ✓ Según el diseño de la caja:
- Sumidero con sello hidráulico.
  - Sumidero sin sello hidráulico.
  - Sumidero con desarenador.
  - Sumidero sin desarenador.

El sumidero con sello hidráulico mostrado en la figura 4.15, es utilizado exclusivamente para alcantarillados combinados, y tiene como finalidad evitar la salida de gases al ambiente, que puedan producir malos olores y problemas sanitarios por la proliferación de mosquitos.

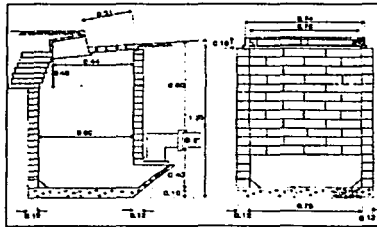


Figura 4.15 Sumidero con reja horizontal y vertical para alcantarillado combinado. Acotación en metros.

El sumidero sin sello hidráulico, indicado en la figura 4.16, es usado para los sistemas de aguas de lluvia en donde no existen problemas de gases debido a la naturaleza del agua transportada (figura 4.16).

El sumidero con desarenador es utilizado cuando se espera que exista arrastre de arenas y/o gravas debido a la falta de pavimentación o a zonas aledañas sin recubrimiento vegetal. Por otra parte, si la velocidad a tubo lleno en la tubería de conexión al pozo es menor de 1 m/s, se debe colocar también el desarenador.

El desarenador puede ser colocado en un sumidero corriente de caja, mostrado en la figura 4.16, o puede cubrir el ancho total de la calzada como se indica en la figura 4.17.

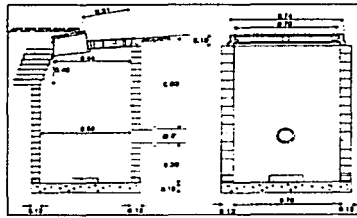


Figura 4.16 Sumidero sin sello hidráulico y con desarenador para alcantarillado de aguas de lluvia. Acotación en metros.

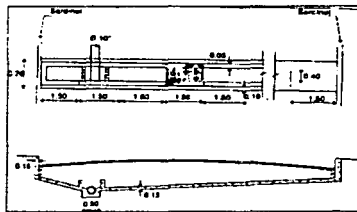


Figura 4.17 Sumidero con desarenador a lo ancho de la calzada. Acotación en metros.

Los sumideros con desarenador o con sello hidráulico requieren un mantenimiento intensivo con el fin de evitar la descomposición del material dentro de la caja, problema que es aun más crítico en clima caliente. Este mantenimiento consiste en una limpieza periódica y la adición de aceite quemado.

La caja de los sumideros es constituida en mampostería con una placa de fondo en concreto y mortero. La rejilla (horizontal y vertical) es constituida normalmente en hierro gris y sus dimensiones típicas se indican en la figura 4.18.

#### 4.6 Canales de aguas de lluvia.

Los canales son utilizados en combinación con las tuberías para la evacuación de las aguas de lluvia. Su sección puede ser rectangular o trapecial y pueden ser abiertos o cerrados.

Un canal típico de agua de lluvia es un canal trapecial abierto de dos secciones. La sección inferior es revestida en concreto y la sección superior es revestida por vegetación. Se debe siempre dejar el acceso del equipo de limpieza a los canales.

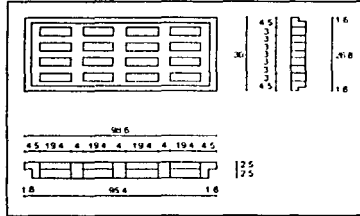


Figura 4.18 Reja horizontal para sumidero. Acotación en centímetros.

Como se indicó anteriormente, la sección revestida en concreto se diseña para la escorrentía producida por un evento con frecuencia de 10 años, y la sección revestida con vegetación se diseña para una frecuencia de 25 años si el área de drenaje es inferior a 1 000 hectáreas. La sección revestida con vegetación se diseña para una frecuencia de 50 años si el área de drenaje es superior a 1 000 hectáreas, dejando adicionalmente un borde libre capaz de evacuar un caudal producido con una frecuencia de 100 años.

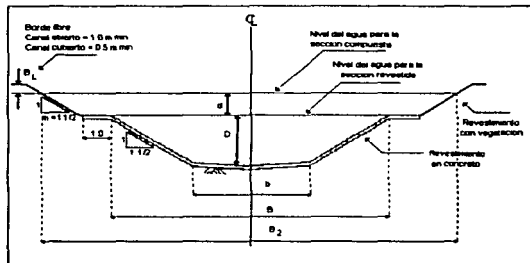


Figura 4.19 Canal de aguas de lluvia. Sección de diseño para áreas de drenaje menores de 1 000 Ha.

#### 4.6.1 Sección hidráulica del canal.

La sección hidráulica más eficiente es aquella que tiene la máxima capacidad para un área dada y un perímetro mojado mínimo (menores costos). El semicírculo es entonces la sección hidráulica de mayor eficiencia, como se muestra en la figura 4.20, en el inciso a. Sin embargo, debido a problemas constructivos y costos, esta sección no es aplicable en la mayoría de los canales abiertos, por lo que se recurre a las secciones rectangulares o trapeciales.

La sección trapezoidal de mayor eficiencia es el medio hexágono regular, mostrada en la figura 4.20 en el inciso b, la cual, debido a la fuerte inclinación de sus taludes, no puede ser empleada en todos los tipos de suelos. Al no poder emplear taludes de 60°, la sección más eficiente es aquella en la que se puede circunscribir media circunferencia, mostrada en la figura 4.20 en el inciso c.

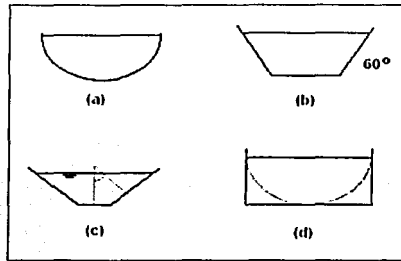


Figura 4.20 Secciones hidráulicas más eficientes.

Para la sección hidráulica más eficiente y utilizando los elementos del canal definidos en la figura 4.19, se tiene:

$$b = 2 * D(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (4.4)$$

$$A = b * D + m * D^2 \quad (4.5)$$

$$P = b + 2 * D\sqrt{1+m^2} \quad (4.6)$$

en donde:

- $b$  = Ancho inferior del canal.
- $A$  = Área de la sección del canal.
- $P$  = Perímetro mojado.

Haciendo algunas transformaciones matemáticas, se llega a las siguientes expresiones en función del área y la pendiente del talud:

$$D = \sqrt{\frac{A}{2 * \sqrt{1+m^2} - m}} \quad (4.7)$$

$$b = \sqrt{\frac{A}{2 * \sqrt{1+m^2} - m}} (\sqrt{1+m^2} - m) \quad (4.8)$$

$$P = \sqrt{A \left( 2 * \sqrt{2 * \sqrt{1 + m^2} - m} \right)} \quad (4.9)$$

Para una sección rectangular, la sección más eficiente es aquella en la que se puede circunscribir una media circunferencia. Para este caso, las ecuaciones anteriores son válidas haciendo  $m=0$ , como se muestra en la figura 4.20, en el inciso d.

#### 4.6.2 Diseño hidráulico del canal.

Existen varias metodologías para el diseño de canales. Considerando un flujo uniforme, se puede utilizar la sección hidráulica más eficiente aunque en la práctica puede haber necesidad de modificarla debido a restricciones del proyecto tales como: pendiente longitudinal del canal, pendiente de los taludes y ancho máximo del canal.

#### 4.6.3 Análisis dimensional.

La ecuación utilizada en este diseño parte de las relaciones de la ecuación de Manning, indicadas a continuación:

$$Q = \frac{A * R^{2/3} * S^{1/2}}{n} = \frac{A^{5/3} * S^{1/2}}{P^{2/3} * n} \quad (4.10)$$

Dimensionalmente  $A^{5/3} / P^{2/3} = [L]^{8/3}$ , es decir, que está en razón directa de la potencia de 8/3 de una de las dimensiones lineales del canal.

Se puede entonces escribir la ecuación como:

$$Q = K * \frac{D^{8/3} * S^{1/2}}{n} \quad (4.11)$$

en donde:

$K$  = Factor de gasto.

$$K = \frac{\left( \frac{1}{X} + Z \right)^{3.3}}{\left( \frac{1}{X} + Z * \sqrt{1 + Z^2} \right)^{2.3}}$$

$$X = \frac{D}{b}$$

$$Z = \frac{m}{D}$$

La ecuación 4.9 entra en función de la dimensión  $D$  (altura del tirante). En función del ancho inferior  $b$ , se tiene:

$$Q = K' * \frac{b^{8/3} * S^{1/2}}{n} \quad (4.12)$$

en donde:

$$K' = X^{8/3} * K$$

Otra metodología para encontrar las dimensiones del canal, que puede ser programada fácilmente, es la de calcular el término  $AR^{2/3}$  de la ecuación de Manning (ecuación 4.11) y reemplazar cada uno de sus valores por expresiones en función de la profundidad de la lámina (ecuaciones 4.12 y 4.13). Al hacer las sustituciones, se obtiene una ecuación de orden superior (ecuación 4.14), que debe ser resuelta por medio de métodos numéricos.

$$AR^{2/3} = \frac{Q * n}{S^{1/2}} \quad (4.13)$$

$$A = (b + m * D) * D \quad (4.14)$$

$$R = \frac{(b + m * D) * D}{b + 2 * D * \sqrt{1 + m^2}} \quad (4.15)$$

$$AR^{2/3} = \frac{[(b + m * D) * D]^{5/3}}{(b + 2 * D * \sqrt{1 + m^2})^{2/3}} \quad (4.16)$$

Para efectos de determinar el coeficiente de rugosidad de Manning, en la sección compuesta concreto-vegetación, se puede usar la siguiente expresión en función del perímetro mojado en concreto ( $P_c$ ) y del perímetro mojado por vegetación ( $P_v$ ):

$$n_t = \sqrt{\frac{P_c * n_c^2 + n_v}{P_c + P_v}} \quad (4.17)$$

donde:

$$P_v = 2 * d * \sqrt{1 + m^2}$$

$$P_c = P + 2 * Berna$$

$$n_v = 0.035$$



$$n_c = 0.014 \text{ a } 0.017$$

Al igual que en la red de tuberías, se debe verificar el número de Froude para determinar el tipo de flujo, recordando que la profundidad hidráulica en canales trapeciales es el área dividida por el ancho superior del canal. De manera similar, en la red de tuberías de los alcantarillados, el número de Froude debe ser mayor de 1.1 para régimen supercrítico y menor de 0.9 para régimen subcrítico.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot H}} \quad (4.18)$$

donde:

$H$  = Profundidad hidráulica (A/B)

- ✓ Velocidades máximas y mínimas.

La velocidad mínima en los canales de aguas de lluvia es de 1.0 m/s. La velocidad máxima se selecciona de acuerdo con el material en suspensión transportado, según la tabla 4.6.

#### 4.6.4 Pendiente de los taludes.

La pendiente del talud apropiada depende del tipo de suelo, según la tabla 4.9, se tiene:

Tabla 4.9 Pendiente del talud (vertical:horizontal).

MATERIAL	1: m
Roca.	Casi vertical
Arcilla con revestimiento en concreto.	1:0.5 a 1:1
Tierra con revestimiento en piedra.	1:1
Arcilla firme.	1:1.5
Arena suelta.	1:2
Limo arenoso o arcilla porosa.	1:3

#### 4.6.5 Curvatura.

El radio de curvatura mínimo recomendado en función del caudal es el siguiente:

Tabla 4.10 Radio de curvatura mínimo.

Q (m <sup>3</sup> /s)	20	15	10	5	1	≤ 0.5
R mín (m)	100	80	60	20	10	5

En las curvas se debe dejar una sobre-elevación (adicional al borde libre) para velocidades mayores de 2 m/s, así:

$$\Delta d = 2 * \frac{V^2 / 2g}{R/T} \quad \text{para } F \leq 0.9 \quad (4.19)$$

$$\Delta d = 4 * \frac{V^2 / 2g}{R/T} \quad \text{para } F \geq 1.1$$

Esta sobre-elevación debe prolongarse una longitud de  $2 * B$ , aguas arriba y aguas abajo.

Por otra parte deben calcularse las pérdidas de energía en las curvas, las cuales se expresan como:

$$h_c = K * \frac{V^2}{2g} \quad (4.20)$$

y para ángulos de deflexión iguales a  $90^\circ$ , K se obtiene de la tabla 4.11.

Tabla 4.11 Pérdidas de energía por cambio de dirección.

R/B	$\geq 3$	1.5	1
K	0.05	0.2	0.4

Para ángulos de deflexión diferentes, se multiplica K por el factor de corrección indicado a continuación:

Tabla 4.12 Corrección de la pérdida de energía por cambio de dirección para ángulos de deflexión diferentes de  $90^\circ$ .

ANG.	90	80	70	60	50	40	30	20	10
CORR.	1.00	0.88	0.87	0.83	0.80	0.71	0.60	0.43	0.24

#### 4.6.6 Transiciones.

La transición indicada en la figura 4.21 es una estructura utilizada para hacer un cambio de sección que puede deberse a un cambio de pendiente o a una adición de caudal.

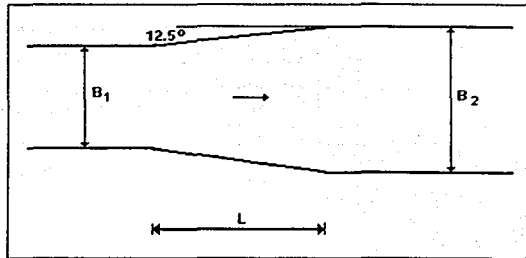


Figura 4.21 Esquema de la transición.

El Angulo máximo de la transición es de  $12,5^\circ$ , con lo cual se puede definir la longitud de la transición,  $L$ , dados  $B_1$  y  $B_2$ , así:

$$\tan(12,5^\circ) = \frac{B_2 - B_1}{2 * L} \quad (4.21)$$

y despejando la longitud de la transición de la ecuación 4.19, se tiene:

$$L = 2.255 * (B_2 - B_1) \quad (4.22)$$

El empate de las secciones antes y después de la transición se debe hacer por la línea de energía. Las pérdidas de energía debidas a la transición son de forma:

$$h_t = K * \frac{\Delta V^2}{2g} \quad (4.23)$$

siendo:

$K = 0.2$  para un aumento de velocidad.

$K = 0.1$  para una disminución de velocidad.

## CAPÍTULO V

# **“CASO PRÁCTICO” “SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD”**

## CAPITULO V

### “CASO PRÁCTICO”

### “SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO DE VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD”

#### 5.1 Generalidades del valle de Chalco.

El municipio de Valle de Chalco Solidaridad se encuentra ubicado en la parte oriente de la cuenca del Valle de México. Sus coordenadas extremas son: 19° 13' 27" y 19° 20' 21" de latitud Norte y, 98° 54' 30" y 98° 58' 34" de longitud Oeste.

Con base en la Gaceta del Gobierno del Estado de México No. 91 del día miércoles 9 de noviembre de 1994, en la que se presenta el decreto de erección del municipio de Valle de Chalco Solidaridad, se describe la poligonal que envuelve el nuevo municipio, el cual se integra de la siguiente forma.

Inicia en el punto donde confluye la línea del ferrocarril México-Cuautla y la carretera federal México-Puebla, sobre la carretera se dirige hacia el sudeste hasta una distancia de mil metros, donde se ubica el río de la Compañía, cuyo cauce sigue en dirección sureste, cruza la autopista México-Puebla, y a seiscientos metros sobre el cauce del río, dobla en dirección sur hasta la intersección con la prolongación de la avenida López Mateos, la cual continúa con rumbo sudoeste, hasta interceptar con la avenida Solidaridad, la cual sigue en dirección sureste aproximadamente novecientos metros, donde dobla en dirección sudoeste siguiendo el límite del parque Metropolitano, al llegar al Cerro del Marques lo bordea, continuando el camino de terracería en su vertiente sur hasta donde inicia el Cerro de Xico, continúa hacia el sur siguiendo el límite entre los ejidos de Chalco y San Martín Xico, hasta encontrarse con la carretera Tlahuac-Chalco, sobre la cual sigue en dirección oriente hasta pasar la curva de dicha carretera, a una distancia aproximada de mil quinientos metros dobla en dirección sur hasta encontrarse con el río Amecameca, continúa siguiendo su cauce hasta el límite con el Distrito Federal en la zona oeste, sigue por dicho límite en dirección norte hasta la autopista México-Puebla, sobre esta dobla hacia el noroeste hasta el volcán la Caldera, el cual rodea en su vertiente sur hasta una distancia aproximada de ochocientos metros desde donde se dirige al sureste hasta encontrarse con la línea del ferrocarril México-Cuautla, la cual continúa en dirección noreste hasta el punto de origen de la poligonal.

El municipio cuenta con una superficie de 44.57 km<sup>2</sup>, los cuales se acordó que sería cedidos por los municipios de Chalco, Ixtapaluca, La Paz y Chicoloapan, al aportar respectivamente 39, 71, 4.34, 0.27, 0.25 kilómetros cuadrados.

**Tabla 5.1 Población de Valle de Chalco.**

POBLACIÓN POR COMUNIDAD VALLE DE CHALCO			
CENSO 1990			
COMUNIDAD	HOMBRES	MUJERES	TOTAL
1. Alfredo Baranda	788	763	1551
2. Alfredo del Mazo	2708	2712	5420
3. Avandaro	2765	2799	5564
4. Del Carmen	3091	2963	6054
5. Cerro del Marques	1063	1115	2178
6. Concepción	5399	5287	10686
7. Darío Martínez, 1ª Sección	3343	3326	6669
8. Darío Martínez, 2ª Sección	3456	3475	6931
9. Emiliano Zapata, Ampliación	186	182	368
10. Guadalupeana	8501	8474	16975
11. Independencia	5063	4956	10019
12. Jardín	2731	2611	5342
13. María Isabel	5457	5350	10807
14. Niños Héroes	5543	5420	10963
15. Providencia	6134	6174	12308
16. San Isidro	7896	7858	15754
San Miguel Xico, La Laguna			
17. San Miguel Xico, 1ª Sección	4032	3970	8002
18. San Miguel Xico, 2ª Sección	5330	5304	10634
19. San Miguel Xico, 3ª Sección	3856	3800	7656
20. San Miguel Xico, 4ª Sección	3714	3703	7417
21. Santa Catarina, 3ª Sección	963	612	1575
22. Santa Cruz Tlalpizahuac	2682	2670	5352
23. Santa Cruz (Valle de Chalco)	8058	8172	16230
24. Santiago	4834	4708	9542
25. El Trunfo	673	714	1387
<b>TOTAL</b>	98278	97118	195396

Dadas las condiciones mecánicas de los suelos que forman el Valle de Chalco, los que se componen principalmente por limos arcillosos saturados, de alta compresibilidad y baja compacidad, el nivel freático y sus fluctuaciones estacionarias así como las experiencias obtenidas durante la introducción de casi 500 km de redes del sistema de agua potable, se propone la utilización de unas especificaciones de construcción propias para el sistema de drenaje sanitario y pluvial específicamente para esta localidad del Estado de México.

## 5.2 Importancia del alcantarillado.

Durante los últimos años se han presentado grandes problemas a causa de las inundaciones con aguas negras y precipitaciones pluviales en la zona oriente de la ciudad, pertenecientes al Estado de México, formando parte del municipio de Chalco.

De acuerdo con los datos de población de vivienda del XI censo de 1990, Chalco cuenta con 283 076 habitantes que lo colocan en el octavo municipio más poblado del Estado de México. De esta población más del 60 % se encuentra asentada en lo que se conoce como centro de población estratégica de Chalco.

El crecimiento de población en el municipio puede explicarse en primer lugar por la existencia de suelo barato, y en segundo lugar por la proximidad que tiene Chalco con la Ciudad de México.

La zona que antiguamente estuvo ocupada por el lago de Texcoco, y actualmente se denomina municipio de Chalco, ocupando una extensión territorial de 27 443 hectáreas, de las cuales el 8.5 % conforman un área urbanizable del municipio, las restantes 25 110 hectáreas no urbanizables destinadas a otros usos, donde será necesario implantar programas de preservación de las actividades agrícolas, pecuarias y forestales.

En el espacio urbano de las localidades más importantes del municipio, 1 548 hectáreas son del Valle de Chalco y 440 de la cabecera municipal.

Presentándose el problema de la topografía, la cual es totalmente plana. La solución que se presenta contempla una previsión a futuro y enfrenta el grave problema de los hundimientos en el subsuelo.

El problema consiste en lo siguiente:

La zona considerada en estudio es la que ocupa el Valle de Chalco, estimado en el XI censo de 1990 con 110 116 habitantes.

A lo largo del proceso de urbanización de la zona, las autoridades del Estado de México han dado su apoyo con la construcción de infraestructura de servicios urbanos, para nuestro interés el de alcantarillado, el cual es combinado, es decir, un sistema tanto de alcantarillado tanto sanitario como pluvial.

La baja situación socioeconómica, la falta de servicios urbanos básicos como agua potable, drenaje, pavimentación, recolección de basura, y el deterioro del medio, inciden en las consideraciones de insalubridad que generan una alta propensión de diversos padecimientos entre la población del Valle de Chalco.

Esta población presenta actualmente una situación un tanto precaria, el índice de mortalidad general registrado en 1987 fue de 4.06 por cada mil habitantes, el índice de mortalidad infantil fue de 3.64 por cada mil nacidos vivos registrados.

En la siguiente tabla se aprecian las principales causas de enfermedades que padece la población:

**Tabla 5.2 Principales causas de enfermedades en la población de Valle de Chalco.**

CAUSA	TASAS POR CIEN MIL HABS.
Infecciones respiratorias agudas	3 365.80
Infecciones intestinales, gastritis y otras	742.80
Otros parásitos intestinales	370.30
Ambiasis	331.90
Demotofitosis y permatomicosis	43.60
Varicela	34.60
Neumonía y bronconeumonía	27.20
Sarna	42.30
Ascariasis	40.10

### 5.3 Características principales del sistema de alcantarillado.

Por demandas de la comunidad del Estado de México el día 14 de diciembre de 1991, se dio inicio a los trabajos de construcción del sistema de alcantarillado.

La mayoría de los alcantarillados en localidades medianas y grandes se han diseñado y construido para funcionar en forma combinada, considerando las aportaciones pluviales. El sistema de alcantarillado en el Valle de Chalco combinado cuenta con un total de 361 575 m de tubería.

El sistema de alcantarillado contará con nueve plantas de bombeo que permitirán el desalojo de las aguas captadas, la circulación de las aguas en las tuberías deben tender a ser por gravedad, dependiendo del diseño de la red, de la correcta ubicación de los colectores y emisores, y de las pendientes que puedan obtenerse de acuerdo con la topografía de la localidad.

Las características del sistema de alcantarillado establecen seis grandes zonas en el Valle de Chalco, tres de las cuales drenan al oriente y tres al poniente.

#### 5.3.1 Cunetas o sangrías.

Con el objeto de eliminar el agua superficial producto de lluvia o de bombeo de cárcamos y/o excavaciones, evitando que estas causen daños o molestias a los vecinos de las áreas donde se trabaje, así como evitar también el rebombeo de las mismas por reinfiltración, debido a la permeabilidad de los suelos, se construyeron cunetas o sangrías en forma lateral, la cual se encausara por pendiente natural hacia los drenes pluviales existentes y a los cárcamos del bombeo general de Valle de Chalco.



### 5.3.2 Cárcamos de bombeo.

Para facilitar la excavación para la instalación de las tuberías de concreto que forman los colectores o subcolectores se adecuan cárcamos de bombeo para abatir el nivel de agua freáticas por tramos de 100 a 150 m, preferentemente en los sitios donde se construirían pozos de visita, desde donde se bombeará el agua hacia alguna cuneta construida para este trabajo a menos de 50 m aguas abajo del sitio de bombeo evitando así que esta se regrese por infiltración a la zona de trabajo.

La profundidad excavada de más, de acuerdo al proyecto, una vez que no fue utilizado como cárcamo de bombeo se rellena con material de banco utilizado en las camas de la tubería, es decir, tezontle de dos pulgadas como máximo, apisonándolo hasta alcanzar el grado de compactación indicado en el proyecto o a juicio del ingeniero a cargo.

### 5.4 Funcionamiento hidráulico de la red de drenaje combinado.

Para elaborar la revisión del proyecto ejecutivo del sistema de drenaje combinado de Valle de Chalco, fue necesario estimar los gastos de aguas pluviales, que obtienen a partir de la información hidrológica de la zona. Se realizó un estudio hidrológico de la zona de Valle, utilizando el libro de isoyetas de Intensidad-Duración-Frecuencia de la Republica Mexicana, editado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en este libro se consultaron los planos de isoyetas correspondientes para la zona de Chalco.

Para una obra de este tipo es recomendable diseñar las estructuras para un periodo de retorno de 5 a 10 años. Dado que el proyecto original consideró a 5 años, la revisión se efectuó con este dato. De los planos de isoyetas se eligieron duraciones de 10, 30, 60 y 120 minutos, con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años; con los datos anteriores se construyó una grafica de curvas de Intensidad-Duración-Periodo de retorno. Mediante extrapolación de las curvas, se obtuvo la correspondiente para un periodo de retorno de 5 años; a partir de esta curva para la duración de 60 minutos, se definió la intensidad de diseño, con un valor de  $i = 40\text{mm/hr}$ .

De manera general, los datos para el funcionamiento de los colectores se presentan en la tabla 5.3.

Para la revisión del funcionamiento hidráulico de la red de colectores se proporcionan los valores correspondientes a los diferentes hidrogramas, así como el coeficiente de rugosidad de Manning de 0.013, un intervalo de tiempo  $\Delta t = 60\text{seg}$  y un intervalo de longitud  $\Delta x = 100\text{m}$ .

Tabla 5.3 Datos generales de la red de colectores.

PLANTA DE BOMBEO	COLECTOR	AREA DE INFLUENCIA (ha)	GASTO PICO GENERAL (m <sup>3</sup> /s)	LONGITUD TOTAL DEL CONDUCTO PRONCIPAL (m)
5	Sur 17	247	2.70	3 187
6	Axayacatl	27	0.51	1 099
	Axayacatl complementario	3	0.08	647
6 - A	Sub. Sur 17	26	0.46	1 391
	Sub. Sur 20	24	0.44	969
7	Interceptor	47	0.90	869
	Altamirano	224	2.87	5 516
	Sur 5 (Alt.Sur)	231	3.55	3 292
8	Felipe Angeles	168	2.84	3 187
	Sub.Fco.Villa	75	1.26	1 898
	Fco.Villa	110	2.05	2 391
	H.Galeana	368	3.25	3 315
12	Norte 15	56	1.14	2 443
14	Sub.Poniente	71	1.95	3 107
16	Anahuac	140	2.48	2 676
<b>TOTALES</b>		<b>1 817</b>	<b>26.47</b>	<b>35 987</b>

La revisión del funcionamiento hidráulico de los diferentes colectores, se realizó de la siguiente forma:

1. Para cada colector, a lo largo de su recorrido, se determinaron los sitios donde se tendrán ingresos, debido a las descargas de los diferentes colectores, subcolectores, atarjeas, etc, procurando que cada descarga coincidiera con los puntos de que obtienen de los diferentes intervalos de longitud ( $\Delta x = 100m$ ).
2. El volumen de agua de cada ingreso, dependerá únicamente del tamaño del área que se drena, ya que los datos hidrológicos son los mismos en toda la zona. Para calcular el volumen de lluvias se utilizo la siguiente expresión:

$$V_{LL} = H_p \cdot C_e \cdot A$$

en donde:

$$V_{LL} = \text{Volumen de lluvia (m}^3\text{)}$$

$$H_p = \text{Altura de precipitación (0.04 m, constante)}$$

$$C_e = \text{Coeficiente de escurrimiento (0.3, constante)}$$

$$A = \text{Área de aportación (m}^2\text{)}$$

Una vez que se obtuvo el volumen de lluvia que aporta cada área, se procedió a elaborar su hidrograma en forma triangular, en donde el gasto máximo está en función de los volúmenes de agua de lluvia y de agua sanitaria. Para el cálculo de los hidrogramas se consideraron los siguientes tiempos:

Tb = Tiempo Base	=	3.84 hrs.
Tc = Tiempo de Concentración	=	1.60 hrs.
Tr = Tiempo de Recesión	=	2.24 hrs.

Estos valores se consideraron constantes para todos los hidrogramas.

#### 5.4.1 Resumen de resultados del funcionamiento.

Se realizó el funcionamiento hidráulico de cada uno de los principales colectores y subcolectores que drenan tanto las aguas negras como pluviales del Valle de Chalco. Los colectores analizados fueron los siguientes:

- a) Colector Sur 17
- b) Colector Axayacatl
- c) Colector Axayacatl complementario
- d) Subcolector Sur 17
- e) Subcolector Sur 20
- f) Colector Poniente
- g) Colector Altamirano
- h) Colector Sur 5
- i) Colector Interceptor
- j) Colector Felipe Ángeles
- k) Colector Hermenegildo Galeana
- l) Colector Francisco Villa
- m) Subcolector Francisco Villa
- n) Colector Norte 15
- o) Colector Anahuac

En la tabla 5.4 se presenta el resumen del análisis del funcionamiento de los colectores, en donde puede verse que cinco trabajan forzados, es decir, a presión; en efecto, el colector Sur 5 funciona a presión en un 18 %, en sus 500 m iniciales, en el sentido del escurrimiento; la carga hidráulica máxima queda a 1.66 m por debajo del nivel de la calle. El colector Hermenegildo Galeana trabaja forzado en un 68 % en sus primeros 2 400 m y la carga hidráulica máxima queda a 1.00 m de la superficie. El subcolector Francisco Villa funciona a presión en un 5%, en un tramo de 100 m cerca de su inicio; la carga hidráulica máxima queda a 1.72 m del nivel de la calle. El colector Poniente resalta de entre los demás ya que trabaja forzado totalmente a lo largo de sus 3 100 m de longitud y la carga máxima queda a 0.97 m de la superficie. Por último, el colector Anahuac opera a presión en un 78 %, en sus primeros 2 100 m, con una carga máxima que se sitúa a 2.82 m del nivel de la calle.

Como puede verse, los colectores Hermenegildo Galeana, Poniente y Anahuac son los mas críticos, pero sin llegar a derramar.

Es importante resaltar que el funcionamiento de los colectores a presión no es conveniente, pero dado que no hay derrames, se puede considerar que el funcionamiento de la red es aceptable.

**Tabla 5.4 Resumen del análisis del funcionamiento de colectores.**

PB	COLECTOR	FUNCIONAMIENTO CON DESCARGA LIBRE VIRTUAL	FUNCIONAMIENTO CON EQUIPAMIENTO ACTUAL				
			Bombas	Gasto nominal (m <sup>3</sup> /s)	Número de bombas que funcionan	Gasto máx. (m <sup>3</sup> /s)	Gasto máx. en la última sección (m <sup>3</sup> /s)
5/15	Sur 17	Superficie libre 100%	2	1.000	4	7.105	2.7032
			2	1.500			
6	Axayacatl	Superficie libre 100%	2	0.325	1	0.501	0.512
6-A	Subcolector Sur 17	Superficie libre 100%	2	0.650	1	0.761	0.457
	Subcolector Sur 20	Superficie libre 100%	2	0.650	1	0.761	0.438
7	Sur 5	presión 18%	2	1.000	3	4.370	3.548
	Altamirano Sur	Superficie libre 62%	2	1.500			
	Altamirano	Superficie libre 100%	2	1.000	3	4.502	3.012
			2	1.500			
Interceptor	Superficie libre 100%	2	1.500	3	1.191	0.900	
8	Hermenegildo Galeana	presión 68%	2	0.500	3	2.683	3.123
		Superficie libre 32%	4	1.500			
	Subcolector Fco. Villa	Superficie libre 100%	2	0.500	2	1.694	1.261
			4	1.500			
	Felipe Angeles	Superficie libre 100%	2	0.600	2	1.760	2.840
		4	1.500				
	Fco. Villa	presión 72%					
		Superficie libre 28%					
14	Poniente	presión 91%	2	0.600	2	1.738	1.953
		Superficie libre 9%					
18	Anahuac	presión 78%	2	1.000	2	2.468	2.484
		Superficie libre 22%					

El desglose de los resultados que se presentan en la tabla 5.4 es el siguiente:

- Columna 1: Aparecen las diferentes plantas de bombeo existentes.
- Columna 2: Se pueden ver los colectores que descargan a las diferentes plantas de bombeo.
- Columna 3: Se presentan los resultados del funcionamiento de los diferentes colectores considerando que se tiene una descarga libre y que no se cuenta con bombeo (descarga virtual).
- Columnas 4 y 5: Se muestra el número y capacidades de las bombas que se tienen en las diferentes plantas de bombeo.
- Columnas 6 y 7: Se observa el número de bombas que funcionan con el gasto que proporciona el colector citado, así como el gasto máximo que ese equipo será capaz de bombear.
- Columna 8: Aparecen los datos del gasto máximo que se presenta en la última sección del colector.

**Tabla 6.6 Datos del proyecto.**

DATOS GENERALES	
Área de estudio (Valle de Chalco)	1 817 ha
Altura de precipitación (Hp) (Tr = 5 años; d = 1 hora)	40 mm
Coefficiente de escurrimiento (Ce)	0.3
Tiempo de concentración (Tc)	1.6 hrs
Tiempo de recesión (tr)	2.24 hrs
Tiempo base de hidrogramas (Tb)	3.84 hrs = 13 824 seg
Volumen de lluvia	726 800 m <sup>3</sup>
Volumen de escurrimiento superficial	218 040 m <sup>3</sup>
RED DE COLECTORES	
Longitud total de colectores principales	35.98 km
Diámetro mayor	2.44 m
Longitud mayor en un solo diámetro	9 633 m con d = 2.13 m
PLANTAS DE BOMBEO	
Plantas con descarga de colectores	9 plantas Son: 5, 6, 6-A, 7, 8, 12, 14, 15, 16
Plantas de bombeo	Una planta Es: 10
Plantas en el canal general	3 plantas Son: 1, 2, 3

## 5.5 Estudios de mecánica de suelos.

Como parte de la infraestructura, se realizó en el Valle de Chalco un estudio de mecánica de suelos, para obtener parámetros necesarios para el alcantarillado en dicho lugar.

Por la localización, las plantas de bombeo se ubican en zona lacustre, caracterizada por encontrarse materiales arcillosos de alta compresibilidad y baja resistencia.

Tomando en cuenta las características del proyecto de las plantas y con el fin de obtener muestras representativas del subsuelo en toda la zona de estudio, se realizaron ocho sondeos mixtos a 25.5 m de profundidad promedio y cinco sondeos exploratorios de penetración estándar a 35.5 m de profundidad promedio. Adicionalmente se excavaron diez pozos a cielo abierto a 3.0 m de profundidad; todas las muestras obtenidas debidamente selladas y protegidas se enviaron al laboratorio para efectuar las pruebas necesarias y los análisis correspondientes según lo establecido.

### 5.5.1 Estratigrafía.

Con base en la identificación manual y visual en campo, así como de las clasificaciones y estudio de muestras en el laboratorio, se formaron los perfiles estratigráficos; en ellos se observa que la estratigrafía formada es la siguiente:

De la superficie del terreno y hasta una profundidad que varía entre los 3.0 y 4.0 m se localiza una arcilla limosa acompañada de arena café oscura y verdosa, estos sedimentos presentan gran cantidad de materia orgánica y carbonato de calcio, con lentes intercalados de arena fina gris, su contenido natural de agua varía de 150 al 200 %, con peso volumétrico natural de 1.25 ton/m<sup>3</sup> y consistencia blanda.

Subyaciendo y hasta la máxima profundidad explorada se encuentran los depósitos de arcilla, arcilla limosa y limo arcillosos de colores gris y verde oscuro con alto contenido de materia orgánica y carbonato de calcio, con lentes intercalados de arena limosa gris clara y oscura, su contenido natural varía del 200 al 500 %, con peso volumétrico natural variable de 1.20 a 1.25 ton/m<sup>3</sup> y consistencia muy blanda.

El nivel de aguas freáticas se localiza a profundidades variables entre los 30 cm respecto al brocal del sondeo en la zona cercana al Cerro de Xico y la carretera Tlahuac-Chalco, y de 1.20 m de profundidad en la zona cercana al Canal de la Compañía y a la autopista México-Puebla.

### 5.5.2 Propiedades índice.

Con el fin para obtener una base para la clasificación y estudio de los estratos penetrados, y como punto de partida para la realización en profundidad de las pruebas mecánicas, se obtuvieron las propiedades índice:

- ✓ Densidad de sólidos (Ss).
- ✓ Límite líquido (LL).
- ✓ Límite plástico (LP).
- ✓ Índice de plasticidad (Ip).
- ✓ Porcentaje de finos (% finos).

Como aspecto complementario para análisis y diseño de excavaciones y apoyo de estructuras, se requiere el conocimiento de las variaciones de esfuerzos en el suelo. Los esfuerzos efectivos se obtienen en función de las presiones hidráulicas medidas a través de los piezómetros; para el caso de Valle de Chalco, los abatimientos piezométricos son prácticamente nulos, dado que el bombeo del área es relativamente reciente. Deduciendo de ellas pesos volumétricos bajos y consistencias muy blandas.

### 5.5.3 Propiedades mecánicas.

La resistencia al esfuerzo cortante de los sedimentos encontrados fue investigada por medio de pruebas de compresión axial no consolidada y no drenada, ya que, todos los materiales estudiados son de origen cohesivo-lacustre.

Realizando un análisis, se concluye que la resistencia promedio tiene un valor de cohesión variable entre 1.0 y 1.5 ton/m<sup>2</sup>, verificando las características de consistencia blanda en todos los sedimentos.

Sin embargo, y dadas las características Índice obtenidas, es importante señalar que los diseños estarán regidos principalmente por la compresibilidad y los análisis de hundimientos y no por la capacidad de carga del suelo.

#### 5.5.4 Compresibilidad.

De la observación y estudio de las pruebas de consolidación realizadas, se concluye que los sedimentos del subsuelo en la zona analizada, presentan hundimientos de 30 a 35 cm a largo plazo, esto es, las deformaciones obtenidas son altas a pesar de los bajos esfuerzos transmitidos, lo cual rige en el diseño de la cimentación de las estructuras, presentándose el 60 % de ellas en los primeros años.

#### 5.5.5 Conclusiones del estudio de mecánica de suelos.

Tomando como base las investigaciones y estudios realizados, se concluye que la estratigrafía esta compuesta por sedimentos de origen lacustre, que en general son:

En la parte superior se localiza arcilla limosa acompañada de arena fina gris, con contenido de agua promedio del 100 %.

Continuando esta etapa y hasta la máxima profundidad explorada se encuentran depósitos de arcilla limosa y limo arcilloso gris verde oscuro, con contenido de agua variable del 200 al 500 % y consistencia blanda.

En cuanto a las características de resistencia y compresibilidad, se obtuvieron condiciones de capacidad de carga a 7.0 ton/m<sup>2</sup>, y hundimientos promedio de 30 cm, los cuales regirán el diseño de las cimentaciones y construcción de las mismas.

Para efectos del diseño de estructuras a construir, se deberá tomar en cuenta el efecto de compensación por excavación, aceptándose sobrecargas que podrán variar hasta límites del orden de 2.5 ton/m<sup>2</sup> (dependiendo del tipo de estructura y condiciones de carga) para esfuerzos transmitidos relativamente bajos.

La sensibilidad de los depósitos existentes obligó a considerar métodos particulares de construcción para las plantas de bombeo e instalación de tuberías tales como:

- ✓ En la instalación de la tubería se recomienda utilizar ademes metálicos.
- ✓ Control permanente del nivel de aguas freáticas para evitar fallas locales por disminución de la resistencia del terreno.

## 5.6 Proceso constructivo.

### 5.6.1 Limpieza y trazo.

Son los trabajos topográficos necesarios para la ubicación de la obra de que se trate, en el terreno donde se realizará de acuerdo al proyecto.

Los materiales que se empleen para la limpieza y el trazo deben ser los que especifiquen en el proyecto.

Los equipos e instrumentos que se utilicen en la limpieza y el trazo, deberán estar en condiciones que garanticen la perfecta ejecución de los trabajos de acuerdo a lo especificado en el proyecto.

Los materiales, el equipo y la mano de obra, deberán ser suministrados por el contratista.

El trazo en razón de la precisión requerida, podrán ejecutarse mediante el empleo de hilos, estacas, plomada, cinta métrica, estadal, nivel, tránsito, o los aparatos topográficos u otros equipos que sean necesarios y de mayor precisión para la correcta ejecución de los trabajos.

### 5.6.2 Ruptura de pavimentos.

Se entenderá por ruptura de pavimentos y banquetas de operación consistente en romper y remover éstos, donde hubiera necesidad de ello previamente a la excavación de cepas par la construcción de redes de alcantarillado y colectores

Los pavimentos podrán ser empedrados, adoquinados, asfálticos y/o de concreto hidráulico.

Al efectuar la ruptura de pavimento o banqueta, se procurará en todos los casos, no perjudicar el pavimento o la banqueta restante ni causar molestias a la población.

En la ruptura del pavimento empedrado o adoquinado, se pondrá especial cuidado, a fin de seleccionar la cantidad máxima del material extraído para su posterior aprovechamiento.

El corte de pavimento asfáltico o de concreto hidráulico o de banqueta deberá hacerse con cortadora de disco o equipo similar que garantice los alineamientos requeridos de acuerdo con el proyecto, debiendo ser vertical hasta la profundidad necesaria.

Cuando el material producto de la ruptura de pavimentos pueda ser utilizado posteriormente en la construcción de los mismos, deberá ser dispuesto a uno o ambos lados de la zanja en forma tal que no sufra deterioro alguno ni cause



interferencias en los trabajos de construcción, deberá ser retirado hasta el banco de desperdicio que se señale.

### 5.6.3 Excavaciones de cepas.

Se entenderá por excavación de cepas la que realice el contratista según los planos del proyecto y/u ordenes del Ingeniero para alojar en ellas la tubería de las redes de alcantarillado y colectores, incluyendo las operaciones necesarias para limpiar y amacizar la plantilla y taludes de la misma, la remoción del material producto de las excavaciones, su colocación a uno o ambos lados de la cepa disponiéndolo de tal forma que no interfiera con el desarrollo normal de los trabajos y la conservación de dichas excavaciones por el tiempo que se requiera para la instalación satisfactoria de la tubería. Incluye igualmente las operaciones que deberá efectuar el contratista para aflojar el material manualmente o con equipo mecánico previamente a su excavación cuando se requiera.

El producto de las excavaciones se depositará a uno o ambos lados de la zanja dejando libre en el lado que fije el Ingeniero un pasillo de un metro entre el límite de la cepa y el pie del talud del bordo formado por dicho material. El contratista deberá conservar este pasillo libre de obstáculos.

En otro caso, el material producto de la excavación se depositará directamente en el camión de volteo, el cual acarreará hacia el tiro destinado, teniendo siempre el frente de trabajo limpio.

Las excavaciones deberán ser afinadas de tal forma que cualquier punto de las paredes de las mismas no diste más de 0.10 m de la sección del proyecto, cuidándose que esta desviación no se repita en forma sistemática. El fondo de la excavación deberá ser afinado minuciosamente a fin de que la tubería que posteriormente se instale en la misma quede a la profundidad señalada y con la pendiente del proyecto.

El ancho de las excavaciones que formarán las cepas variarán en función del diámetro de las tuberías, profundidad de desplante y tipo de suelo en que quedarán alojadas y serán lo suficientemente anchas para facilitar los trabajos alrededor de los tubos y con profundidad suficiente para que queden protegidos contra cargas pesadas y el tránsito de vehículos.

En la tabla 5.6 se indican las dimensiones en función de los diversos diámetros de tubería y a profundidades normales.

Para diámetros mayores, los anchos se determinarán previa verificación del tipo de suelo.

Los anchos de las cepas para efecto de medición y pago, se estiman con el promedio obtenido de tres mediciones hechas sobre un plano transversal al eje de la cepa en la parte superior, en medio y la parte baja de ella y similares en

planos a cada 10 m de longitud de la cepa; dicho promedio no debe rebasar los límites indicados en la tabla siguiente.

**Tabla 5.6** Tabla de dimensiones en cepas

DIAMETRO DE LA TUBERÍA (m)	ANCHO SIN ADEME (m)	EXCAVACIÓN CON ADEME (m)	PROFUNDIDAD (m)
0.15	0.60		0.90 hasta 1.50
0.20	0.60		1.90 hasta 2.00
0.30	0.75		1.50 hasta 2.50
0.38	0.90		2.00 hasta 3.00
0.45	1.00		2.50 hasta 3.50
0.61	1.10	2.40	2.50 hasta 3.50
0.76	1.25	2.55	2.50 hasta 3.50
0.91	1.45	2.75	2.50 hasta 3.50
1.07	1.60	2.90	2.50 hasta 3.50
1.22	1.80	3.10	2.50 hasta 4.00
1.52	2.15	3.45	4.00 hasta 6.00
1.83	2.50	3.80	4.00 hasta 8.00
2.13	2.85	4.51	4.50 hasta 8.00
2.44	3.20	4.50	5.00 hasta 9.00

En todos los casos la profundidad de las cepas será medida a partir del nivel natural el terreno y hasta el fondo de la excavación, la que comprenderá el espacio vertical necesario para alojar la cama con material previamente autorizado según especificaciones.

Cuando el terreno que constituye el fondo de la excavación sea poco resistente e inestable, se podrá modificar el proyecto u ordenará que se profundice la excavación hasta encontrar material adecuado. El material indeseable será removido y se sustituirá por una plantilla de tezontle firmemente apisonada hasta dar una compactación firme y continua del terreno.

#### 5.6.4 Clasificación de los materiales.

Para efectos de clasificación de los materiales de las excavaciones en base a la dureza del material, se entenderá por material común, la tierra, arena, grava, arcilla y limo, o bien todos aquellos materiales que puedan ser aflojados manualmente con uso del zapapico, así como todas las fracciones de roca, piedras sueltas, peñasco, etc. en general, todo tipo de material que no pueda ser clasificado como roca fija.

Se entenderá como roca fija la que se encuentra en mantos con arena y con textura que no pueda ser aflojada fácilmente, sino más bien con el uso previo de cuñas o dispositivos mecánicos de otra índole.

Para clasificar el material se tomará en cuenta la dificultad que haya presentado para su extracción. En caso de que el volumen por clasificar este

compuesto por volúmenes parciales de material común y roca fija se determinará en forma estimativa el porcentaje de cada uno de estos materiales que intervienen en la composición del volumen general.

Para el caso concreto de Valle de Chalco, las excavaciones se ejecutaron en los materiales que de acuerdo a su dureza y dificultad que presentaron y a la profundidad que indico el proyecto se clasificaron en:

- ✓ Material A: es aquel que puede atacarse con pico y pala, si la excavación es hecha a mano.
- ✓ Material B: es aquel que requiere el uso de pico, pala y barreta, si la excavación es hecha a mano.
- ✓ Material C: si la excavación es hecha a mano es el material que solo puede moverse con cuña y marro, o con el uso de explosivos.

Cuando en una excavación se encuentran materiales A, B y C estos se clasifican de la proporción en la que intervengan.

El proyecto ordenará si las excavaciones deberán ejecutarse a mano o con maquina.

De acuerdo con el procedimiento de ataque, las excavaciones se dividen en:

1. Excavación a mano.
2. Excavación con maquina.
3. Excavación mixta.

En la ejecución de las excavaciones se consideran los siguientes casos:

1. En seco.
2. Eliminando el agua mediante drenes o por bombeo, en cuyo caso, la excavación se considera en seco.
3. En aguas cuando no sea posible eliminarse el agua por bombeo o por drenes.
4. El material saturado lodoso, es aquel que por su elevado contenido de agua se adhiere o se escurre de la herramienta o equipo utilizado para su extracción. Para la ejecución de las excavaciones, se deberán tomar en cuenta los estudios de mecánica de suelos.

Por otro lado, existe la facultad para suspender total o parcialmente las obras cuando se considere que el estado de las excavaciones no garantice la seguridad necesaria para las obras y/o los trabajadores, hasta en tanto no se efectúen los trabajos que garanticen su continuación.

A manera de resumen se señalan las actividades fundamentales con carácter de enunciativo:

- a) Afloje del material y su extracción.
- b) Amacice o limpieza de plantilla y taludes de la zanja.
- c) Remoción del material producto de las excavaciones.

- d) Traspaleos verticales cuando estos sean procedentes, horizontales cuando se requieran.
- e) Conservación de las excavaciones hasta la instalación satisfactoria de las tuberías.
- f) Extracción de derrumbes.

El pago de los conceptos se hará en función de las características del material y de sus condiciones, es decir, en seco o en agua, de acuerdo a la zona en que se desarrolle la ejecución con base en lo siguiente:

- ✓ Zona A: zonas despobladas o pobladas sin instalaciones (tomas domiciliarias, ductos eléctricos, teléfonos o hidráulicos)
- ✓ Zona B: zonas pobladas con instalaciones (tomas domiciliarias, ductos elásticos, telefónicos o hidráulicos) que dificulten la ejecución de la obra y cuyos desperfectos serán por cuenta del contratista.

La excavación de las cepas se medirá en metros cúbicos, al efecto se determinaran los volúmenes de las excavaciones realizadas por el contratista como ya se especifico anteriormente.

Las excavaciones de cepas le serán pagadas al contratista a los precios estipulados en el contrato para los conceptos de trabajo correspondientes.

No se consideran para fines de pago las excavaciones hechas por el contratista fuera de las líneas de proyecto, de la remoción de derrumbes originados por causas imputables al contratista.

Los trabajos de bombeo que deba realizar el contratista para las excavaciones y conservarlas en seco durante el tiempo de colocación de la tubería le serán pagados por separado. Igualmente le será pagado por separado el acarreo de los bancos de desperdicio, del material producto de la excavación que no haya sido utilizado en el relleno de las cepas por exceso de volumen, por su mala calidad o por cualquier otra circunstancia. Se pagará al contratista a los precios unitarios estipulados en el contrato para los conceptos de trabajo correspondientes.

### 5.6.5 Ademes.

Se entenderá por ademe de madera, metálico o mixto, abierto o cerrado el conjunto de operaciones que deberá ejecutar el contratista cuando la resistencia del terreno o las dimensiones de la excavación sean tales que pongan en peligro la estabilidad de las paredes de excavación.

Todos los trabajos que ejecute el contratista en la construcción de ademes de madera, metálicos o mixtos deberán sujetarse a lo señalado en las normas y planos del proyecto y/o las ordenes del Ingeniero.

Las zanjas en las que se alojan los tramos de tubería que conforman el colector, se excavarán a cielo abierto entre una estructura de contención

construida por placa de acero A-36 de 5/8" de espesor, con viguetas de acero IPR de 12" x 8" (74.5 kg/m hincadas a cada metro para soportar el tablero de placa de acero).

Una vez que sobre el terreno se haya definido el trazo del tramo por excavar se procederá de la siguiente manera:

1. Se colocaran las viguetas longitudinal y transversalmente de 8" x 6" (marco), troquel y madrina el cual mide 8.0 m de largo, se hincan las viguetas de 12" x 8" de 12 m de largo de manera vertical a cada metro hasta una profundidad de 2.0 m debajo de la rasante hidráulica o de la profundidad de proyecto.
2. Detrás de estas viguetas se hincan placas de acero de 5/8" de espesor por 2.0 m de ancho, hasta una profundidad de 2.0 m debajo de la profundidad máxima del proyecto.
3. Se procede de la misma manera para el tablestacado de la otra pared así como para las partes frontales.
4. Una vez terminado el tablestacado se inicia la excavación a la totalidad para la colocación de la plantilla, el tubo, acostillado y relleno.
5. Cuando el relleno haya alcanzado una altura de un metro debajo de la superficie del terreno natural o pavimento, las placas de acero y viguetas deberán extraerse, en caso de que la extracción se dificulte se deberá tratar de hincar un poco más y después proceder a su extracción.

Los ademes que hayan sido colocados por las instrucciones del Ingeniero no serán retirados hasta que los rellenos se encuentren a una altura mínima de un metro por encima del lomo del tubo.

Se dejará ademe perdido el cual cobrará el contratista solamente en los casos que se lo ordene el Ingeniero, cuando se ponga en peligro con su retiro alguna estructura cercana.

Con la finalidad de evitar accidentes, derrumbes o abandono de la obra, solo se autoriza una longitud máxima de cepa abierta de 40 a 70 metros por frente.

Las dimensiones, características y sistemas de construcción de los ademes así como las líneas, niveles, elevaciones y profundidades, serán justamente las ordenadas por el proyecto y/o por el Ingeniero.

Para el caso de excavaciones realizadas en el terreno húmedo se ademará una profundidad de 2.5 m como mínimo o antes a juicio del Ingeniero si se observa peligro de derrumbes.

### 5.6.6 Cama o plantilla.

Por cama se entenderá la capa de tezontle que se colocará en el fondo de las cepas para formar una plantilla de apoyo al lomo inferior de los tubos, ésta cama se colocará a lo largo de todo lo ancho en el fondo de la excavación.

El espesor de la cama variara de acuerdo con el diámetro del tubo, como se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 5.7 Espesor de la cama respecto a la tubería**

ESPESOR DEL TUBO (cm)	ESPESOR DE LA CAMA (cm)
30 a 61	20
76 a 122	30
152 a 183	50
213 a 305	80

La cama de tezontle será compactada por medio del pizón hasta lograr el rebote de este.

El material para la cama será tezontle con un tamaño máximo de 2" (5.08 cm) y mínimo de ¼" (0.6 cm). Esta cama se colocará a todo lo ancho en el fondo de la excavación.

La construcción de camas de tezontle en el fondo de las cepas para alojar tuberías de redes de alcantarillado y de colectores será medida para fines de estimación y pago en metros cúbicos.

La construcción de camas de tezontle incluirá el suministro de los materiales por parte del contratista.

### 5.6.7 Instalación de tubería de concreto.

Se entenderá por instalación de tubería de concreto para alcantarillado colector, subcolector, atargeas o descargas domiciliarias al conjunto de operaciones que tendrá que hacer el contratista, para colocar en forma definitiva de acuerdo al proyecto, las tuberías de concreto simple o reforzado, ya sean de macho y campana o de caja y espiga que se requieren para las redes de alcantarillado y los colectores.

Es responsabilidad del contratista el manejo de los tubos, tanto en su transporte y descarga como en su bajado a las cepas, el cual deberá hacerse con todo cuidado, empleando el equipo y herramientas adecuadas, para que las mismas no sufran daños y/o deterioros, ya que si esto ocurriera, el contratista tendrá que repararlas o substituir las por su cuenta, en caso necesario y sin ningún pago adicional por ello.

La tubería será lo primero que se presente en la calle y se colocará a un lado del trazo de la cepa correspondiente. Con la finalidad de que no se muevan o rueden, se les colocarán pedazos de piedra o tabique en la parte baja de los tubos, acuñándolos fuertemente.

El producto de la excavación deberá ser depositado del lado opuesto de la cepa en el cual se encuentran los tubos, o realizar el acarreo del producto al instante de la excavación.

La colocación de la tubería de concreto se hará de tal manera que en ningún caso se tenga una desviación mayor de 5 mm en la alineación y nivel que señale el proyecto, cuando se trate de tuberías de 24"; o de 10 mm cuando se trate de tuberías de mayor diámetro.

Cada pieza deberá tener un apoyo completo en toda su longitud sobre la cama de tezontle, por lo cual, abajo de las campanas se deberá retirar parte del material.

No se permitirá colocar las tuberías sobre piedras, calzas de madera o cualquier otro tipo de soporte.

La instalación de la tubería se hará con las campanas o cajas de la espiga siempre hacia aguas arriba, iniciando su colocación de aguas abajo hacia aguas arriba y prosiguiendo en el mismo sentido.

Corresponde al Ingeniero dar los niveles mediante niveletas.

La impermeabilidad de los tubos de concreto y de sus juntas será probada por el contratista una vez transcurridas 24 hrs después de terminar la última junta en presencia del Ingeniero y según lo determine este.

### 5.6.8 Métodos de prueba.

#### ➤ Prueba hidrostática accidental.

Esta prueba consiste en dar a la parte mas baja de la tubería una carga de agua que no excederá de un tirante de dos metros. Previamente se anclaran los tubos colocando relleno producto de un banco, en este caso en la parte central de los mismos y dejando libres las campanas o juntas. Si el junteo se encuentra defectuoso y acusa fugas, el contratista procederá a su reparación. Se repetirá esta prueba cuantas veces sea necesario hasta que se eliminen todas las fugas, a satisfacción del Ingeniero.

Esta prueba hidrostática accidental se hará solamente en los casos siguientes:

- a) Cuando el Ingeniero tenga sospechas fundadas de que existen defectos en el junteo de las tuberías
- b) Cuando el Ingeniero por cualquier causa reciba un tramo de tubería provisional comprendido entre dos pozos de visita.

- c) Cuando por condiciones de trabajo se requiera que el contratista rellene las cepas, en las que por cualquier circunstancia pueda haber movimiento en las juntas.

➤ Prueba hidrostática sistemática.

Esta prueba se hará en todos los casos en que no se haga la prueba accidental; consiste en vaciar en el pozo de visita de aguas arriba de un tramo, el contenido de un camión tanque con seis metros cúbicos de capacidad, utilizando para ello una manguera de 6" de diámetro y dejando correr libremente el agua a través del tramo de tubería por probarse. En el pozo de visita de aguas abajo, el contratista colocará una bomba para impedir mediante bombeo que se forme un tirante de agua que pueda deslavar las últimas juntas que se realizaron.

Mediante esta prueba se comprobará si la parte inferior de las juntas se realizó correctamente con el mortero de cemento-arena; en caso contrario, las juntas presentaran fugas en su parte inferior. Esta prueba deberá hacerse antes de rellenar la cepa, y si el junteo llegase a tener defectos, el contratista estará obligado a repararlas a satisfacción del Ingeniero.

El Ingeniero solamente le recibirá al contratista los tramos de tubería completamente terminados entre pozo y pozo de visita o entre dos estructuras sucesivas que formen parte del alcantarillado, verificando previamente la prueba de impermeabilidad y comprobando que toda la tubería se encuentre limpia sin obstrucciones ni escombros en toda su longitud.

La instalación de tuberías de concreto simple o reforzado para redes de alcantarillado o colectores será medida para fines de estimación y pago en metros lineales. Para el efecto se medirán las tuberías efectivamente instaladas de acuerdo con los planos del proyecto o las ordenes del Ingeniero, sin considerar para fines de pago las longitudes de tubo que penetren en otros dentro de las juntas.

### 5.6.9 Conexión domiciliaria.

En los sitios que señale el proyecto u ordene el Ingeniero, para la inserción de las descargas domiciliarias se perforan las tuberías de concreto simple o de concreto reforzado de la red de alcantarillado, debiendo ejecutarse sin que el tubo se agriete y cuidando del manejo de los accesorios complementarios de la descarga.

El contratista instalará las conexiones domiciliarias a partir del parámetro exterior de las viviendas en los sitios que señalen los planos o prescriba el Ingeniero y las terminará conectándolas en la inserción correspondiente en el alcantarillado; el extremo libre de la conexión, se tapaná con un ladrillo y mortero pobre de cemento (no dejar preparaciones abiertas), o bien, se conectará a la salida del albañal.



Para las conexiones se usara tubo de 15 y 20 cm o de más diámetro a juicio del Ingeniero.

Las profundidades de instalación será las que ordene el Ingeniero, la pendiente mínima que en general se admitirá para la tubería de la conexión será del 22 %, y el colchón sobre el lomo del tubo en cualquier lugar de su longitud, tendrá como mínimo 90 cm; la pendiente podrá reducirse el 1 %.

La instalación de conexiones domiciliarias y pluviales del servicio de alcantarillado, se medirán en conexiones comprendidas cada una de ellas exclusivamente la acometida y el codo de 45 grados, es decir, será por juego. El precio unitario incluye las maniobras para distribuir las piezas a lo largo de la zanja, excavación, bajada y tendido, así como la perforación de la tubería, junteo con mortero cemento-arena y relleno en cepa.

#### 5.6.10 Acostillado.

El acostillado se realizará a ambos lados de la tubería con material de banco, es decir, tezontle con una granulometría de 2" a 4" de espesor, el cual se apisonará hasta formar una capa de 30 cm sobre el lomo del tubo, desde donde se continuará con el relleno.

#### 5.6.11 Relleno en capas.

Se entenderá por relleno sin compactar el que se haga por el simple deposito del material para relleno con su humedad natural, sin compactación alguna, salvo la natural que se produce por su propio peso.

Se entenderá por relleno compactado aquel que se forme colocando el material en capas sensiblemente horizontales, del espesor que señale el Ingeniero, pero en ningún caso mayor de 20 cm con la humedad óptima que requiera el material de acuerdo al grado de compactación determinado por la prueba Proctor o Porter, en su caso. Cada capa será compactada uniformemente en toda su superficie mediante el empleo de pisones de mano o equipo mecánico hasta obtener la compactación requerida.

Por relleno de excavaciones de zanjas se entenderá el conjunto de operaciones que deberá ejecutar el contratista para rellenar hasta el nivel original del terreno natural o hasta los niveles señalados por el proyecto y/o las órdenes del Ingeniero las excavaciones que hayan realizado para alojar las tuberías de alcantarillado.

No se deberá proceder a efectuar ningún relleno de excavación sin antes obtener la aprobación por escrito del ingeniero, pues en caso contrario, este podrá ordenar la total extracción del material utilizado en rellenos no aprobados por él, sin que el contratista tenga derecho a ninguna retribución por ello.

Para el relleno de las cepas se ejecutará primero acostillando el material cuidadosamente a ambos lados de la tubería con pizón, el cual continuará hasta formar una capa de 30 cm sobre el lomo del tubo, desde donde se continuará con el relleno colocándolo en capas de 20 cm como máximo y que se compactará con equipo mecánico hasta alcanzar el 90 % de su peso volumétrico seco máximo, de acuerdo a la prueba Porter. Con la finalidad de absorber el hundimiento posterior al de relleno, se dejará arriba del terreno natural, un lomo del material compactado de 15 cm de altura.

### 5.6.12 Reposición de pavimentos.

Se entenderá por reposición de pavimentos o de banqueteta, a la operación consistente en construir nuevamente los pavimentos asfálticos o de concreto hidráulico así como las banquetetas que se hubieren removido para la apertura de cepas.

La reposición de pavimentos o de banqueteta deberá ser hecha del mismo material, características y estructura que el removido, debiendo quedar al mismo nivel que aquel, evitándose la formación de topes o depresiones, por lo que se procurará que la reposición de pavimentos o banquetetas se efectúe una vez que el relleno de las zanjas haya adquirido su máxima consolidación y no sufra asentamientos posteriores.

En la reposición del pavimento empedrado o adoquinado, se procurará utilizar el material producto de la ruptura y que además no haya sufrido daños, todo el material nuevo deberá ser de la misma clase y características del original.

Para la reposición del pavimento asfáltico se podrá fabricar en el lugar con materiales pétreos o productos asfálticos. Empleando conformadoras y mezcladoras ambulantes, las mezclas asfálticas formarán una carpeta compacta con el mínimo del 95 % de compactación con respecto a su P.V.S.M. (peso volumétrico seco máximo) y un espesor igual al que fue retirado.

Los materiales pétreos y asfálticos, así como los de subases y bases se apegarán a lo indicado, para su utilización en pavimentos a las Especificaciones Generales de Construcción de la S.C.T. Sector Caminos.

Para la reposición de pavimentos de concreto hidráulico se hará una base de grava cementada de 0.20 m de espesor como mínimo o del espesor levantado.

El concreto hidráulico utilizado en la reposición de pavimentos y banquetetas será de por lo menos  $f_c = 150 \text{ kg/cm}^2$  vibrado al colocarlo. El acabado de la superficie debe ser igual al existente (liso o rayado).

La reposición de pavimentos y banquetas se medirá para fines de pago en metros cuadrados de acuerdo con las dimensiones del proyecto, quedando incluido el suministro de materiales puestos en obra y el retiro de sobrantes.

### 5.6.13 Construcción de pozos comunes, pozos especiales y pozos cajas.

Son las estructuras que permiten la inspección y limpieza de las alcantarillas. Se utilizan para la conexión de varias tuberías y en todos los cambios de diámetro, dirección y pendiente.

Los materiales usados en la construcción de los pozos de visita, deben asegurar la hermeticidad de la estructura y de conexión con la tubería.

Estas estructuras serán construidas en lugares que señale el proyecto y de acuerdo con los planos, líneas y niveles del mismo, debiendo existir en los cruces, cambios de dirección, pendiente y diámetro, así como en conexiones especiales.

El cambio de diámetro se debe hacer por medio de una transición dentro de un pozo de visita indicándose en cada caso, en el plano del proyecto, las elevaciones de sus plantillas tanto de llegada como de salida.

Los pozos de visita se clasifican en pozos comunes, especiales y pozos caja, de acuerdo a las características que a continuación se mencionan.

Los pozos de visita tienen forma cilíndrica en la parte inferior y troncocónica en la parte superior, son suficientemente amplios para darle paso a una persona y permitirle maniobrar en su interior.

Atendiendo al diámetro interior de la tubería, los pozos de visita se clasifican en comunes y especiales.

Los pozos de visita tienen un diámetro interior de 1.20 m, y se utilizan con tubería de hasta 61 cm de diámetro.

Los pozos de visita especiales presentan un diámetro interior de 1.50 m para tuberías de 76 cm a 1.07 m de diámetro, y 2.00 m de diámetro interior para tuberías con diámetro de 1.22 m y mayores.

Los pozos caja están formados por el conjunto de una caja de concreto y chimenea de tabique idéntica a la de los pozos comunes y especiales. Su sección transversal horizontal tiene forma rectangular o de un polígono irregular. Sus muros, así como el piso y el techo son de concreto reforzado arrancando de este último la chimenea que al nivel de la superficie del terreno, termina con un brocal y su tapa.

Generalmente a los pozos cuya sección horizontal es rectangular, se les llama simplemente pozos caja, a los pozos de sección horizontal en forma de

polígono irregular, se les llama pozos de caja unión y a los pozos de caja a los que concurre una tubería de entrada y una de salida con un ángulo diferente a 180 grados, se les llama pozo caja de deflexión.

Estas estructuras se utilizan en las uniones de dos o más conductos con diámetros de 76 cm y mayores a los que se unen tuberías de 38 cm y mayores.

➤ Separación máxima entre los pozos de visita.

La separación máxima entre dos estructuras, debe ser la adecuada para facilitar las operaciones de inspección y limpieza. Se recomiendan las siguientes distancias de acuerdo con el diámetro:

- ✓ En tramos de 20 a 60 cm de diámetro, 125 m
- ✓ En tramos de 76 a 122 cm de diámetro, 150 m
- ✓ En tramos con diámetros de 152 a 244 cm, 175 m

Estas separaciones pueden incrementarse de acuerdo con las distancias de los cruceros de las calles, como máximo un 10 %.

➤ Materiales usados en los pozos de visita.

Los pozos de visita pueden ser construidos en el lugar, o bien, pueden ser prefabricados, su elección dependerá de un análisis económico y en cualquier caso se debe asegurar la hermeticidad de la estructura.

La cimentación del pozo puede ser de mampostería o concreto. En terrenos suaves se construye de concreto armado aunque la chimenea sea de tabique.

Los pozos de visita se construirán de acuerdo a los planos tipo aprobados por la comisión y serán de mampostería común de tabique rojo recocido junteado con mortero cemento-arena. Los tabiques deberán ser mojados previamente a su colocación, colocados a tizón en hiladas horizontales con juntas no mayor de 1.5 cm, cada hilada horizontal deberá quedar deslizada con respecto a la anterior de tal forma que no queden coincidentes las juntas verticales de los tabiques que la formen (cuatrapeados).

Al construirse las bases de los pozos de visita se harán en ellas los canales de media caña correspondientes mediante el empleo de cerchas, de dimensiones de acuerdo con el diámetro de la tubería concurrente al pozo, se recubrirá con un aplanado de mortero cemento-arena y con un espesor mínimo de 1 cm que será terminado con llana o regla y pulido final de cemento. El aplanado se curará durante 10 días con agua.

#### 5.6.14 Colocación de brocales y tapas.

Se entenderá por colocación de brocales y tapas, a las actividades que realice el contratista en los pozos de visita y/o cajas de caída, de acuerdo con lo señalado en los planos de proyecto, y/o las ordenes del Ingeniero.

Quando el proyecto o las órdenes del Ingeniero lo especifiquen, los brocales y las tapas serán de fierro fundido.

Quando de acuerdo con lo señalado en el proyecto, o lo ordenado por el Ingeniero, los brocales, coladeras y rejillas deban ser de concreto, serán fabricados e instalados por el contratista, sujetándose a las características y dimensiones mostrados en los planos respectivos del proyecto.

El concreto que se emplee en la fabricación de brocales, tapas y rejillas, deberá tener una resistencia de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ .

La instalación y anclaje de estas piezas se hará justamente en la forma señalada en los detalles de los planos y aprobados a satisfacción del Ingeniero.

La instalación de brocales, coladeras y tapas será medida para fines de estimación y pago en unidades. Para tal efecto se determinará directamente en las obras el número y tipo de piezas efectivamente colocadas de acuerdo al proyecto y satisfacción del Ingeniero.

#### 5.7 Descripción de la red de drenaje combinado.

El sistema de alcantarillado de Valle de Chalco, esta formado principalmente por una red de colectores y subcolectores que en conjunto suman una longitud aproximada de 35.98 km, con diámetros que varían de 0.30 a 2.44 m. Estos colectores captan las aguas negras y de lluvia de las diferentes zonas del Valle y las conducen hacia las diferentes plantas de bombeo que, a su vez, descargan en diferentes sitios.

El sistema cuenta con las siguientes plantas de bombeo:

- ✓ Plantas de bombeo 5 y 15. Reciben las aguas que captan del colector Sur 17 a lo largo de su recorrido, que es aproximadamente de 3187 m, con diámetros que varían de 0.61 a 2.13 m, y cuya área de aportación es de 247.26 ha. La PB-5 realiza su descarga al Dren 46, el cual se conecta a la PB-10, que a su vez se encarga de bombear las aguas al canal general. Por otro lado, la PB-15 descarga al colector poniente, ésta funciona en épocas de estiaje, mientras que la PB-5 lo hace en épocas de lluvia.
- ✓ Planta de bombeo 6. A esta planta de bombeo llega el agua que conduce el colector Axayacatl, cuya longitud y área de influencia aproximada son de 1 099 m y 31.16 ha, respectivamente, con diámetros que van de 0.91 a 1.52 m. Adicionalmente al Axayacatl, existe un

colector sin nombre, de longitud muy pequeña, que se localiza sobre la calle Acapol que descarga a esta planta. El sitio de descarga de la PB-6 es directamente al canal general.

- ✓ Planta de bombeo 6-A. En esta planta de bombeo concluyen los subcolectores Sur 17 y Sur 20, cuyas áreas tributarias son de 26.20 y 24.49 ha; sus longitudes son de 1 391 y 969 m, respectivamente. Los diámetros de estos colectores varían de 0.30 a 1.52 m. La descarga de esta planta de bombeo se realiza en el canal general.
- ✓ Planta de bombeo 14. El colector Poniente que llega a esta planta de bombeo tiene una longitud de 3 107 m y drena una área de 105.09 ha, con diámetros que van de 0.61 a 1.07 m. Cabe mencionar que a este colector descarga la PB-15, que bombea las aguas negras provenientes del colector Sur 17 en épocas de estiaje. Esta planta tiene su sitio de descarga en el canal general.
- ✓ Planta de bombeo 7. A esta planta de bombeo llegan dos colectores, que son el colector interceptor y el colector Altamirano, este último de mayor importancia, debido a que el área que drena es de aproximadamente 458.2 ha, contra 47.20 ha del colector interceptor. Es importante hacer notar que el colector Altamirano recibe las aportaciones de otros colectores y subcolectores importantes, como el colector Sur 5, colector y subcolectores Cobarruvias, colector Cuauhtemoc, entre otros, en donde los diámetros varían de 0.61 a 2.44 m. El sitio donde se descargan las aguas de la PB-7 es el canal general.
- ✓ Planta de bombeo 8. En esta planta descargan los colectores Felipe Ángeles y Hermenegildo Galeana, este último con mayor peso, debido a que en él se realiza la descarga de varios colectores importantes como el colector y subcolector Francisco Villa, colector Emiliano Zapata, subcolector Cuauhtemoc, entre otros y que en conjunto tienen un área de influencia de aproximadamente 368.03 ha. El colector Felipe Ángeles drena una área de 167.90 ha. El lugar donde se realiza la descarga de la PB-8 es el canal general.
- ✓ Planta de bombeo 16. Recibe al colector Anáhuac que cuenta con una longitud de 2 676 m y un área de influencia de 139.57 ha. En su recorrido, este colector recibe las aportaciones de los colectores Cobarruvias e Isidro Fabela, entre otros, donde los diámetros van de 0.76 a 1.52 m. Esta planta realiza su descarga al colector Lázaro Cárdenas, el cual se encarga de conducir las aguas hacia la PB-12; este colector tiene un desvío alternativo, que es al colector Altamirano, que llega a la PB-7.
- ✓ Planta de bombeo 12. Como se mencionó anteriormente esta planta recibe las aguas provenientes de la PB-16, a través del colector Lázaro Cárdenas; en su trayectoria se integra el colector Norte 15 que cuenta con un área drenada de 195.22 ha. Esta planta también recibe las aguas

del colector Solidaridad, proveniente de la cabecera municipal. Esta planta descarga directamente al río de la Compañía.

**Tabla 5.8 Datos de equipamiento de plantas de bombeo.**

PLANTAS DE BOMBEO	BOMBAS PARA DRENAJE SANITARIO (m <sup>3</sup> /s)	BOMBAS PARA DRENAJE PLUVIAL (m <sup>3</sup> /s)
5		2 de 1.50 2 de 1.00
6	1 de 0.022 1 de 0.325	2 de 0.325
6 - A	1 de 0.050	2 de 0.325 2 de 1.00
7		2 de 1.50 2 de 0.50
8	2 de 0.162	4 de 1.50 2 de 1.50
10		2 de 1.00
12		5 de 1.50
14	1 de 0.200	2 de 0.60
15	2 de 0.100	
16	1 de 0.100	2 de 1.00
<b>SÚMAS</b>	<b>0.894</b>	<b>29.65</b>

## **CAPÍTULO VI**

### **“CONCLUSIONES”**



## CAPÍTULO VI

# “CONCLUSIONES”

## CAPITULO VI

### "CONCLUSIONES"

Los recursos de agua dulce son un componente esencial de la hidrósfera de la Tierra y parte indispensable de todos los ecosistemas terrestres. El medio de agua dulce se caracteriza por el ciclo hidrológico, que incluye las inundaciones y sequías, cuyas consecuencias se han vuelto en algunas regiones más extremas y dramáticas durante los últimos años. El cambio climático mundial y la contaminación atmosférica podrían también tener consecuencias para los recursos de agua dulce y su disponibilidad y, con la elevación del nivel del mar, poner en peligro las zonas costeras bajas y los ecosistemas de las islas pequeñas.

El agua se necesita en todos los aspectos de la vida. El objetivo general es velar por que se mantenga un suministro suficiente de agua de buena calidad para toda la población del planeta y preservar al mismo tiempo las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas, adaptando las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatiendo los factores de las enfermedades relacionadas con el agua. Es preciso contar con tecnologías innovadoras, entre ellas las tecnologías locales mejoradas para aprovechar plenamente los recursos hídricos limitados y protegerlos contra la contaminación.

La escasez generalizada de recursos de agua dulce, su destrucción gradual y su creciente contaminación, así como la implantación progresiva de actividades incompatibles en muchas regiones del mundo, exigen una planificación y una ordenación integradas de los recursos hídricos. Esa integración ha de abarcar todos los tipos de masas interrelacionadas de agua dulce, tanto las aguas superficiales como las subterráneas, y ha de tener debidamente en cuenta los aspectos de la cantidad y calidad del agua. Debe reconocerse el carácter multisectorial del aprovechamiento de los recursos hídricos en el contexto del desarrollo socioeconómico, así como la utilización de esos recursos para fines múltiples como el abastecimiento de agua y el saneamiento, la agricultura, la industria, el desarrollo urbano, la generación de energía hidroeléctrica, la pesca en aguas interiores, el transporte, las actividades recreativas, la ordenación de las tierras bajas y las planicies y otras actividades. Los sistemas racionales de utilización del agua para el aprovechamiento de las fuentes de suministro de agua, sean de superficie, subterráneas u otras posibles, deben estar apoyados por medidas encaminadas a conservar el agua y reducir al mínimo el derroche. Sin embargo, cuando sea necesario, habrá de darse prioridad a las medidas de prevención y control de las inundaciones, así como al control de la sedimentación.

Para el sector de los recursos de agua dulce se proponen las siguientes áreas de programas:

- a) Ordenación y aprovechamiento integrados de los recursos hídricos.
- b) Evaluación de los recursos hídricos.
- c) Protección de los recursos hídricos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.
- d) Abastecimiento de agua potable y saneamiento.
- e) El agua y el desarrollo urbano sostenible.
- f) El agua para la producción sustentable de alimentos y el desarrollo rural sustentable.
- g) Repercusiones del cambio climático en los recursos hídricos.

El rápido crecimiento de la demanda de agua se debe en un 70 a 80 % al riego agrícola, algo menos de un 20 % a la industria y solo un 6 % al consumo doméstico. Una ordenación global del agua dulce en cuanto recurso limitado y vulnerable, y la integración de planes y programas hídricos sectoriales dentro del marco de la política económica y social nacional son medidas que revisten la máxima importancia entre las que se adopten en el decenio de 1990 y con posterioridad. Sin embargo, la fragmentación de las responsabilidades relativas al desarrollo de los recursos hídricos entre diversos organismos sectoriales esta constituyendo un obstáculo aun mayor de lo que se pensaba para promover una ordenación integrada de dichos recursos. Se requieren mecanismos eficaces de ejecución y coordinación.

La ordenación integrada de los recursos hídricos se basa en la percepción de que el agua es parte integrante del ecosistema, un recurso natural y un bien social y bien económico cuya cantidad y calidad determinan la naturaleza de su utilización. Con tal fin, hay que proteger esos recursos, teniendo en cuenta el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y el carácter perenne del recurso con miras a satisfacer y conciliar las necesidades de agua en las actividades humanas. En el aprovechamiento y el uso de los recursos hídricos ha de darse prioridad a la satisfacción de las necesidades básicas y a la protección de los ecosistemas

La ordenación integrada de los recursos hídricos, incluida la integración de los aspectos relativos a las tierras y a las aguas, tendría que hacerse a nivel de cuenca o subcuenca de captación. Deberían perseguirse cuatro objetivos principales, a saber:

- a) Promover un enfoque dinámico, interactivo, iterativo y multisectorial de la ordenación de los recursos hídricos, incluidas la protección y la determinación de posibles fuentes de abastecimiento de agua dulce, que abarque consideraciones tecnológicas, económicas, ambientales y sanitarias.
- b) Planificar la utilización, protección, conservación y ordenación sostenibles y racionales de los recursos hídricos con arreglo a las necesidades y prioridades de la colectividad dentro del marco de la política de desarrollo económico nacional.

- c) Elaborar, aplicar y evaluar proyectos y programas que sean tanto económicamente eficientes como socialmente adecuados dentro de unas estrategias definidas con claridad y basadas en un enfoque de plena participación pública sobre la ordenación del agua.
- d) Determinar y fortalecer o implantar, según sea necesario, en particular en los países en desarrollo, los mecanismos institucionales, jurídicos y financieros adecuados para lograr que la política sobre los recursos hídricos y su ejecución sean un catalizador del progreso social y el crecimiento económico sustentables.

Todos los Estados, según la capacidad y los recursos de que dispongan, y mediante la cooperación bilateral o multilateral, incluidas, según proceda, las Naciones Unidas y otras organizaciones competentes, podrían ejecutar las siguientes actividades para mejorar la ordenación integrada de los recursos hídricos:

- a. Formular planes de acción y programas de inversión nacionales con costos calculados y metas fijadas.
- b. Optimizar la asignación de los recursos hídricos dentro de las limitaciones físicas y socioeconómicas.
- c. Luchar contra las inundaciones y las sequías, mediante el análisis de riesgos y la evaluación de las consecuencias sociales y ambientales.
- d. Promover planes de utilización racional del agua mediante una mayor conciencia pública, programas de educación y la imposición de tarifas de consumo y otros instrumentos económicos.
- e. Distribuir los recursos hídricos, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas.
- f. Fomentar la cooperación internacional en la investigación científica sobre los recursos de agua dulce.
- g. Desarrollar fuentes nuevas y alternativas de suministro de agua tales como la desalación del agua de mar, la reposición artificial de aguas subterráneas, la utilización de agua de escasa calidad, el aprovechamiento de aguas residuales y el reciclaje del agua.
- h. Integrar la ordenación de la cantidad y calidad de los recursos hídricos, incluidas las aguas superficiales y subterráneas.
- i. Promover la conservación del agua mediante mejores y más eficaces planes de aprovechamiento y de reducción al mínimo del derroche con participación de todos los usuarios, con el desarrollo, entre otros aspectos, de mecanismos para ahorrar agua.
- j. Apoyar a los grupos de usuarios de agua a fin de optimizar la ordenación de los recursos hídricos locales.

Desarrollar bases de datos interactivas, métodos de previsión y modelos de planificación económica apropiados para la ordenación de los recursos hídricos de un modo eficiente y sustentable que obligara a aplicar técnicas nuevas, tales

como sistemas de información geográfica y sistemas de expertos que reúnan, asimilen, analicen y difundan información multisectorial y que permitan tomar las mejores decisiones posibles. Además, impulsar fuentes nuevas y alternativas de abastecimiento de agua y tecnologías de bajo costo para su aprovechamiento que exigirán una investigación aplicada innovadora.

Del reconocimiento del hecho de que el agua constituye un bien económico y social se desprende que habrá que evaluar más a fondo y comprobar sobre el terreno las diversas opciones disponibles para cobrar tarifas a los usuarios del agua (incluidos los hogares, las zonas urbanas y los grupos de usuarios de agua industrial y agrícola). Habrá que desarrollar aun más en los instrumentos económicos que tengan presentes los costos de oportunidad y los efectos en el medio ambiente. En ámbitos rurales y urbanos debería estudiarse sobre el terreno la predisposición de los usuarios a pagar.

El aprovechamiento y la ordenación de los recursos hídricos debería planificarse de manera integrada, teniendo presentes las necesidades de planificación a largo plazo así como las de plazo más corto, esto es, deberían tener en cuenta consideraciones ambientales, económicas y sociales basadas en el principio de sustentabilidad; incluir las necesidades de todos los usuarios así como también las relacionadas con la prevención y atenuación de los riesgos relacionados con el agua; y ser parte integrante del proceso de planificación del desarrollo socioeconómico. En la planificación deberían considerarse los beneficios de la inversión y los costos de protección ambiental y de explotación, así como los costos de oportunidad en función del aprovechamiento alternativo más valioso del agua

La función del agua como bien económico y social y base de la vida debería reflejarse en los mecanismos de gestión de la demanda, y tenerse en cuenta mediante la conservación y reaprovechamiento del agua, la evaluación de los recursos y los instrumentos financieros.

La evaluación de los recursos hídricos, incluida la determinación de posibles fuentes de agua dulce, consiste en determinar ininterrumpidamente las fuentes, la cantidad, la fiabilidad y la calidad de los recursos de agua y de las actividades humanas que afectan a esos recursos. Esa evaluación es la base práctica para su ordenación sustentable y condición previa para evaluar las posibilidades de aprovecharlos.

Habrán que tratar de alcanzar simultáneamente tres objetivos para incluir los elementos de la calidad del agua en la ordenación de los recursos hídricos:

- a. Mantenimiento de la integridad de los ecosistemas de acuerdo con el principio de ordenación de preservar los ecosistemas acuáticos, incluidos los recursos vivos, y de protegerlos eficazmente de toda forma de degradación.
- b. Protección de la salud pública, tarea que no solo requerirá suministrar agua potable libre de gérmenes patógenos, sino también luchar contra los factores de enfermedades en el medio acuático.

- c. Desarrollo de los recursos humanos, clave para fomentar la capacidad y requisito para el control de la calidad del agua.

Todos los Estados, según la capacidad y los recursos de que dispongan, y mediante la cooperación bilateral o multilateral, incluidas, según proceda, las Naciones Unidas y otras organizaciones competentes, podrían fijar los objetivos siguientes:

- a. Determinar los recursos de agua superficiales y subterráneas que podrían desarrollarse para su aprovechamiento de manera sostenible y otros importantes recursos dependientes del agua que se puedan aprovechar y, al mismo tiempo, iniciar programas para la protección, conservación y aprovechamiento racional y sostenible de esos recursos;
- b. Determinar todas las fuentes posibles de abastecimiento de agua y preparar planes para su protección, conservación y uso racional.
- c. Iniciar programas eficaces de prevención y control de la contaminación del agua, basados en una combinación adecuada de estrategias para reducir la contaminación en su origen mismo, evaluaciones del impacto ambiental, y normas obligatorias aplicables a descargas de fuentes puntuales importantes y fuentes no puntuales de alto riesgo, que sean proporcionales a su desarrollo socioeconómico.
- d. Establecer, según su capacidad y sus necesidades, criterios de calidad biológica, médica, física y química para todas las masas de agua (aguas superficiales y subterráneas), con miras a mejorar constantemente su calidad.
- e. Adoptar un enfoque integrado de la ordenación ecológicamente sustentable de los recursos hídricos que incluya la protección de los ecosistemas acuáticos y los recursos vivos de agua dulce.

En los inicios de este nuevo siglo, más de la mitad de la población mundial vivirá en zonas urbanas. Para el año 2025 esa proporción se habrá elevado a un 60%, es decir, alrededor de 5 000 millones de personas. La rapidez del crecimiento de la población urbana y de la industrialización están sometiendo a una gran presión a los recursos hídricos y a la protección del medio ambiente en muchas ciudades. Es necesario prestar una atención especial a los efectos cada vez más importantes de la urbanización en la demanda y el consumo de agua, así como al papel decisivo que desempeñan las autoridades locales y municipales en la gestión del abastecimiento, la utilización y el tratamiento general de las aguas, particularmente en los países en desarrollo, para los cuales se necesita un apoyo especial. La escasez de nuevos recursos de agua dulce y los costos cada vez más elevados de su aprovechamiento tienen importantes consecuencias para el desarrollo de la industria, la agricultura, los asentamientos humanos y el crecimiento económico. Una mejor ordenación de los recursos de agua para uso urbano, incluida la eliminación de pautas insostenibles de consumo de agua, puede representar una contribución

sustancial a la mitigación de la pobreza y a la mejora de la salud y la calidad de vida de los pobres de las zonas urbanas y rurales.

La sustentabilidad de la producción de alimentos dependerá cada vez más de prácticas racionales y eficaces de utilización y conservación del agua, consistentes principalmente en el desarrollo y la administración de los riegos, el suministro de agua para el ganado, la pesca en aguas interiores y la agrosilvicultura. El logro de la seguridad alimentaria es una cuestión a la que muchos países conceden una alta prioridad y la agricultura no solo debe proporcionar alimentos para poblaciones en aumento sino que también debe permitir reservar agua para otros usos. Se trata de elaborar y aplicar métodos de gestión y tecnologías de ahorro de agua y, mediante el aumento de la capacidad, permitir a las comunidades que establezcan instituciones e incentivos para que la población rural adopte nuevos enfoques tanto para la agricultura de secano como para la de riego. La población rural también debe tener un mejor acceso al agua potable y a los servicios de saneamiento. La erosión del suelo, la mala ordenación y la explotación excesiva de los recursos naturales y la fuerte competencia por el agua han sido un conjunto de elementos que han influido en la propagación de la pobreza, el hambre y la carencia en los países en desarrollo.

Los principios estratégicos fundamentales para una ordenación global, integrada y ecológicamente racional de los recursos hídricos en el marco rural se pueden enunciar como sigue:

- a. El agua debería considerarse un recurso finito que tiene un valor económico del que se derivan consecuencias sociales y económicas considerables, como reflejo de la importancia que tiene satisfacer las necesidades básicas.
- b. Las comunidades locales deben participar en todas las fases de la ordenación del agua.
- c. La ordenación de los recursos hídricos ha de desarrollarse dentro de un conjunto exhaustivo de políticas de salud humana; producción, conservación y distribución de alimentos; planes de atenuación de los desastres; protección del medio ambiente y conservación de la base de recursos naturales.

La habilitación de nuevas zonas de riego en las cuantías antes mencionadas puede dar lugar a temores sobre las consecuencias ambientales, en cuanto puede entrañar la destrucción de zonas pantanosas, la contaminación de las aguas, una mayor sedimentación y la reducción de la diversidad biológica. Por tanto, todo plan para establecer nuevos terrenos regadíos debería ir acompañado de una evaluación del impacto ambiental, según las dimensiones del proyecto, cuando se esperen consecuencias negativas considerables. Al examinar propuestas de nuevos planes de riego, también se debería examinar la posibilidad de aplicar de manera más racional los existentes y de aumentar la eficiencia y productividad de todo plan capaz de servir a las mismas localidades. Las tecnologías de los nuevos terrenos regadíos deberían evaluarse cuidadosamente estudiándose, por ejemplo, los

posibles conflictos con otros usos de la tierra. Un objetivo que hay que apoyar es la participación activa de grupos de usuarios del agua.

Los pronósticos sobre el cambio del clima a nivel mundial pecan de inciertos. Aunque la incertidumbre aumenta mucho en el plano regional, nacional y local, es a nivel nacional donde habría que tomar las decisiones más importantes. Mayores temperaturas y menores precipitaciones harían que disminuyera el abastecimiento de agua y aumentara su demanda; podrían deteriorar la calidad de las masas de agua dulce, lo cual afectaría el ya frágil equilibrio entre la oferta y la demanda en muchos países. Aun cuando la precipitación pueda aumentar, no hay garantía alguna de que tal cosa ocurra en la época del año en que esa agua puede usarse; además, podría ocurrir que aumentaran las inundaciones. Toda elevación del nivel del mar a menudo hará que entre agua salina en los estuarios, islotes y acuíferos costeros y anegará las zonas del litoral de bajo nivel; tal cosa somete a un gran riesgo a los países de baja altitud.



## **“BIBLIOGRAFÍA.”**

## **BIBLIOGRAFÍA**

- ❖ **Eva Kras.**  
"El Desarrollo Sustentable y las Empresas."  
Grupo Editorial Iberoamericana.  
México, 1994.
- ❖ **Antonio Yúnez-Naude.**  
"Medio Ambiente: Problemas y Soluciones."  
El Colegio de México.  
México, 1994.
- ❖ **Jacques Bethemont.**  
"Geografía de la Utilización de las Aguas Continentales."  
Oikos-tau, S.A. Ediciones.  
España, 1980.
- ❖ **Ricardo Alfredo López Cualla**  
"Diseño de Acueductos y Alcantarillados."  
Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.  
Segunda Edición.
- ❖ **Normas de Proyecto para Obras de Alcantarillado Sanitario en  
Localidades Urbanas de la República Mexicana.**  
Facultad de Ingeniería, UNAM.