



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
CAMPUS ARAGÓN**

**“ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA REALIZACIÓN  
DE UN PROYECTO DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE”**

299601

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA:  
**ALVARO CORRAL OLVERA**

ASESOR:  
ING. MARTÍN ORTIZ LEÓN



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCIÓN**

**ÁLVARO CORRAL OLVERA  
P R E S E N T E.**

En contestación a la solicitud de fecha 16 de marzo del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN pueda dirigirle el trabajo de tesis denominado "ESTUDIOS BÁSICOS PARA LA REALIZACIÓN DE UN PROYECTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
San Juan de Aragón, México, 18 de abril del 2001  
EL DIRECTOR

M en R. I. CARLOS EDUARDO LEVY VÁZQUEZ

C p Secretaría Académica.  
C p Jefatura de la Carrera de Ingeniería Civil.  
C p Asesor de Tesis.

CELV/AIR/vr

## AGRADECIMIENTOS

*Agradezco la oportunidad que me han brindado de superarme y llegar a ser una persona de bien y espero no defraudar a la confianza que han puesto en mí las personas que siempre me han apoyado a lo largo de todos mis estudios.*

*Gracias a mis padres que siempre han estado a mi lado, me han brindado de corazón la oportunidad de ser un poco mejor que ellos y me han apoyado en todos los aspectos y para ellos deseo lo mejor y que siempre sigan siendo las mismas personas tan buenas.*

*Gracias: Eleazar y Mercedes*

*Gracias a mis hermanos, Alex, Pablo Alberto y Berenice Gwendoline, que siempre han tratado de apoyarme y que siempre estamos unidos como una familia que somos, y se que siempre podré contar con su apoyo en las buenas y las malas.*

*Gracias a todos los Ingenieros y Maestros que han tratado de dar lo mejor de ellos para que yo logre ser un buen profesionista y trate de mejorar la profesión la cual es una de las más importantes y productivas de este país.*

*Por ultimo un especial agradecimiento al Ingeniero Martín Ortiz León el cual es uno de mis mejores profesores y al cual le agradezco que haya aceptado llevar a cabo conmigo este trabajo de titulación, sin olvidarme del apoyo de los ingenieros:*

*Ing. Karla Ivonne Gutiérrez Vázquez*

*Ing. Pascual García Cuevas*

*Ing. Patrocinio Arroyo Hernández*

*Ing. Luis Pomposo Viguera Muñoz*

**INDICE**

	Pag.
INTRODUCCIÓN	1
1.- OBJETIVO DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA	5
2.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE	7
Periodo económico de diseño	8
2.1.-CÁLCULO DE LA POBLACIÓN A SERVIR	8
Crecimiento de población	8
Estimaciones para años presentes y pasados	10
2.2.-GASTO DE DISEÑO	15
Factores que afectan el consumo de agua	17
Variaciones en el gasto	18
3.-RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	20
Recopilación de la información	20
Análisis de la información	22
4.- ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN HIDROLÓGICA Y GEOHIDROLÓGICA	26
Precipitación	27
Aparatos de medición de la precipitación	27
Esguerrimiento superficial	29
Aforo de corrientes superficiales	31
Aprovechamiento del agua fluvial	34
Aguas subterráneas	35
Medición del agua subterránea	36

---

5.- ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	39
5.1.- SELECCIÓN DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO	40
Abastecimientos superficiales	40
Abastecimientos subterráneos	43
5.2.- DETERMINACIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO	47
6.-DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL PROYECTO EJECUTIVO	52
6.1.-ESTUDIOS DE CAMPO	53
6.2.- MUESTREO DE LA(S) FUENTE(S)	55
6.2.1.- ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA	57
6.3.- TRABAJOS TOPOGRÁFICOS	58
6.4.- ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS	60
6.5.- PROYECTO DE LA PLANTA	61
6.5.1.-DISEÑO HIDRÁULICO	62
6.5.2.- DISEÑO ARQUITECTÓNICO	64
6.5.3.-DISEÑO ESTRUCTURAL	65
6.5.4.- DISEÑO MECÁNICO Y ELÉCTRICO	66
Bombas	67
7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
ANEXO: ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA	75
Infecciones por bacterias	75
Infecciones por protozoarios	76
Infecciones por virus en el agua	76
Reducción de las infecciones mediante el control de la calidad del agua	80
BIBLIOGRAFÍA	82

### INTRODUCCION

El crecimiento de la población en las ciudades de todo el mundo es un fenómeno que es difícil de controlar y el crecimiento mismo de las ciudades trae como consecuencia que se generen problemas de todo tipo. Uno de los principales es la contaminación en todo el medio ambiente, la falta de recursos suficientes para satisfacer las necesidades principales, problemas de congestionamientos internos, entre muchos otros. Dentro del problema de contaminación del medio ambiente se encuentra el problema de la contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua potable.

El problema de la contaminación del agua es un problema de muy alta importancia en el ámbito mundial, pues este recurso es uno de los más utilizados en la actualidad para satisfacer las principales necesidades de las comunidades, sin embargo, no se le ha dado la importancia que tiene, pues en la mayoría de las comunidades no se hace nada en cuestión de prevención y protección de las fuentes de abastecimiento (lagos, lagunas, ríos, cuencas, etc.)

El agua es utilizada en la mayoría de los países para satisfacer principalmente la demanda de agua para consumo humano, también se utiliza como fuente de energía para mover las turbinas de las plantas donde se genera la electricidad para las principales ciudades, en las industrias se utiliza el agua en algunos de los principales procesos de producción, como en el proceso de enfriamiento en el caso de las empresas que utilizan algún proceso donde se generen altas temperaturas, en procesos de producción de papel se utiliza para la producción de pastas, entre muchos otros usos.

En México se cuenta con una de las redes de ríos más grandes de Latinoamérica, por ello es necesario, para poder hacer una evaluación más precisa de cada una de las cuencas, hacer una división por zonas que comprenden diferentes cuencas dependiendo de la importancia de la zona. Una de las zonas hidrológicas más importantes es la que comprende la zona del valle de México, donde se localizan las principales ciudades del país como lo son la ciudad de México, Toluca, Pachuca y Querétaro por lo cual esta zona es una de las más sobre explotadas en cuanto al aprovechamiento del agua potable, pues si bien se cuenta con los ríos y lagunas de abastecimiento, no se ha hecho mucho en cuanto a la prevención de la contaminación de las fuentes de abastecimiento.

Debido a este problema se han tenido que idear y crear diferentes tipos de mecanismos para tratar de eliminar los contaminantes del agua que se pretende sea usada para el consumo humano, para ello se han realizado diferentes tipos de estudios, como el saber de donde provienen los contaminantes, que tipo de contaminantes son, si es posible remover dichos contaminantes con los métodos actuales, etcétera.

En el caso de México, este problema es más notable en la zona norte donde debido a los cambios climatológicos que se han observado en los últimos años, las principales cuencas de esta zona no han podido recuperarse en cuanto a la recarga de acuíferos, esto aunado a la mala planeación de la utilización de estas fuentes, ha generado que el recurso del agua comience a faltar, con lo cual se han empezado a tomar medidas para tratar de frenar el problema y que en un futuro la utilización del agua se haga de forma adecuada cuidando además que se contaminen al mínimo los principales ríos de las cuencas más importantes del país.

Más específicamente, en el caso de las principales ciudades del país el abastecimiento del agua potable cada vez es más complicado y se está tratando de dar diferentes alternativas de solución, comenzando por ver la forma de prevenir y evitar la contaminación de las fuentes de donde se pretende tomar el agua, que muchas veces son contaminadas por las aguas residuales de las mismas ciudades. Aunado a esto, se encuentra el problema de la conducción del agua, que en algunas ciudades como el Distrito Federal y Toluca, solo es posible por medio de un sistema de bombeo muy complejo, el cual requiere de un mantenimiento constante.

Por este motivo, el tratamiento tanto del agua residual como el agua potable ha tomado gran importancia, como una de las principales estrategias para tratar de revertir, en la medida de lo posible, el problema de la falta del agua para satisfacer las principales necesidades de las comunidades.

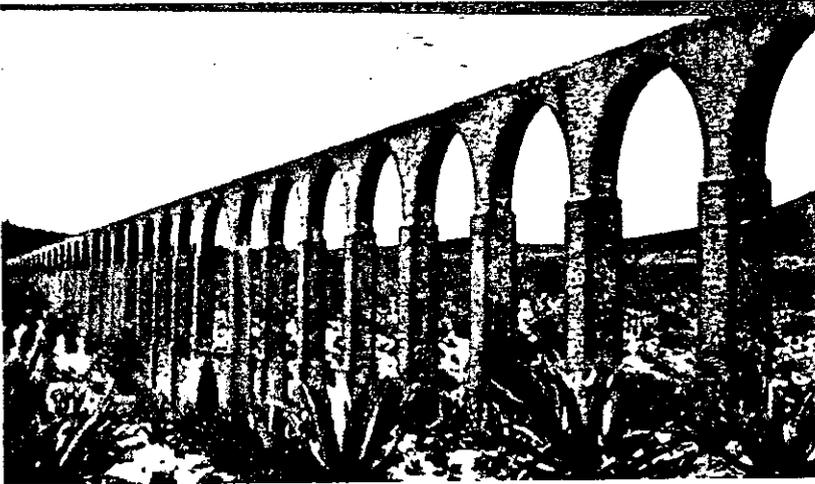
Otro de los estudios importantes es el que se realiza para conocer como se emplea el agua y siendo necesario estimar el volumen, pues en algunos casos el agua que es suministrada no es utilizada en su totalidad, pues debido a las condiciones de las redes de abastecimiento de las ciudades el agua se desperdicia y no es utilizada como se debería. Para ello es necesario que todas las obras de abastecimiento de agua potable tengan un mantenimiento adecuado y constante, para prevenir las posibles fugas y propiciar que las obras duren el tiempo para el que están proyectadas, asimismo al hacer la renovación esta debe ser lo más rápido posible para evitar el desabasto del recurso.

Según estudios que realizó la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, el agua superficial del país se distribuye de la siguiente manera:

Usos	Domestico	14,917
	Público	3,980
	Pecuario	324
	Riego	197,447
	Industrial	19,496
	Hidroeléctrico y otros	366,462
	Suma	602,626 millones de M <sup>3</sup>

De este total de agua suministrada solo un pequeño porcentaje es regresado a los vasos receptores como agua potable y el resto es devuelto en forma de agua residual, lo que ocasiona un desequilibrio en el ciclo hidrológico, contaminándose las fuentes de donde fue tomada el agua, lo cual trae como consecuencia que esta fuente de abastecimiento requiera un tratamiento para que el agua se utilice como potable.

Para determinar las alternativas de solución de tratamiento de agua para uso potable, es necesario contar con "ESTUDIOS BÁSICOS" para establecer los parámetros de diseño y aquellas circunstancias que pudieran afectar la realización del proyecto de la planta de tratamiento. Dentro de esos estudios, es necesario la determinación de la vida útil de la planta, que esta en función de la población que se proyecta sea abastecida por la misma. Es necesario también hacer estudios hidrológicos, para saber si la fuente de donde se pretende tomar el agua es capaz de tener una recuperación razonable.



**Capítulo 1.- OBJETIVOS DE LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA**

El objetivo primordial que se persigue con la potabilización del agua, es que al momento de ser consumida por la población se reduzca al máximo el riesgo de que por medio de ella se puedan transmitir enfermedades contagiosas. Esto se puede lograr implementando un sistema de tratamiento adecuado, que estará en función de los contaminantes que contenga la fuente de donde se pretende abastecer de agua a la población.

Otro de los objetivos, es que el agua cumpla con los límites máximos permisibles que establecen las normas de sanidad actuales, para la prevención de todo tipo de enfermedades que pudieran transmitirse por medio del agua. Todos estos parámetros para establecer la calidad del agua, para que esta sea considerada apta para consumo humano, se establecen en la Ley Federal de Aguas Nacionales y el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, las cuales norman la forma en que el agua debe ser aprovechada.

El agua es potable cuando está libre de gérmenes y de sustancias químicas dañinas. Uno de los factores que hacen que el agua pueda ser considerada como agua potable es controlar la mineralización excesiva de la misma, asimismo se debe observar la cantidad de materia orgánica viviente y muerta dentro del agua.

Las aguas que se encuentran mineralizadas poseen propiedades laxantes, por ejemplo, las aguas que contienen iones de magnesio y sulfatos. Otro ejemplo de aguas con exceso de minerales son las que al agregarles jabón no produce la espuma característica y contaminan en exceso el agua.

El agua con exceso de minerales y sales se conoce como agua dura y puede producir incrustaciones de las propias sales cuando el agua es calentada y evaporada, si se acumulan en exceso dentro de los sistemas de abastecimiento y conducción pueden llegar a tapan las tuberías y en casos extremos provocar la corrosión de los materiales de las mismas debido a su alto contenido de ácidos (cloruros y sulfatos).

Por otro lado el agua necesita algunos elementos minerales para satisfacer los requerimientos para el consumo humano, como por ejemplo, necesitan una cierta cantidad de Fluor y Yodo. Un aspecto importante para la población que va a ser abastecida de agua, es que esta tenga un aspecto agradable para los sentidos (vista, olfato, gusto), es decir, que el agua no contenga ni colores, ni sabores y mucho menos olores que pudiesen provocar que la población no la consuma por el temor a enfermarse.



**Capítulo 2.- DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE**

Para realizar un proyecto de abastecimiento de agua potable que pueda satisfacer a corto y largo plazo la demanda, es necesario contar con información de censos de población, de prospección geohidrológica de la zona, la ubicación de las posibles fuentes de abastecimiento (tanto superficiales como subterráneas), el clima predominante de la zona, la actividad de la población, entre muchas otras consideraciones.

La buena administración y el diseño adecuado de los sistemas de abastecimiento de agua potable, demanda un conocimiento en cuanto a los volúmenes de ingreso, esto es que se tenga un conocimiento amplio sobre los flujos de agua necesarios, para lo cual es necesario conocer la población a servir y el horizonte de diseño de la infraestructura propuesta.

Otro aspecto de importancia es prever el crecimiento de la ciudad o población, para que con el paso del tiempo el sistema de abastecimiento tenga la capacidad de servir a la población futura y evitar problemas de abastecimiento. La demanda en el futuro se ve incrementada a medida que va creciendo la población, en general el consumo por persona se ve aumentado en un décimo del porcentaje del crecimiento de la propia población, por ejemplo, si la población aumenta en un 50%, el consumo por persona aumentará en un 5%.

El diseño de la Planta de Tratamiento para Agua Potable, se deben considerar los siguientes aspectos:

- a) El periodo económico de diseño
- b) La población de proyecto
- c) la caracterización del agua,
- d) la dotación de agua potable que depende de factores como el clima y el número total de habitantes de la comunidad a servir
- e) los gastos de precipitación y escurrimiento superficial, o hidrología de diseño, para los sistemas de captación del agua tanto pluvial como residual.

### **Periodo económico de diseño**

El periodo económico de diseño considera los siguientes factores:

- 1.- La vida útil de las estructuras y equipo componente, tomando en cuenta la antigüedad, el desgaste y el daño a que serán expuestas dichas estructuras.
- 2.- La facilidad o dificultad para hacer las ampliaciones o adiciones a las obras existentes o proyectadas, incluyendo la influencia de la localidad donde se va a construir la obra.
- 3.- La prevención del crecimiento de la población, incluyendo posibles cambios en los desarrollos de la comunidad (industria, comercial, habitacional, etc.)
- 4.- el comportamiento de las obras durante los primeros años de operación en donde las estructuras no están sujetas a su capacidad completa.

En general, las plantas de tratamiento se construyen en forma modular, de tal forma que se busca satisfacer la demanda de agua conforme esta se vaya presentando.

### **2.1.-CÁLCULO DE LA POBLACIÓN A SERVIR**

Para realizar el cálculo de la población de diseño son necesarios los censos de población, que en la mayoría de los países se realizan en forma constante y ordenada. En el caso de México, los censos de población son efectuados cada 10 años y se pueden obtener en el INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFÍA E INFORMÁTICA (INEGI), en cualquiera de sus oficinas del país.

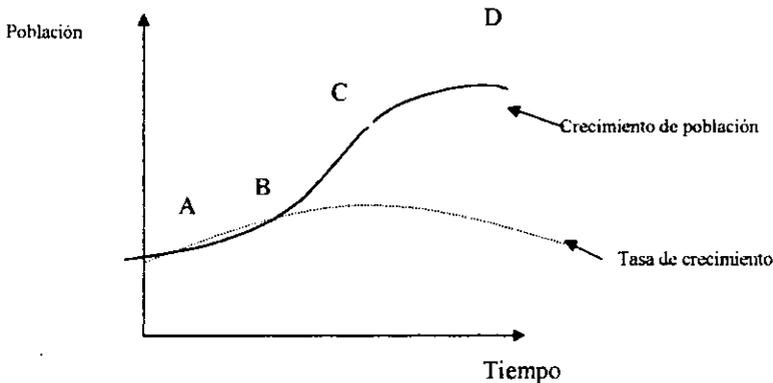
### **Crecimiento de población**

La población de las ciudades crece por la tasa de natalidad y se disminuye por la tasa de mortalidad, también puede crecer o disminuir debido al fenómeno de migración. Estos elementos a su vez se ven afectados por la situación social y económica de la zona o región.

En el caso de México se presenta un fenómeno de emigración hacia los grandes centros urbanos, lo que ocasiona que la población esté concentrada en puntos muy bien definidos, donde al aumentar la densidad de población se generan problemas, entre los que destaca la falta de recursos para satisfacer las necesidades primarias de la propia población, uno de los recursos es el agua potable que es de los elementos fundamentales para que la vida pueda existir.

La curva característica del crecimiento de población tiene la forma de una S y por lo general se presentan en tres etapas de crecimiento según se indica en la siguiente gráfica:

Curva característica del crecimiento de población



De la gráfica se ve que:

AB= Crecimiento temprano con índice creciente. Crecimiento geométrico

BC= Crecimiento intermedio con índice constante. Crecimiento lineal

CD= Crecimiento tardío con índice decreciente. Crecimiento logarítmico

D= Población de saturación

Basándose en esta gráfica se establecen los métodos para hacer las estimaciones de población a futuro para cálculos posteriores.

### **Estimaciones para años presentes y pasados**

Para poder hacer un diseño adecuado de obras de abastecimiento de agua potable y de agua residual es necesario hacer estimaciones de población, las cuales son de dos tipos: las estimaciones de población semianuales para años próximos y pasados recientes y estimaciones de población para periodos de diseño más largos.

Estas estimaciones para años intermedios entre los censos o apreciaciones postcensales a partir del último dato de población. Matemáticamente en estas estimaciones los valores de población se interpolan y extrapolan basándose en datos de los censos de población, sobre la base de un cambio aritmético o geométrico. El crecimiento es de tipo aritmético si el aumento de la población en un intervalo de tiempo es constante e independiente del tamaño de la población. El crecimiento se considera geométrico cuando el aumento de población es proporcional al tamaño de la población.

Para el cálculo de la población existen diferentes métodos numéricos basados en los censos de población, dentro de los más importantes y utilizados están:

- 1.- Método aritmético
- 2.- Método geométrico
- 3.- Método de interés compensado
- 4.- Método de los mínimos cuadrados

Con los métodos anteriormente mencionados, es posible hacer estimaciones de población tanto para años inter censales como para años futuros, con sus debidas consideraciones de comportamiento del crecimiento de la población.

Los métodos para hacer las estimaciones de la población se basan en modelos matemáticos, en los cuales se tomó en cuenta el comportamiento del crecimiento de población.

### Método Aritmético

Para el cálculo o estimación de la población por el Método Aritmético se emplean las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dp}{dT} = k_a$$
$$dP = k_a dT$$

Si el aumento de la población es constante e independiente del tamaño de esta, el crecimiento es de tipo lineal y se puede establecer la siguiente ecuación:

Donde: P es la población y T el tiempo

Integrando entre los límites del último censo (uc) y el censo inicial (ci) se tiene:

$$k = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1}$$

$$y_m = y_2 + k(tm - t_2) \rightarrow \text{poscensal}$$

$$y_{m2} = y_1 + k(tm - t_1) \rightarrow \text{intercensal}$$

Donde:

.ym 1 = Población deseada poscensal

.ym 2 = Población deseada intercensal

.y 1 = Población del censo anterior

.y 2 = Población del censo posterior

.t 1 = Año del censo

.t 2 = Año del censo posterior

tm = Año donde se desea conocer la población

K = Pendiente de crecimiento entre dos censos consecutivos.

### Método Geométrico.

Para el cálculo o estimación de la población por el Método Geométrico se emplean las siguientes ecuaciones:

Si el crecimiento de la población es de tipo exponencial se puede proyectar a partir de las siguientes expresiones:

$$\ln P = \ln P_2 + KG(T - t_1)$$
$$KG = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

Ln P = Logaritmo natural de la población que se desea obtener

Ln P1 = Logaritmo natural de la población del censo anterior

Ln P2 = Logaritmo natural de la población del censo posterior

T = Año de la población que se desea obtener

t1 = Año del censo anterior

t2 = Año del censo posterior

KG = Pendiente de la recta de los censos consecutivos

Para la utilización de este método de estimación es necesario conocer por lo menos tres valores de población, debido a que al hacer la evaluación de KG se requieren por lo menos dos valores de población.

Como se puede ver en el caso del Método Aritmético se usan las poblaciones tal y como se proporcionan, en cambio en el Método Geométrico, se usan los logaritmos naturales de las poblaciones, esta es la principal diferencia entre ambos y en ambos casos los resultados suelen ser confiables, son los más utilizados en México para el cálculo de poblaciones. Estas ecuaciones se basan en las estadísticas de los censos de población para ver el comportamiento del crecimiento.

### Ecuación de interés compuesto

Para calcular o hacer la estimación de la población con la Ecuación de interés compuesto se emplea la siguiente expresión:

$$P = P_0(1+i)^t$$
$$i = \sqrt[t]{\frac{P}{P_0}} - 1$$

Donde:

P = Población de proyecto

P<sub>0</sub> = Población del último censo

t = Número de años de la proyección

i = Tasa de interés (Crecimiento de población).

Es necesario realizar el cálculo de la población de proyecto, cuando menos utilizando tres diferentes métodos. Esto permite comparar las tendencias de crecimiento pronosticadas por cada uno de los métodos. La selección del modelo idóneo estará sujeta al criterio y experiencia del proyectista, el cual tomará en consideración las tasas de crecimiento municipal, estatal o nacional para compararlas con los resultados de los métodos de proyección.

### Método de los mínimos cuadrados

Este método para la estimación de la población se basa en un método numérico y se puede utilizar la siguiente expresión:

Donde las constantes a y b se pueden calcular con las siguientes ecuaciones:

$$y = a + bx$$

$$a = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

$$b = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}$$

Donde:

Y= Población de proyecto

a y b = Constantes de crecimiento de la población

x= Año para el que se requiere hacer la estimación de la población

Este método permite hacer la estimación de la población cuando se tiene una información muy amplia en cuanto al comportamiento del crecimiento de la población.

## **2.2.- CÁLCULO DEL GASTO DE DISEÑO**

Para dimensionar los elementos que componen un sistema de tratamiento de agua potable, es necesaria la determinación del gasto de diseño, pues con este dato se calculan las capacidades de los tanques de sedimentación, aireación, sistemas de cribado, sistemas de bombeo, tanques de cloración así como el tamaño mínimo requerido de las tuberías de conducción.

Las plantas de tratamiento de agua potable son instalaciones que trabajan permanentemente, durante su vida útil, es decir no se puede parar su funcionamiento, ya que de este depende el suministro de agua a la población. Por lo anterior y por las condiciones de diseño de las estructuras, el gasto de proyecto debe ser constante.

En el cálculo del gasto de diseño interviene en forma directa la dotación, para la cual es necesario considerar factores como el clima de población, número de habitantes por servir y el nivel socioeconómico entre otros.

El gasto de diseño para el caso de una Planta de tratamiento de Agua Potable es conocido como GASTO MEDIO el cual no se ve afectado por los coeficientes de variación.

Un factor a tomar en cuenta en el cálculo del gasto de diseño es ver que tanto afecta el estado general del sistema de almacenamiento, de conducción y distribución con el que se cuenta, para garantizar que el gasto de diseño sea constante y no se tengan problemas a corto y largo plazo en este aspecto. Este posible problema se puede prevenir si a la infraestructura hidráulica existente se le da un mantenimiento constante y adecuado.

Para determinar el Gasto de Diseño se tienen las siguientes expresiones:

$Q_m$  = Gasto medio

$Q_{md}$  = Gasto máximo diario

$Q_{mh}$  = Gasto máximo horario

Donde:

$$Q_m = \frac{\text{dotacion} * \text{poblacion}}{86400\text{seg}}$$

$Q_{md} = Q_m * C_{vd}$

$Q_{mh} = Q_m * C_{vd} * C_{vh}$

El gasto medio está dado en litros por segundo (l/seg.)

La dotación de agua considerada en esta expresión suele ser tomada de tablas previamente establecidas por las autoridades encargadas del suministro de agua como lo son la CNA (Comisión Nacional del Agua) y la DGCOH (Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica)

Definiendo cada termino de las expresiones anteriores:

$C_{vd}$ .- Coeficiente de variación diaria; son variaciones que se presentan durante el año y se deben considerar para evitar el desabasto en los días de mayor consumo. Para el D.F. y el valle de México se considera un valor de  $C_{vd} = 1.5$ .

Cvh.- Coeficiente de variación horaria; es un coeficiente que se utiliza para absorber las variaciones que se presentan cuando a determinadas horas del día el consumo aumenta considerablemente. Este coeficiente fluctúa entre 1.3 y 1.8 pero para el D.F. y el valle de México se considera  $Cvh = 1.5$ .

### **Factores que afectan el consumo de agua**

En el caso del consumo de tipo doméstico, las temperaturas extremas aumentan el consumo de agua; los climas calientes y áridos también son un factor para el aumento del consumo de agua potable, en el caso de zonas donde el nivel de vida es elevado, el consumo de agua es igualmente elevado, pues en estas zonas se cuenta con varios cuartos de baño, lavanderías, grandes jardines (los cuales la mayoría de las veces se riegan con agua potable), se lavan los automóviles con el agua potable, etc.

En el caso del consumo de tipo comercial e industrial, alguna empresas, hoteles, hospitales y establecimientos comerciales, emplean demasiada agua para los diferentes procesos que se llevan a cabo, también está el caso de las cervecerías, empacadoras, lavanderías, fabricas de papel y fabricas de acero, por mencionar algunos ejemplos.

En general, los suministros públicos se seleccionan preferentemente cuando el agua que se obtiene es limpia y clara, de buen gusto e indudablemente segura para fines de abastecimiento potable. Cuando el agua es blanda, para las operaciones de lavado y satisface las necesidades de las industrias es un agua considerada como de buena calidad.

Otro factor que influye notablemente en el consumo y demanda del agua es que en la mayoría de los casos los sistemas de abastecimiento se encuentran en malas condiciones y se generan gran cantidad de fugas de agua en las propias redes, lo cual ocasiona que el agua se desperdicie y en ocasiones es imposible cuantificar la cantidad de agua que se desperdicia por esta causa.

### **Variaciones en el gasto.**

Las variaciones en el consumo de agua se ven afectadas por el clima, pues mientras que en un lugar templado el consumo de agua es razonablemente moderado, en un lugar árido o seco el consumo de agua aumenta debido a que se usa el agua para sistemas de enfriamiento, satisfacer la sed de las personas, para el riego de los cultivos, etc.

El consumo de agua cambia con las estaciones, los días de la semana y las horas del día. Existen máximos de estación durante la época de calor y la sequía del verano, cuando se consumen grandes volúmenes de agua para satisfacer las principales necesidades de la población. Ocurren máximos de estación durante el frío en el invierno, cuando se deja correr agua dentro de los sistemas de drenaje para evitar que se congelen y cuando existen fugas producidas por la contracción de los materiales de las tuberías de los sistemas de abastecimiento del agua.

Las variaciones de día a día reflejan el comportamiento de las actividades doméstica e industrial, por ejemplo, los domingos que son días en los que la mayoría de las empresas no trabajan la demanda del agua disminuye considerablemente.

Otro factor que influye en el consumo de agua anual es que existen temporadas donde no se requiere demasiada agua, estas temporadas pueden ser las vacaciones donde la mayoría de la gente sale fuera de las ciudades con lo cual el consumo de agua se ve disminuido. Por el contrario, cuando existe algún evento o actividad muy importante toda la gente se concentra en una ciudad por varios días y en consecuencia el consumo de agua potable aumenta significativamente.

Asimismo durante el día el consumo también es afectado pues en las ciudades sobre todo, existen horas en las que la mayoría de la gente utiliza el agua para su aseo personal, para actividades de limpieza, el consumo humano también aumenta durante ciertas horas, por lo tanto es necesario prever este tipo de variaciones que se tienen en el gasto con el cual se pretende diseñar el sistema de abastecimiento de agua potable.

## Capítulo 2.- Determinación de la demanda de agua potable

Por este motivo se aplican los coeficientes de variación para tratar de prevenir de alguna manera las variaciones y que el volumen calculado pueda absorber estas variaciones. En el caso de la República Mexicana se cuenta con los coeficientes de variación diaria y horaria (Cvd y Cvh).

Considerando todos estos aspectos existen tablas establecidas para saber la dotación de agua de acuerdo a climas, número de habitantes y usos del agua, que son normalmente utilizadas. Estas tablas se muestran a continuación:

**Tabla 2.1.- Dotaciones según el número de habitantes y el uso del agua  
(lts./hab./día)**

Usos	Menos de 5000 habitantes			5000 a 15000 habitantes			15000 a 50000 habitantes			50000 a 200000 habitantes		
	Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima	Minima	Media	Maxima
Doméstico	35	60	90	60	90	120	90	120	150	120	150	180
Comercial Industrial	10	15	23	15	23	30	23	30	35	30	35	40
Público	12	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
Perdidas	3	5	7	5	7	10	7	10	15	10	15	20
Sumas	60	100	150	100	150	200	150	200	250	200	250	300

**Tabla 2.2.- Dotaciones según la Secretaría de Salubridad y Asistencia  
Dependiendo del clima y de la población (lts./hab./día).**

Población	Tipos de clima				
	Frio	Templado	Semiárido	Cálido	Casos especiales
500 a 1000	100	100	100	110	120
1001 a 1500	100	100	110	130	150
1501 a 2000	110	120	130	150	180
2001 a 3000	120	140	150	180	200
3001 a 5000	140	160	180	200	250
Más de 5000	150	180	200	200	300

**Capítulo 3.- RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN**

**Recopilación de la información**

La información que es necesaria para poder realizar con éxito el proyecto de una Planta de Tratamiento de Agua Potable se debe obtener de las dependencias de gobierno, por estudios realizados anteriormente sobre el tema, etc. Toda esta información recabada es necesario que sea organizada y analizada para determinar que es lo que se puede utilizar para dar posibles alternativas de solución para el problema que representa el abastecer de agua a cierta ciudad o población ya establecida.

La información documental se obtiene de fuentes como oficinas de gobierno, bibliotecas, archivos generales, etc. Dentro de esta información se encuentran:

a) Censos de población.- Como ya se había mencionado, estos censos de población se obtienen del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Información (INEGI), el cual es una institución donde se puede obtener toda clase de información relacionada con los recursos naturales del país, así como información sobre aspectos socioeconómicos de la población de acuerdo a sus edades, sexo, zona geográfica, actividades de la población, etc.

En cuanto a la información relacionada con el aspecto de los recursos hidráulicos, esta se puede obtener de las dependencias de gobierno encargadas del estudio y administración de este tipo de recursos, en el caso de México estas dependencias son la Comisión Nacional del Agua (CNA) y la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), en las cuales se tiene la información en cuanto a las demandas, disponibilidad de algunas zonas geográficas del país, el control de las presas, la localización de las principales cuencas hidrológicas del país, etc.

b) Información climatológica.- Esta se obtiene de los diferentes centros que se encuentran distribuidos en todo el territorio nacional en los cuales se recauda información sobre temperaturas máximas y mínimas, temporadas de mayor precipitación, zonas propensas a sufrir sequías, zonas con riesgos de inundaciones, información sobre los principales causes del país, etc. Esta información es muy importante pues con ella se puede tener una idea de cual es la dificultad del abastecimiento de agua para una población determinada.

c) Planos topográficos, geológicos, hidrológicos y edafológicos de la zona.- Con estos planos, que se pueden obtener en el INEGI, se puede observar si existen problemas en cuanto a la topografía para saber si la posible fuente de abastecimiento es adecuada y si es posible evitar la utilización de un sistema de abastecimiento por bombeo, también se debe observar si el material de la zona no es muy agresivo para las estructuras que componen el sistema de tratamiento, los planos hidrológicos sirven para determinar cual es el punto más conveniente para realizar las obras de almacenamiento, captación y de toma del agua para llevarla hacia el sistema de potabilización para su posterior distribución.

d) Nivel económico de la población.- Esta información es muy importante pues dependiendo del nivel económico de la comunidad donde se pretende establecer la planta de tratamiento de agua potable, se ve el tamaño, cantidad y calidad de la misma, por otra parte si el nivel económico es bajo se debe tratar de dar una alternativa de solución que sea eficaz y al mismo tiempo no sea demasiado costosa para que el financiamiento del proyecto pueda ser viable en esta comunidad.

La información que no sea posible obtener porque no se cuenta con ella, es necesario obtenerla por medio de visitas a campo, en las cuales se puede obtener dicha información para la realización del proyecto. Esta información puede ser:

a) Realizar una inspección de los posibles sitios donde se colocarán los diferentes tipos de estructuras de toma, de captación o de almacenamiento del agua. Al mismo tiempo se debe observar si el acceso tanto de personal como del equipo es fácil o se tienen que crear los mismos.

b) Hacer una verificación de las condiciones climatológicas del lugar para confirmar si la información obtenida es confiable para los cálculos y suposiciones que se hagan posteriormente. Esto se hace con visitas a las estaciones donde se miden las precipitaciones, temperaturas, condiciones de los aparatos de medición, etcétera.

c) Hacer un levantamiento topográfico para establecer las condiciones reales de desniveles entre el punto que se eligió para colocar la obra de toma hasta el punto donde se va a descargar el agua para su entrada a la planta de tratamiento, esto se hace con el fin de elegir la mejor opción para colocar la obra de toma y de conducción para evitar en la medida de lo posible la utilización del bombeo y si no es posible ver cual es la forma en que este sea lo menos necesario posible.

Un aspecto que influye en la selección de las posibles fuentes de abastecimiento es el aspecto de la calidad del agua, la cual depende de un estudio muy detallado de los componentes de la misma, pues dependiendo de los resultados de los análisis de las muestras de agua se determina si es posible utilizar esta fuente o si es necesario dar un tratamiento para que el agua pueda ser utilizada para consumo humano o si no es posible usar esa agua debido al exceso de contaminación en ella.

Toda esta información se debe clasificar de acuerdo a importancia, fechas de obtención, lugares donde se obtuvo, para que en un momento determinado sea lo más rápido posible y fácil, el manejo de dicha información para los análisis correspondientes en cada caso que se presente.

#### **Análisis de la información**

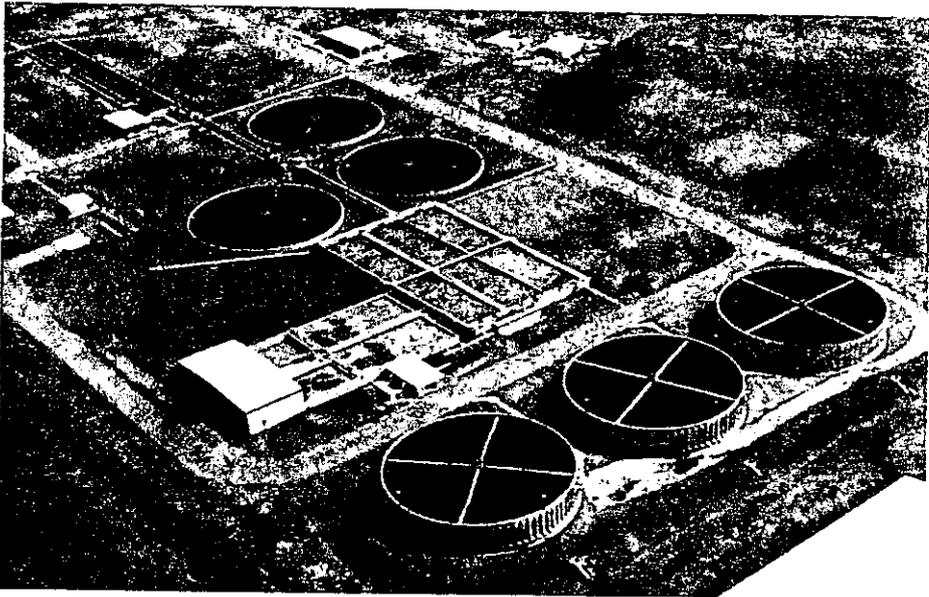
En la ingeniería hidráulica, ningún problema es igual a otro, por consiguiente no existe una sola solución igual para dos problemas diferentes, por lo cual al estudiar un problema en particular de un abastecimiento de agua potable, es necesario estudiar cada caso tomando en cuenta desde la selección de la fuente de abastecimiento hasta la distribución final del agua.

Para designar la fuente de abastecimiento para el caso que se este tratando es necesario hacer los estudios de prospección tanto hidrológica como geohidrológica, para saber si la fuente es capaz de recuperarse para que el abastecimiento de la comunidad no se vea afectado durante el periodo de diseño considerando en la proyección del sistema de abastecimiento.



Una vez que se ha realizado el estudio hidrológico y geohidrológico, se puede ver de entre varias alternativas cual es la fuente más conveniente para el caso y se observa cual es el lugar más adecuado, dentro de la propia fuente, para realizar las obras de toma de agua. Si se cuenta con los levantamientos topográficos del lugar se determina cual es el trazo más conveniente para realizar las obras de conducción del agua, de la fuente de abastecimiento hacia la planta para purificarla, tomando en cuenta el aspecto del desnivel para tratar de evitar en lo posible la utilización de equipos de bombeo.

Dependiendo del espacio disponible para realizar todos los componentes de la planta de tratamiento, se determina el tren de tratamiento, el cual depende de los resultados que se realicen al agua por medio de muestreos que son llevados al laboratorio y se les realizan estudios para determinar sus características tanto físicas como químicas. Con los resultados de estos estudios se determina si es necesario la utilización de tanques de sedimentación, desarenadores, rejillas, sistemas de cribado, tanques de aireación, tanques de cloración, etc. En ocasiones no es necesario usar todos los diferentes procesos, lo cual reduce el tamaño de la planta y el costo de la misma.



Un aspecto importante es el de conocer la topografía del lugar donde se colocará la planta de tratamiento, pues en ocasiones debido a la ubicación de la fuente de abastecimiento, la entrada del agua se ve obligada a ubicarse en un cierto lugar lo que puede traer problemas de que los desniveles estén en contrasentido del flujo lo cual puede hacer que se tenga que utilizar obligadamente un sistema de bombeo para pasar el agua de un tanque a otro.

Si es posible se debe tratar de aprovechar el desnivel para evitar la utilización de bombeo dentro del conjunto de tanques que conforman el sistema de tratamiento.

Con la información obtenida de los censos de población se puede determinar la demanda de agua que se tiene que cubrir y se ve si es posible con el sistema propuesto satisfacer dicha demanda. El tamaño de los tanques que se tengan que construir depende del gasto de diseño que a su vez depende de la población total a servir lo cual nos da una idea de lo importante que es el correcto cálculo o estimación de la población a servir.

El análisis de toda la información que intervenga en la realización del proyecto de la planta de tratamiento de agua potable, se debe hacer de manera conciente y detenida para tratar de evitar que hasta el más mínimo detalle sea tomado en cuenta para que la decisión final sea la correcta a criterio del grupo encargado de esta decisión.

#### **Capítulo 4.- ESTUDIOS DE PROSPECCIÓN HIDROLÓGICA Y GEOHIDROLÓGICA**

Al comenzar a resolver un problema relacionado con el agua es necesario que se definan claramente los objetivos que se pretenden cubrir con este proyecto, para ver cual es su factibilidad en ese momento. Para lograr lo anterior es necesario que se realicen lo que se conoce como estudios de prospección hidrológica y geohidrológica, los cuales se efectúan para tratar de saber de alguna forma si los recursos hidráulicos con los que se cuenta actualmente serán los suficientes en un futuro para satisfacer las necesidades que se pretende sean cubiertas por los sistemas que se están proyectando para tal fin.

Para poder realizar correctamente este tipo de estudios es necesario tener un conocimiento de lo que es la hidrología y sus alcances en este tipo de proyectos. La hidrología es la ciencia que trata del agua y de su presencia en sus diferentes estados, incluye el estudio del movimiento del agua hacia el mar por la superficie de la corteza terrestre y por medio de la infiltración hacia el subsuelo, la transpiración de la vegetación y la evaporación del propio suelo y en la superficie del agua, de nuevo hacia la atmósfera a partir de la cual se comienza el ciclo hidrológico.

A los ingenieros encargados de las obras de tipo hidráulicas les interesa la hidrología puesto que el agua para los abastecimientos proviene de las corrientes, embalses y pozos que se alimentan directa e indirectamente por medio de las precipitaciones. También es importante conocer los caudales máximos y mínimos de las corrientes, el volumen total de las mismas para los periodos normales de las avenidas y sequías pues con estos datos se diseñan y proyectan todo tipo de obras como: obras de protección, de conducción, de almacenamiento, de toma, de tratamiento, de distribución, entre muchas otras.

Para estar en condiciones de hacer un balance hidráulico de una zona determinada deben tomarse en cuenta tres factores, la precipitación, la evapotranspiración y el escurrimiento superficial, suponiendo que para periodos de tiempos largos, el almacenamiento del agua permanece constante.

### **Precipitación**

La precipitación, en forma de lluvia principalmente, es un factor esencial en el ciclo hidrológico y repercute en forma importante en la disponibilidad de agua en las diferentes regiones hidrológicas del país. La precipitación se mide regularmente en unidades de longitud, normalmente pulgadas o milímetros, que corresponden a la altura de la columna de agua que se acumula sobre una superficie permeable y plana de modo que el agua no pueda infiltrarse o desplazarse. Este espesor de la columna de agua expresa la cantidad de agua precipitada en un periodo preciso de tiempo el cual puede ser meses, días, años, etc.

Las estaciones hidrológicas cuentan con pluviómetros, que miden la precipitación que se recibe en una superficie de dimensiones constantes que recoge el agua en un recipiente graduado en las unidades de precipitación más usuales para la precipitación. También se utilizan los pluviógrafos que registran la precipitación en un tiempo determinado y lo transmiten por vía telefónica a una central donde se procesa la información de todas las estaciones de la región.

### **Aparatos para medir la precipitación**

Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en la parte superior, en el cual se recoge el agua que se produce por las precipitaciones, registrando la altura alcanzada por el agua. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo al registro de las precipitaciones en pluviómetros y pluviógrafos.

**Pluviómetro.-** Consiste en un recipiente cilíndrico de la lamina de aproximadamente de 20 cm. de diámetro y 60 cm. de altura. La tapa del cilindro es un embudo receptor, el cual se comunica con una probeta de sección de 10 veces menor que la tapa. Este diseño permite que se tenga una aproximación de hasta décimos de milímetros, ya que cada centímetro medido dentro del pluviómetro representa un milímetro en altura de lluvia. La lectura del contenido de estos aparatos se realiza cada 24 hrs.

Pluviógrafo.- Por medio de este tipo de aparatos se lleva un registro de altura contra tiempo. Los más comunes son de forma cilíndrica y el embudo receptor está ligado a un sistema de flotadores, que originan el movimiento de una aguja sobre un papel registrador montado sobre un sistema de reloj, como el papel registrador tiene un rango en cuanto a la altura de registro, una vez que la aguja llega al borde superior automáticamente se regresa al borde inferior y sigue registrando la altura de la lluvia. Utilizando un pluviógrafo se conoce la intensidad de la precipitación, que se define como la altura de precipitación entre el tiempo que ocurre esta.

Los registros de los pluviómetros se pueden transformar y obtener con base en ellos el histograma de las diversas tormentas medidas. El histograma es una gráfica que indica la variación de la altura de lluvia o de su intensidad con respecto al tiempo, el cual es un parámetro que es fijado de acuerdo a la conveniencia del estudio que se este realizando.

En el caso de la República Mexicana se cuenta con 94 estaciones hidrométricas de donde se obtiene la información necesaria para poder mostrar la existencia de una estación lluviosa que por lo general va de los meses de Mayo a Octubre. Durante este periodo de tiempo en algunas de las estaciones se registra una precipitación equivalente al 90 % de la precipitación media anual que se presenta en dichas estaciones hidrométricas.

La precipitación mínima, que puede llegar a ser nula, se presenta durante el periodo de Febrero a Abril, y en ocasiones se prolonga hasta el mes de Mayo. Como excepción en los meses de Julio y Agosto se observa una notable disminución de las lluvias tanto en la planicie costera del Golfo de México como en la altiplanicie. A este periodo seco y caluroso se le denomina "Canícula".

Por otro lado, existen zonas en el país en las cuales la precipitación media anual es relativamente baja (menos de 400 mm.), como es el caso de la península de Baja California, la costa de Sonora y la mesa del norte, en donde la sequía se presenta prácticamente todo el año.

La precipitación media anual en la República Mexicana es de unos 750 mm que equivalen a 1.5 billones de metros cúbicos de agua; si el escurrimiento superficial es de 410 mil millones de metros cúbicos, la diferencia, es decir, un 72 % de la precipitación corresponde a la evapotranspiración.

### **Escurrecimiento superficial**

El escurrimiento superficial es el agua que corre a través de las corrientes que se generan debido al relieve de la República Mexicana, estas corrientes son agrupadas en lo que se conoce como zonas hidrológicas, las cuales son un total de 37 regiones hidrológicas, esta división la ha hecho la CNA para hacer más eficaz la administración de los recursos hidráulicos.

Los ríos de México están agrupados en tres principales vertientes dependiendo de la zona donde descargan sus caudales; el Océano Pacífico y Mar de Cortés al oeste, el Golfo de México y el Mar Caribe al este y las vertientes interiores.

La vertiente del Pacífico origina corrientes rápidas y cortas debido a la cercanía de la Sierra Madre Occidental con la costa, con las excepciones del río Lerma-Santiago y el río Balsas. Los ríos más importantes de la vertiente occidental son: el río Colorado, el Fuerte, el Sinaloa, el Culiacán, el San Lorenzo, el Piaxtla, el Presidio, el Baluarte, el Acajoneta, el Lerma-Santiago, el América, el Coahuayana, el Balsas, el Papagayo, el Verde y el Tehuantepec.

En la vertiente oriental se cuenta con los siguientes ríos: el Bravo del Norte, el Pánuco, el Tuxpan, el Cazonés, el Tecolutla, el Nautla, el río La Antigua, el Jalapa, el Papaloapan, el Coatzacoalcos, el Grijalva, y el Usumacinta (estos últimos son de los más caudalosos del país).

En las cuencas interiores se encuentran los siguientes ríos: el Casas Grandes, el Santa María y el de La Candelaria. Aunque sus caudales son mucho menores a los de la mayoría de los ríos de las cuencas exteriores, estos ríos constituyen un elemento de importancia en la disponibilidad del recurso hidráulico.

Existen controversias con respecto al volumen medio anual de escurrimiento superficial por los ríos de la República, pues mientras que unas fuentes reportan 360,000 millones de metros cúbicos, otras citan 410,000 millones de metros cúbicos. De acuerdo con los primeros datos, casi el 60 % de este caudal es aportado por siete ríos; Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Coatzacoalcos, Panuco, Balsas y Lerma-Santiago, sin embargo, el área de la cuenca que rodea a estos ríos es de 530,310 Km. lo que representa el 27 % de la superficie del país, lo que indica que el recurso hidráulico se concentra en esta superficie.-



### **Aforo de corrientes superficiales.**

La ecuación para el escurrimiento del agua a través de la sección transversal de una corriente puede escribirse como:

$$Q = AV$$

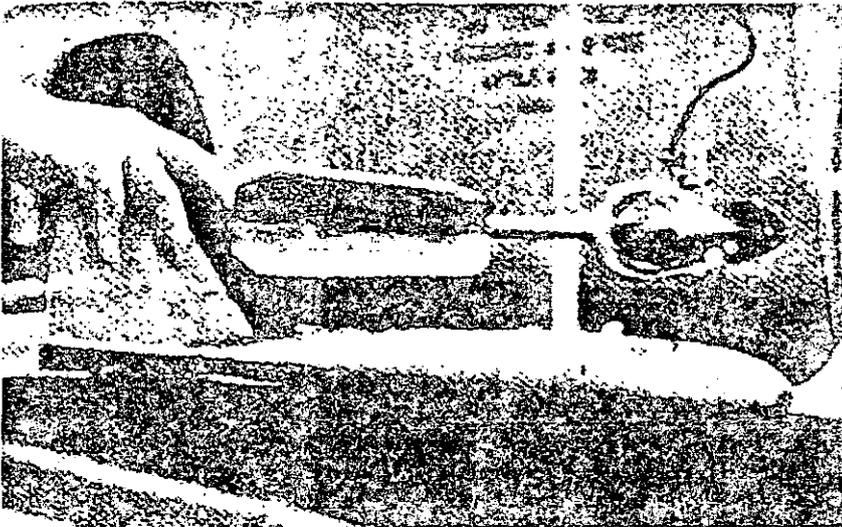
En donde Q es la cantidad de escurrimiento o gasto, A es el área de la sección transversal de la corriente en el lugar elegido y V la velocidad media de la corriente.

El principal dato que se debe obtener para poder calcular la cantidad de escurrimiento utilizando la ecuación anterior es la velocidad de las corrientes de los ríos del país.

La forma más simple de medir la velocidad de un río es, arrojar un pedazo de madera o flotador a la corriente y medir el tiempo de su recorrido conforme se desplaza entre dos puntos separados por una distancia conocida. Sin embargo la utilización de los flotadores ha demostrado que las mediciones no son consistentes y que no existe una relación fija entre el desplazamiento del flotador en cualquier intervalo particular de tiempo y la velocidad media de la corriente.

Otro elemento utilizado para obtener la velocidad de las corrientes es el tubo Pitot el cual se usa para hacer una distribución de los aforos a lo largo de la sección transversal de las corrientes. Conociendo la velocidad de muchos puntos, puede obtenerse un promedio ponderado de ella y determinarse el escurrimiento.

Otro de los métodos para medir las velocidades es el Molinete, el cual consiste en un impulsor pequeño de tipo tornillo igual al de los motores fuera de borda y que va conectado a un contador que marca cada revolución del Molinete. El Molinete de tipo Price tiene en lugar de propulsor una rueda horizontal cuyo perímetro consta de cierto número de copas que equivalen al pequeño impulsor del primer molinete. El aforador mediante el empleo de cronómetro determina las revoluciones por minuto y empleando una curva de calibración se puede calcular la velocidad del agua en el punto de muestreo.



Una de las principales dificultades de la medición de las velocidades de las corrientes es que estas están subiendo y bajando en forma dinámica y rara vez son constantes en su nivel y esto hace que la variación de velocidades sea notable durante el período de aforo y los errores de medición son muy considerables.

Para poder determinar el gasto de las corrientes de los ríos es necesario conocer las velocidades en los cauces y el área de la sección transversal del río, esto último en ocasiones es muy difícil de poder realizar en campo por lo cual se ha tenido que idear alguna forma de determinar esta área transversal. Comúnmente se trata de encontrar una sección de control la cual en ocasiones es creada para poder colocarla en la corriente y conociendo el área de la sección de control se puede determinar el posible gasto que puede pasar por esta sección.

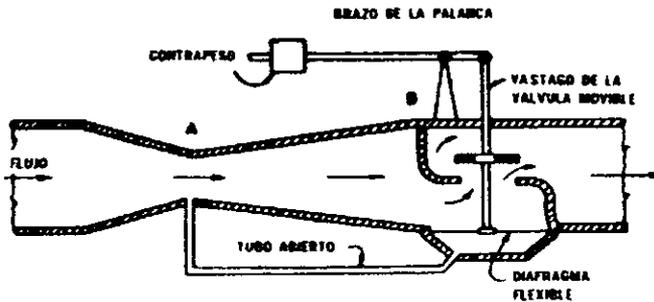


FIG. 10. REGULADOR DE FLUJO

### **Aprovechamiento del agua fluvial**

El aprovechamiento de agua fluvial comprende: el control de las corrientes mediante obras de protección contra las posibles inundaciones, encauzamientos y drenajes; la generación de energía eléctrica, el abastecimiento de agua potable, el abastecimiento de agua para las industrias y servicios municipales, el riego, la navegación y los usos recreativos.

De una disponibilidad potencial de 410,021 millones de metros cúbicos en 1970 se aprovechaban 115,000 millones, para 1980 el consumo ascendió a 200,000 millones, con las tendencias que se tienen se puede suponer que para el año de 2010 el consumo de agua sea de 350,000 millones de metros cúbicos al año.



En algunas de las regiones en que está dividido el territorio nacional el balance de agua es muy desfavorable, el caso más notable es el de la región del Valle de México, que comprende al Distrito Federal y parte de los estados de Hidalgo y México, en donde el déficit rebasa el 100 % y si se sigue con el comportamiento actual este déficit será de cerca del 450 %, asimismo en la región de la península de Baja California se presentan déficits alarmantes.

Por otro lado existen regiones en donde se cuenta con un balance hidráulico favorable que se puede decir que será suficiente para satisfacer la demanda de agua en por lo menos 20 años, este es el caso de la región de la península de Yucatán y el estado de Quintana Roo.

Para observar con mayor claridad este aspecto de la disponibilidad de agua la CNA presenta una gráfica donde se puede ver la disponibilidad del recurso por región que es la división que tiene la CNA. Esta gráfica se muestra en la siguiente página.

#### **Aguas subterráneas.**

Hasta ahora se han identificado en el país 459 acuíferos, los cuales reciben una recarga natural de 48 km<sup>3</sup> anuales y una recarga inducida, en las zonas de riego, estimada en 15 km<sup>3</sup>, lo que da un total de 63 km<sup>3</sup>. La extracción promedio anual en estos acuíferos se calcula en 24 km<sup>3</sup>, a través de aproximadamente 140 mil aprovechamientos subterráneos.

El mayor número de acuíferos se encuentra en el nordeste del país, pero los que reciben mayor recarga están en el sudeste, por lo cual tienen una disponibilidad mayor de agua. De hecho, e excepción del sudeste, existen en general problemas de disponibilidad porque las recargas de agua son menores a las extracciones; las regiones en donde la situación es más severa son la región norte y la del Valle de México, donde el balance en la disponibilidad de agua subterránea es negativo.

Por otro lado, la mayor extracción de agua se realiza en las regiones del Lerma-Balsas, noreste y norte, en las cuales la mayor cantidad de acuíferos presentan una sobreexplotación. A nivel nacional se han identificado 80 acuíferos con más de 20 % de sobreexplotación, de los cuales la mitad se localiza en las regiones noreste y norte del país.

Esta sobreexplotación ha provocado problemas de intrusión marina en los acuíferos de Baja California, Baja California Sur, Sonora y Veracruz, los mismos problemas de aumento de concentración de sales en los acuíferos de Durango, Aguascalientes y Coahuila. Por otra parte, las descargas de aguas residuales han contaminado los acuíferos de Aguascalientes, San Luis Potosí, Hidalgo, Guanajuato y Yucatán entre otros estados de la república.

#### **Medición del agua subterránea.**

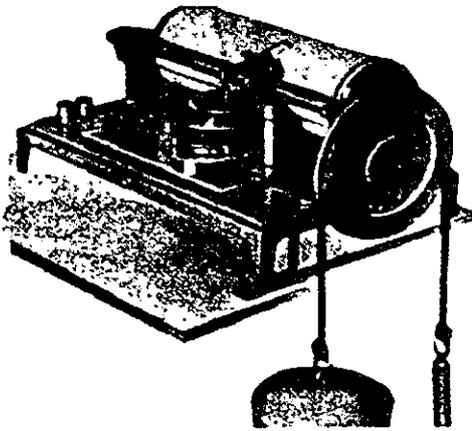
En el estudio de la presencia y movimiento del subsuelo, se tiene el interés en dos tipos de aforos o mediciones; el nivel del agua (o presión) y el gasto de descarga. Cuando la profundidad es menor de 60 mts el camino más común y conveniente para la medición de este tipo de niveles, es marcar con gis el primer metro de una cinta métrica y bajar el extremo de esta dentro de un pozo hasta llegar debajo de la superficie del agua. Una marca de 30 cm. aproximadamente se baja lentamente hasta el punto de medición. Después se enrollan las cintas y se hace una diferencia de alturas entre la marca con gis y la segunda cinta que se bajo para obtener la profundidad del agua.

Con este procedimiento por lo general se realizan varias lecturas para poder determinar por medio de un promedio aritmético una profundidad promedio de la capa de agua.

Para estudios intensivos de las condiciones del agua en el subsuelo, las mediciones individuales se pueden sustituir por el registro proporcionado por un registrador automático de niveles del agua. Este dispositivo generalmente es un mecanismo activado por un flotador que hace girar un tambor en proporción con el cambio o fluctuación en el nivel del agua. Al mismo tiempo, una maquinaria de reloj acciona una plumilla sobre una gráfica agregada a la superficie del tambor. Por lo tanto, en cualquier instante la plumilla registrará tanto el tiempo como el nivel del agua simultáneamente.

Con estos datos se puede analizar el comportamiento del acuífero para una posterior revisión tomando en cuenta el tiempo en que ocurren las variaciones del nivel del agua.

Este aparato se llama Limnigrafo y puede producir gráficas por semana y es accionado por un reloj de cuerda para ocho días. Por lo tanto se puede obtener información con gran variedad de intervalos para el registro, que puede variar desde una hora hasta un mes, simplemente cambiando el dispositivo de engranaje para disminuir o aumentar el intervalo de los registros dependiendo del tiempo en que se vaya a hacer el estudio.



Cuando se sabe que el nivel del agua subterránea es de gran profundidad, se utiliza un indicador eléctrico del nivel del agua que esta compuesto de una pila o acumulador, un voltímetro, un cable de hilo calibrado y un electrodo. Cuando se sumerge el electrodo en el agua, el circuito entre los dos alambres se completa y el voltímetro produce una señal para indicar el paso de la corriente. La profundidad del agua se lee entonces directamente por las calibraciones encontradas sobre le mismo cable. Este dispositivo es también útil en pozos que están humedecidos por la condensación o que tienen agua que se filtra de las columnas de las bombas y por lo tantota utilización de medición con cinta son prácticamente imposibles.

Otro método de medición de los niveles del agua, utilizado principalmente en pozos en donde se está produciendo el agua, es el llamado "método de la línea de aire". Cuando se instala la bomba en el pozo se agrega un tubo de cobre o de acero al extremo de los tazonos de la bomba, después, cuando se baja la bomba, se agrega una línea de tubería para que la columna de descarga de la propia bomba tenga en paralelo un tubo de  $\frac{1}{4}$  de plg de acero. En la superficie del terreno este tubo va conectado a una bomba de un compresor de aire con un manómetro instalado en la línea. Se bombea el aire al tubo hasta que el manómetro marque la presión máxima, lo cual indica que la presión dentro del tubo es igual a la presión del agua en el pozo a la salida del tubo. Conociendo los niveles se puede calcular y obtener las lecturas de las presiones y calcular la profundidad hasta el nivel del agua.

Las mediciones del gasto de descarga del agua subterránea se llevan a cabo con una gran variedad de dispositivos, la mayoría de estos se diseñan para medir el gasto de agua que pasa por las tuberías, dentro de los cuales se encuentran vertedores, medidores de impulso o propelas, tubos Vneturi, medidores de gasto de sonido y magnéticos así como el medidor tipo Parshall.

### **Capítulo 5.- ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS.**

Las alternativas para dar solución al problema que representa el abastecimiento de agua potable a una determinada población, deben ser analizadas para tomar la decisión más apropiada para cada caso y esto se hace tomando en cuenta, como ya se menciono anteriormente, todos los posibles factores que influyen en cada caso que se puede presentar.

Las alternativas de solución para este problema deben cumplir con las expectativas que se pretende cumplir con este tipo de infraestructura, es decir, que las alternativas que se presenten deben ser viables tanto económicamente como técnicamente, dependiendo de las circunstancias que rodeen al proyecto de la planta de tratamiento.

Uno de los principales aspectos a considerar para decidirse por una de las opciones es el aspecto de la certeza de que la opción que sea elegida pueda dar una cierta confianza de que cumplirá con los objetivos establecidos, como lo son, que el abasto de agua sea constante, que la vida útil de las estructuras sea conservada mediante un correcto mantenimiento, que la planta de tratamiento tenga la opción de ampliarse o modificarse posteriormente a su construcción, que los equipos seleccionados sean los adecuados para satisfacer la demanda de agua, que la alternativa seleccionada sea, en la medida de lo posible, la más sencilla en su proceso constructivo.

Para poder lograr lo anterior, se deben tomar en cuenta la zona geográfica del país, pues como se vio en el capítulo anterior, en algunas zonas en que la CNA a dividido al país, se tienen problemas con el aspecto de la disponibilidad de agua potable, un caso que es notable es el caso del Valle de México, en donde se encuentran las ciudades de mayor índice de aumento de población como lo son: la ciudad de México, Toluca y Pachuca.

Por ello es importante que la selección de la fuente de abastecimiento sea la adecuada para tratar de que el sistema de abastecimiento trabaje y se comporte correctamente.

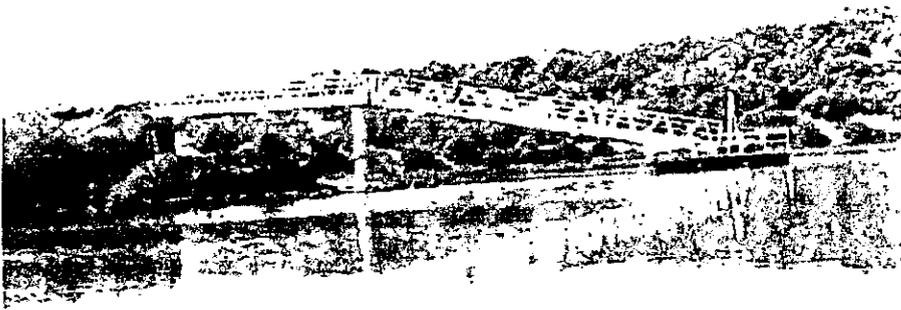
### 5.1.- Selección de la fuente de abastecimiento.

#### Abastecimientos superficiales.

La mayoría de las grandes ciudades, dependen de los llamados abastecimientos superficiales ya sean corrientes, lagos o embalses, que en la mayoría de los casos no son seguras para el consumo humano y por lo tanto requieren un tratamiento para lograr que esta agua sea potable.

En el caso de los manantiales pequeños, de terrenos elevados, estos pueden proporcionar aguas insípidas, prácticamente claras, excepto durante las temporadas de lluvias, en la que se pueden presentar una cantidad considerable de sólidos suspendidos. Aun cuando cualquier bacteria indeseable pueda ser de origen animal, estas fuentes expuestas a contaminación, accidental o incidental, de origen humano.

Estos manantiales aparecen donde un estrato que lleva agua alcanza la superficie del terreno o donde las fisuras de las rocas "aflojan" a la superficie, en condiciones tales que el agua subterránea es forzada a través de las grietas. El primer tipo de manantial es usualmente de origen local y se debe tener cuidado de aislarlo lo más posible de las fuentes de contaminación.



Es difícil averiguar el origen de un manantial que surge de entre las rocas, a no ser que se logre un conocimiento detallado de las formaciones geológicas del área que se este estudiando. En este caso el aislamiento del manantial hacia las posibles fuentes de contaminación es menor que en el caso de los manantiales que no pasan por las grietas de las rocas.

En general, los manantiales se deben proteger por una estructura de concreto u otro material impermeable de tipo permanente, para impedir que cualquier agua que no brote del manantial se mezcle con este. En caso de que el agua no brote de la tierra en un sitio bien definido, debe captarse y transportarse el agua a un pozo colector o estanque por medio de canales de tejas con las juntas abiertas, colocadas dentro de las zanjas perpendiculares a la dirección del flujo subterráneo.

Todos los manantiales deben cubrirse y el agua sobrante debe entubarse hacia fuera de la estructura para que el agua superficial no pueda penetrar en el manantial durante los periodos en donde se presentan las inundaciones. Por otro lado, no es necesario ventilar las estructuras de los manantiales; por lo tanto se debe evitar toda clase de aberturas, excepto las indispensables para la inspección, provista de una cubierta que cierre perfectamente.

Las grandes corrientes reciben agua de las cuencas habitadas y reciben también contaminaciones serias producidas por el escurrimiento superficial de las tierras erosionadas o aradas, por lo que las características físicas de esta agua son inferiores a las de grandes cañadas. Los lagos, represas y embalses proporcionan agua de mejor calidad que la mayoría de las corrientes, debido al efecto de la auto purificación por sedimentación y reposo.

Los abastecimientos de agua de los ríos requieren por lo general mayores recursos para su tratamiento. La turbiedad, el contenido de minerales y el grado de contaminación varían considerablemente de un día a otro, dependiendo de la zona en donde se localice el río de donde se está extrayendo el agua. La variación de la temperatura puede hacer que el agua de esta fuente se vuelva en cierto grado desagradable para el consumo humano.

El abastecimiento de agua de los ríos tomada directamente, solo se prefiere cuando no es posible obtener el agua de otro tipo de fuente alterna, aunque al tomar el agua de este tipo de fuentes representa una ventaja en el aspecto de la inversión que se debe hacer dentro del conjunto de la planta, pues esta es mucho menor.

En el caso de los lagos, estos pueden proporcionar agua de calidad excepcionalmente buena, excepto cerca de los márgenes y cerca de las descargas de drenajes o de corrientes fuertes. Además de necesitar un tratamiento mínimo, la disponibilidad de cantidades de agua son prácticamente ilimitadas, si se hacen los estudios de prospección adecuadamente, lo cual en la mayoría de los casos es un factor que es determinante en la selección de este tipo de fuentes. Las aguas de los lagos son razonablemente uniformes de un día a otro y no varían tanto en su temperatura como en el caso de los ríos o pequeños embalses.

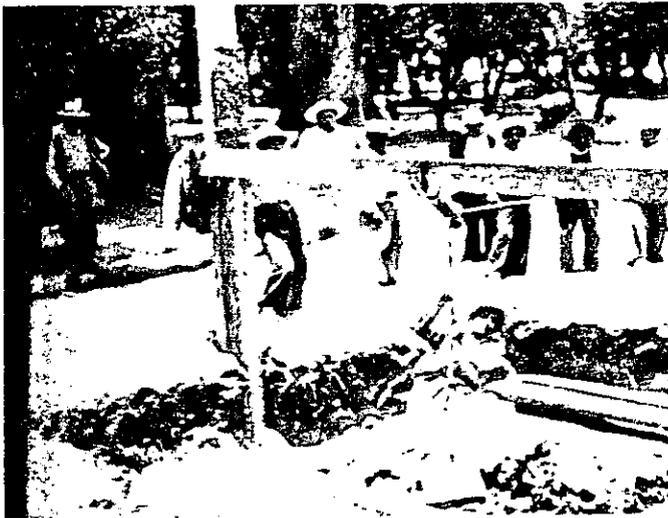
En los lugares en donde se presentan las épocas de estiaje muy prolongadas se tiene la necesidad de construir los embalses en las cuencas para tratar de retener cierta cantidad de agua proveniente de las precipitaciones, para poderla utilizar adecuadamente cuando sea necesario utilizarla. Además en los embalses se tiene la ventaja de que el manejo de los sólidos suspendidos es mucho más rápido y sencillo debido a que se presenta el efecto de sedimentación durante el almacenamiento.

Las fuentes de agua no salina incluyen tanto cuerpos superficiales como lagos, estanques y ríos así como mantos acuíferos del subsuelo constituidos por arena, grava o rocas porosas que contienen agua. Una de las principales fuentes de abastecimiento de agua que se están explotando actualmente (sobre todo en la zona del Valle de México) son los acuíferos subterráneos, los cuales se han descuidado a tal grado que actualmente se están buscando alternativas, para la sustitución de este tipo de fuentes debido a que su volumen disponible es cada vez menor y cada vez están más contaminados.

### **Abastecimientos subterráneos.**

Por lo general, las comunidades más pequeñas son las que emplean los abastecimientos subterráneos de agua. Una desventaja que tiene este tipo de fuente de abastecimiento es que tienen la tendencia a proporcionar agua excesivamente dura, lo cual se debe a la constitución de minerales que presenta este tipo de agua. Sin embargo, este tipo de abastecimiento presenta la ventaja de que el tratamiento para retirar las impurezas es menor debido a que estas son eliminadas de forma natural a medida que el agua atraviesa las diferentes capas del subsuelo.

Para la extracción del agua del subsuelo se construyen los pozos los cuales se dividen, de acuerdo a la profundidad que es necesario excavar para poder obtener el agua, en pozos profundos y poco profundos. Aunque no existe un límite exacto de la altura para hacer la clasificación mencionada de estos pozos, los pozos que tienen una altura menor a 30 mts son considerados como poco profundos y aquellos que sobrepasan dicha altura son considerados como pozos profundos.



Los pozos poco profundos, pueden ser cavados o entubados. Los pozos cavados consisten en un hoyo vertical, por lo general de 1.2 a 1.8 mts de diámetro excavados desde la superficie del suelo hasta que se encuentra el manto acuífero.

Estos pozos pueden recubrirse de hormigón, ladrillo o piedra brasa. Este recubrimiento se extiende desde unos 30 cm. sobre la superficie del suelo, hasta cuando menos 3 mts debajo del mismo y debe ser impermeable para evitar escurrimientos e infiltraciones superficiales.

Los pozos entubados se realizan cuando el agua subterránea se encuentra a unos 7.5 mts de profundidad o menos, siempre que no existan rocas o formaciones rocosas. Este tipo de pozos es de construcción relativamente fácil aunque están expuestos a una contaminación mayor que otro tipo de pozos.

Los pozos profundos se perforan a través de los estratos de roca hasta encontrar los mantos acuíferos y por lo general son de 15 a 30 m de diámetro, lo cual se lleva a cabo con maquinaria especial y el proceso constructivo es mucho mayor que en el caso de los pozos poco profundos y requiere de mayor atención en el tipo de acabados dentro del mismo pozo, aunado a esto se debe contemplar el uso de equipo de bombeo para la extracción del agua la cual es muy difícil de lograr si no se cuenta con el equipo adecuado para tal fin.

La selección de la fuente de abastecimiento, es un aspecto fundamental para que el sistema de abastecimiento cumpla con los objetivos fijados desde un comienzo, pues si se hace una mala selección de la fuente, se generan problemas de todo tipo, desde que el agua que se extraiga de esta no sea adecuada para consumo humano, hasta que la fuente por problemas de deficiencia de la recarga se pueda agotar a mediano o largo plazo.

Para tratar se hacer la selección correcta, los encargados de este aspecto deben contar con los conocimientos necesarios y en todos los casos tener a la mano los estudios realizados para cada caso, esto es, tener los estudios tanto hidrológicos, geohidrológicos y de prospección para la disponibilidad de agua en la zona donde se este llevando a cabo el proyecto.

Otro aspecto que influye en la decisión de cual debe ser la fuente de agua, es que la fuente tenga en sus alrededores espacio suficiente para poder llevar a cabo todas las maniobras de la construcción de las obras de toma, de almacenamiento y de conducción.

Asimismo se busca que la fuente de abastecimiento este a una distancia razonable del sitio donde se pretende colocar lo que es el conjunto de la planta de tratamiento para tratar de reducir al máximo la longitud de las conducciones lo cual en ocasiones representa un problema, pues se debe tener muy presente el aspecto de la topografía del lugar para ver si es posible que la utilización del bombeo por equipo especial se evite.

Otro aspecto que en ocasiones es pasado por alto es que, cuando se está realizando un proyecto de agua potable, las posibles fuentes de abastecimiento están en muy malas condiciones (muy contaminadas) o se encuentran demasiado lejos del lugar, lo cual en ocasiones no es tomado en cuenta por las personas encargadas de decidir cual es la fuente de abastecimiento mas adecuada.

En México prácticamente todos los cuerpos de agua disponibles para el abastecimiento de agua potable están contaminados; dentro de estos cuerpos se encuentran 20 cuencas hidrológicas, de las cuales 15 requieren una atención prioritaria: Panuco, Lerma, Balsas, San Juan, Coatzacoalcos, Blanco, Papaloapan, Valle de México, Conchos, Coahuylana, Culiacán, Fuerte, Yaqui, Mayo y Bajo Bravo.

Respecto al aprovechamiento de las aguas subterráneas, en muchos de los casos se presenta una sobreexplotación de los acuíferos, con los consecuentes incrementos en los costos de operación de los pozos debido al empleo de equipo de bombeo y otros problemas colaterales como lo son los hundimientos que sufren sobre todo las grandes ciudades como el caso de la Ciudad de México.

También se presentan problemas en cuanto a que los acuíferos utilizados están contaminados por sales y minerales que en ocasiones es imposible eliminar del agua y por consiguiente estas fuentes no son viables para ser utilizadas para obtener el agua potable necesaria para cierto número de habitantes.

Debido a todos estos aspectos en la actualidad el tratamiento del agua para poderla considerar como potable, toma una gran importancia pues como se puede ver, la mayoría de las fuentes disponibles están contaminadas por lo que es necesario que esta agua sea tratada por medio de plantas potabilizadoras de diferente tipo dependiendo de las características tanto físicas como químicas del agua y así poder garantizar que el agua es óptima para el uso de las personas.

Como se puede ver la selección de la fuente de abastecimiento para un sistema de agua potable es un problema para los ingenieros encargados de este aspecto, pues no es fácil encontrar una fuente, tanto superficial como subterránea, que cumpla con todas las características que se requieren para que el agua sea potable. Por ello al momento de seleccionar la fuente de donde se obtendrá el agua se debe ser lo más objetivo posible para que el tratamiento que se requiera sea el más sencillo y por consiguiente el más económico y factible técnicamente.

De entre las fuentes que se suponen disponibles para tomar el agua, se deben seleccionar la más adecuada de acuerdo con las necesidades que se tengan que cubrir con el proyecto de la planta de abastecimiento de agua potable. Una vez que se selecciona la fuente de donde se obtendrá el agua para tratarla se debe definir muy claramente lo que se conoce como el "tren de tratamiento" dentro del conjunto de la planta de potabilización del agua.

## 5.2.- Determinación del “tren de tratamiento”.

Una vez que el grupo encargado de la determinación y selección de la fuente de abastecimiento, a elegido la fuente mas conveniente para el proyecto que se este tratando, se procede a realizar una suposición de lo que es el tren de tratamiento que se puede llegar a usar dentro de la planta. Esta suposición inicial se va adecuando al espacio que se disponga y al tamaño final de cada uno de los tanques y se deben ir haciendo las correcciones que se tengan que hacer debido a las condiciones que se presenten en el campo al realizar el proceso constructivo.

Dentro de lo que es el conjunto de la planta de tratamiento, el tren de tratamiento es la sucesión de los diferentes procesos por los que se debe pasar el agua para que esta contenga las características requeridas para que sea usada como agua potable.

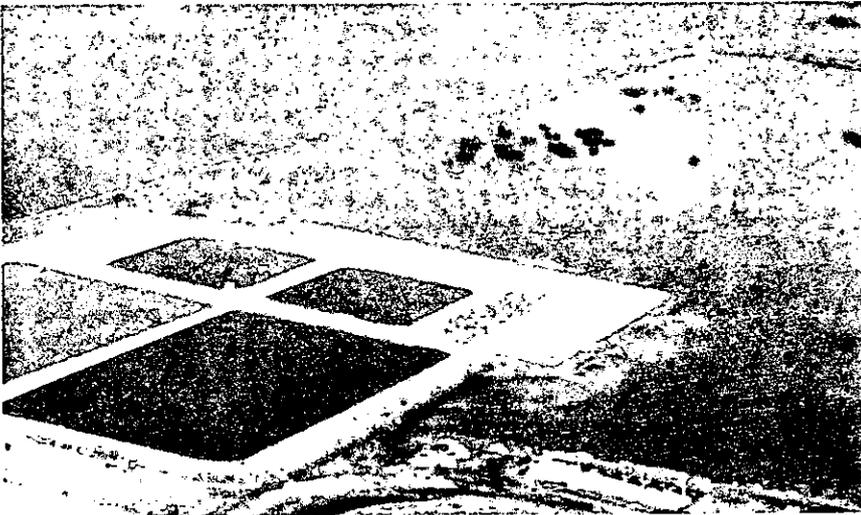
Para poder hacer la determinación del tren de tratamiento más conveniente y adecuado se deben tomar en cuenta aspectos de importancia fundamental, tales como la calidad del agua de la fuente, pues dependiendo de esto, se puede ver que tipo de tratamiento es realmente requerido y cual seria un tratamiento innecesario. De esta forma, el agua que saiga de la planta tendrá la calidad que se estableció desde un principio en el proyecto de la planta.

Todos estos aspectos afectan en la realización del proyecto pues se deben ver los aspectos de factibilidad de la construcción de los estanques de tratamiento tanto técnicamente como económicamente.

Generalmente los diferentes tanques de tratamiento se conectan entre si por medio de canales o tuberías que van conduciendo el agua de un estanque a otro, en este tipo de conducciones se procura que el desnivel del terreno en donde se colocará la planta sea aprovechado para que el agua corra debido a la gravedad y con esto se evita la utilización de equipos de bombeo para hacer pasar el agua de un estanque a otro, lo cual reduce significativamente el costo de operación de la planta.

Por lo general un tren de tratamiento constad de varios procesos de tratamiento dentro de los cuales destacan:

**Proceso de Cribado:** En esta etapa el agua pasa por un tanque que cuenta con algún sistema para retirar del agua todo lo que son sólidos mayores (basura, ramas, plásticos, rocas, etc.). Por lo general en esta etapa del tratamiento se utilizan rejillas, los desmenuzadores, entre muchos otros mecanismos. Las rejillas pueden ser de operación manual o mecánica, dependiendo de que tanto sea el volumen de residuos sólidos que se tenga que retirar del agua. Estas rejillas lo que hacen es que al momento de que el agua pasa a través de ellas, estas retienen los sólidos dejando pasar el agua y de esta forma se van retirando los sólidos de mayor tamaño del agua. Los sólidos se deben ir retirando periódicamente para evitar los desagradables asolvamientos y taponamientos de las rejillas.



Los desmenuzadores son una especie de trituradores que se diseñan para que al momento de que los sólidos pasen a través de ellos, los residuos se disminuyan de tamaño para que su manejo sea más fácil y se puedan retirar del agua con procedimientos más sencillos y baratos.

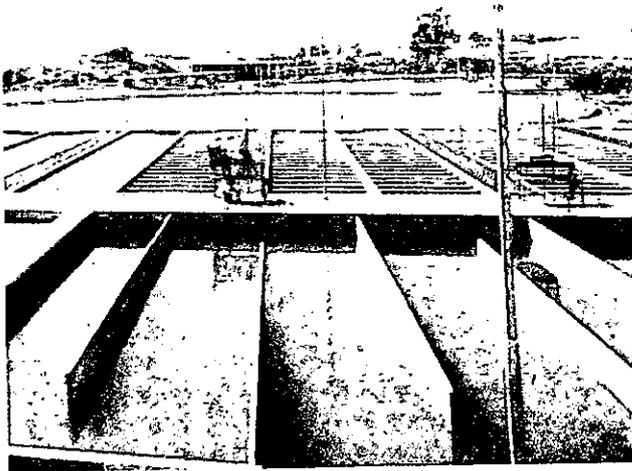
**Proceso de sedimentación:** En esta etapa se retiran los sólidos suspendidos en el agua como arenas, residuos de materia orgánica, etc. En esta etapa el agua se hace pasar por una serie de estanques en los cuales se disminuye la velocidad del agua para que los residuos se precipiten hacia el fondo de los estanques y se formen lo llamados lodos, estos lodos que se generan deben ser removidos periódicamente y manejados de acuerdo a las características de los contaminantes de los que provienen.

En ocasiones en esta etapa se utilizan los desarenadores, los cuales retiran las arenas finas del flujo del agua mediante tanques, dentro de los cuales se encuentran una especie de rejillas que tienen una separación muy pequeña entre ellas (en ocasiones de algunos milímetros) lo cual retiene las partículas de arena y las va depositando en el fondo de los desarenadores para que posteriormente se remuevan de los mismos y se trata de tener un correcto manejo de las mismas.

Dentro de los desarenadores existen varios tipos como los de flujo descendente, los de vórtice, los de fondo de embudo entre muchos otros. El tipo de desarenador a usar depende de la cantidad de agua que se tenga que manejar así como de la eficiencia que cada tipo de desarenador presenta por sus propias características de fabricación.

**Proceso de floculación:** En esta etapa el agua es sometida a un tratamiento a base de sustancias químicas para retirar las sustancias que no es posible retirar con la sedimentación debido a su composición química, en esta etapa el agua se hace pasar a través de un tanque en cual se hace que el agua permanezca por un periodo de tiempo determinado para que la sustancia que se agrega al agua actúe y se formen lo que se conoce como floculos o "natas" las cuales debido a su peso son obligadas a precipitarse hacia el fondo del estanque, de donde se deben remover periódicamente como en el caso de la sedimentación.

**Proceso de cloración:** En las plantas de tratamiento de agua potable la etapa final es la de cloración en la cual el agua pasa por un estanque en el cual la velocidad del agua se disminuye al máximo para dar oportunidad de que el cloro que se agrega al agua reaccione y desinfecte el agua matando la mayoría de los microorganismos dañinos para la salud humana. En algunas ocasiones cuando es muy alta la concentración de los microorganismos que se tienen que eliminar del agua se puede dar el caso de que se utilice el Yodo como agente desinfectante, el cual es más efectivo que el cloro pero mucho más caro por lo cual no es muy común su uso en la desinfección del agua.



Estas son las etapas de tratamiento más comunes en una potabilizadora, pero se pueden emplear procesos adicionales, como el tratamiento de tipo bacteriológico en el cual se emplean las características químicas de algunas bacterias para descomponer los compuestos orgánicos que se encuentran en el agua para que se conviertan en compuestos más fáciles de manejar y puedan posteriormente ser removidos, para ello se debe conocer que tipo de compuestos contiene el agua y si es posible removerlos por medio de tratamientos de este tipo.

Uno de los tratamientos de desinfección más actuales y modernos es el uso de luz ultravioleta para tratar de matar y eliminar los microorganismos que pudieran generar las desagradables enfermedades que se transmiten a través del agua. Este proceso consiste en hacer que de alguna manera el agua este en contacto con la luz ultravioleta para que esta reaccione y elimine a los microorganismos por medio de las reacciones que genera dentro del agua y elimina la gran mayoría de los microorganismos patógenos del agua.

Estos procesos de tratamiento ya más específicos dependen de la calidad que tenga el agua que se extrae de la fuente así como la calidad del agua que se pretende que salga de la planta potabilizadora.

Una vez que se ha terminado de tratar el agua, esta se dirige hacia el sistema de distribución, en el cual por norma el agua debe contener una cierta cantidad de cloro, este cloro se conoce como cloro residual y debe existir para que al momento de que el agua este dentro de las tuberías de distribución, como estas no están completamente limpias, si existen algunos microorganismos dentro de las propias líneas, estas sean eliminadas por el cloro residual dentro del agua que sale de la planta potabilizadora.

### **Capítulo 6...- DESCRIPCIÓN DE LAS FASES DEL PROYECTO EJECUTIVO**

En este capítulo se describe brevemente lo que son las fases o etapas de lo que es en sí el proyecto ejecutivo de la planta de tratamiento de agua potable. Un buen proyecto ejecutivo es aquel que se lleva a cabo siguiendo una serie de acciones que llevan a buen término dicho proyecto.

Un proyecto ejecutivo es un proyecto que, una vez que se ha autorizado la construcción de la planta de tratamiento, se comienza a realizar tomando en cuenta todos los aspectos que intervienen en la realización de dicho proyecto. El proyecto ejecutivo se comienza a realizar desde los estudios previos los cuales son de mucha importancia pues de ellos depende que el proyecto comience correctamente y así siga hasta el final, tomando en cuenta la importancia de la obra dentro de la comunidad y del país.

Un proyecto como lo es la planta de tratamiento de agua potable, es muy importante para la comunidad en donde se construye, pues esta comunidad toma una importancia en el ámbito nacional. Las comunidades beneficiadas por este tipo de proyectos suben su nivel de vida tanto en lo económico como en el aspecto social, pues con el agua potable se tiene la posibilidad de realizar actividades que en caso de no contar con el agua potable no es posible realizar.

Una de las decisiones más importantes dentro del proyecto de la planta es la selección de la fuente de abastecimiento la cual depende de la población que se quiera abastecer, pues dependiendo de la localización de la población que se va a abastecer de agua, se deben localizar las posibles fuentes de abastecimiento y ver cual de ellas es la más adecuada para el proyecto.

### 6.1.- Estudios de campo

Una vez que es seleccionada la fuente de abastecimiento, se procede a realizar los estudios de campo y de la calidad del agua de la propia fuente, lo cual es parte de las primeras etapas del proyecto ejecutivo.

Dentro de esta etapa o fase del proyecto, como su nombre lo indica se llevan a cabo los estudios en los cuales es necesario acudir al sitio en donde se pretende construir alguno de los componentes de la planta de tratamiento. Esto se realiza por lo general con grupo o brigadas las cuales van obteniendo todo tipo de información que, a criterio de los encargados de las brigadas, pudiera ser importante para tomar alguna decisión en un futuro o a corto plazo.

En esta etapa se realiza la verificación de los planos ya existentes del lugar, visitándolo y tratando de reconocer a simple vista los problemas más comunes que se puedan presentar como deslaves de laderas, afectaciones a las obras ya existentes, comportamiento de los habitantes del lugar, si se esta afectando alguna zona de propiedad privada o federal, si es posible observar en las márgenes del cuerpo de agua el nivel máximo de la misma, entre muchos otros detalles que solo es posible visualizar haciendo la visitas de campo.

Los estudios de campo son una parte fundamental en el desarrollo del proyecto, con ellos se puede determinar desde el comienzo cuales son las rutas de acceso más prácticas para lo que son las visitas programadas al sitio así como las posibles rutas que se seguirán al momento de realizar la construcción de las obras de toma, de almacenamiento de agua (en caso de ser necesarias), las obras de conducción, etc. Esto se hace en la zona de la fuente de donde se tomará el agua para abastecer en primera instancia a la planta de tratamiento de donde se distribuirá el agua hacia toda la población estimada.

Dentro de los estudios de campo, se encuentran los estudios y verificaciones del tipo de clima de la región el cual en ocasiones es un factor que influye de manera significativa en el desarrollo del proyecto, pues si el clima es muy variable de un mes a otro esto puede ocasionar retrasos en los programas de obra y por consiguiente problemas en el cumplimiento de las metas fijadas en un principio en cuanto a los tiempos estimados.

En los estudios de campo se tiene contemplado generalmente, hacer un reporte fotográfico el cual es de ayuda para que una vez que se tengan todas las fotos del lugar donde se pretende colocar lo que es el conjunto de la planta, se pueda, si es posible, detectar problemas en cuanto a la ubicación de las estructuras, las cuales pueden variar con respecto a los planos que se tengan proyectados y, si es necesario, hacer las modificaciones correspondientes en los planos para que al momento de comenzar la construcción de las estructuras se hayan previsto la mayoría de los inconvenientes relacionados con las características físicas del sitio visitado.

En ocasiones, debido que el acceso al sitio donde se están llevando a cabo las obras de toma del agua es muy difícil, se opta por hacer lo que se conoce como estudio con fotografías aéreas, el cual solo es utilizado en casos donde realmente sea necesario para la realización de las decisiones relacionadas con el sitio, pues este estudio es uno de los más costosos pero uno de los más útiles si se hace adecuadamente.

Una vez que se han tomado en cuenta todos los aspectos técnicos del lugar y se han observado las posibles dificultades que se tendrán al momento de comenzar la construcción de las estructuras, se puede proceder a hacer los estudios relacionados con lo que es el recurso del agua, para ver cual es el estado real del líquido en el punto específico en donde se tomará el agua. La calidad del agua que se obtenga de la fuente de abastecimiento determina el tipo de tratamiento que se tiene que dar a la misma para que se considere como agua apta para consumo humano.



### **6.2...- Muestreo de la(s) fuente(s) de abastecimiento.**

Al momento de seleccionar las posibles fuentes de abastecimiento, los encargados de la selección deben tomar en cuenta al aspecto de la calidad del agua que se obtiene de estas fuentes. La calidad del agua se obtiene al hacer los muestreos del agua para que estos sean analizados dentro de los laboratorios certificados por las autoridades correspondientes en el aspecto de la salud.

El procedimiento de muestreo es generalmente como sigue:

- 1) Se localiza el punto en donde se requiere hacer el muestreo y se establece la ruta de acceso hacia este punto.
- 2) Se determina que clase de análisis se va a llevar a cabo para saber que tipo de muestras se requieren tomar.
- 3) Para hacer un estudio completo se toman un número determinado de muestras (este tipo de análisis se conoce como 2 A, 3 A y 4 A) que son: una muestra de 100 ml para el estudio de Bacteriología, una muestra de 1 lt tanto para los análisis de Absorción Atómica (determinación de metales) como para determinación de componentes físicos y químicos del agua.

Los recipientes donde se toman las muestras para los análisis de Absorción Atómica y de parámetros físicos y químicos se llenan tomando directamente el agua de la corriente en el punto donde se estableció que se tenía que hacer el muestreo.

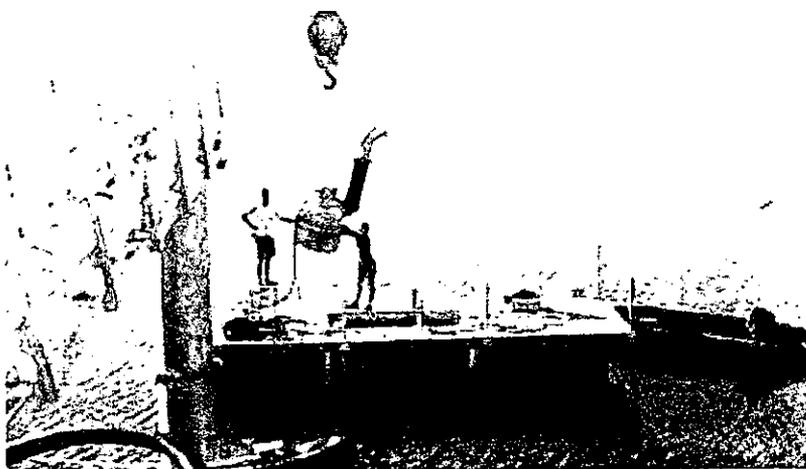
Los recipientes en donde se toman las muestras para el estudio bacteriológico deben mantenerse a una temperatura adecuada para que si existen los microorganismos dentro de estas muestras no se reproduzcan, por lo tanto se colocan las muestras en hieleras donde se mantienen a una temperatura adecuada para que las muestras sean lo menos alteradas posibles.

Al momento de tomar el agua dentro de los frascos de bacteriología, se debe tratar de que la muestra este el minimo tiempo posible en contacto con el aire pues este puede alterar los resultados de las muestras, los frascos antes de que se tomen las muestras deben estar completamente estériles para que al momento de realizar los análisis los resultados sean lo mas representativo posible del cuerpo de agua.

El muestreo de las fuentes es periódico, dependiendo de la importancia del estudio, estos se hace para determinar el comportamiento de la fuente con el paso del tiempo y así ver que tipo de contaminantes se pueden encontrar dentro de la fuente y si con el paso del tiempo el comportamiento es o no variable y ver como manejar este aspecto de la fuente.

Otro estudio que se realiza al agua de las fuentes de abastecimiento es el de la determinación de coniformes fecales y totales, el cual consiste en tomar muestras de 100 ml en recipientes especiales en los cuales se agrega un reactivo especial, el cual hace que si existen los coniformes estos reaccionen al estar incubados a una temperatura de      grados centígrados durante 24 hrs., esto se ve al haber cambio de coloración en las muestras, el color característico que indica la presencia de coniformes en las muestras es un color amarillento.

Con las muestras de agua debidamente organizadas de acuerdo al lugar y hora donde fueron tomadas, estas se llevan al laboratorio donde se les realizan las pruebas correspondientes para obtener los parámetros de calidad de esta agua. Los laboratorios donde se realizan estos estudios deben estar reconocidos y certificados por las autoridades correspondientes para que estos estudios sean reconocidos y a su vez aprobados por dichas autoridades.



### **6.2.1.-Análisis de caracterización del agua**

Estos análisis de caracterización del agua se lleva a cabo en los laboratorios y consisten en realizar pruebas en las cuales se obtienen los contenidos de contaminantes que presentan las muestras de agua, asimismo se obtienen las concentraciones de sales, minerales, componentes químicos y físicos del agua que se este recolectando de las fuentes de abastecimiento.

Dentro de los análisis que se realizan a las muestras se encuentran, los análisis de tipo bacteriológico, los análisis químicos, físicos que determinan la composición del agua para poder tomar una decisión de que tipo de tratamiento se requiere para que el agua cumpla con los parámetros establecidos en las normas de calidad de la secretaria de salud en el campo de agua para consumo humano.

Estos análisis deben realizarse lo más correctamente posible, se deben hacer con la mayor atención de que no se pierda de vista ningún aspecto que pudiera alterar los resultados, pues de estos análisis depende que el agua que se está obteniendo sea aceptada o no para el uso al cual se pretende destinar, ya sea para abastecimiento a industrias, abastecimiento de agua potable, agua para riego, etc.

Los resultados que se obtengan de los análisis del agua son de mucha importancia en lo que es el proyecto de la planta de tratamiento de agua potable, pues dependiendo de las características que tenga el agua que va a ser tratada, es el tipo y calidad de tratamiento que esta agua debe recibir para que al salir de la planta esta tenga la calidad que se requiere para el consumo humano.

### **6.3.- Trabajos topográficos.**

En esta etapa del proyecto, se realizan los trabajos correspondientes a los levantamientos topográficos del lugar donde se pretende que se construya lo que es el conjunto de la planta de tratamiento.

Por lo general los levantamientos de los detalles y de las curvas de nivel se hacen con planos en donde los cortes o estaciones se hacen a cada 10 o 20 metros para tener una exactitud adecuada de acuerdo a las especificaciones y necesidades de la obra, es decir, que la exactitud de los detalles y curvas de nivel depende de que tan exacto se quiera conocer los desniveles o que tan importante son las estructuras ya existentes en un radio razonable de la zona en donde se localizan las posibles tomas de agua y la zona en donde se colocará la planta en conjunto.

Con la información obtenida se generan planos, que generalmente se hacen a escala 1:10,000 o 1:100,000 en donde se dibujan todos los detalles posibles así como las diferentes curvas de nivel o estructuras ya existentes, en los mismos planos debe existir un pequeño croquis de localización de la obra y las características de lo que se contiene en dicho plano y las acotaciones correctas. Con estos planos en el gabinete se puede observar los posibles problemas generados por las construcciones e infraestructura ya existentes, ver si no se generan problemas con las afectaciones a la población aledaña, se puede hacer un trazado preliminar de las estructuras de conducción así como el tamaño de los tanques que se necesiten en el conjunto de la planta.

En los trabajos topográficos también se generan los planos de las curvas de nivel, las cuales en los planos nos indican los puntos más altos y más bajos de la zona donde se llevo a cabo el levantamiento y con esto se puede observar cual es la dirección que toma el agua por el efecto de los desniveles y se puede tomar la decisión de donde colocar las estructuras para aprovechar lo que el terreno proporciona en cuestión de los desniveles que se tienen para ocupar la gravedad para el desplazamiento del agua dentro de las conducciones y los tanques de la planta.

Otra de las actividades que se llevan a cabo dentro de esta etapa es el trazado de las excavaciones que se tienen que hacer para alojar a las estructuras tanto de las obras de toma, de almacenamiento, de conducción así como las estructuras de la planta de tratamiento en su conjunto, esto se hace para tratar de que al momento de que se este llevando a cabo el proceso constructivo este tenga el mínimo de contratiempos que se pueda debido a los alineamientos de las estructuras que conforman todo el sistema de tratamiento.

En estos estudios también se encuentran los estudios que se realizan para conocer las profundidades máximas y mínimas del cauce en donde se realizan las obras de toma, estos estudio se conocen como estudios de batimetría y se hacen de forma similar a como se hacen los planos de las curvas de nivel. Con estos datos los encargados del diseño de las obras de toma, pueden tener una idea más clara de cuanto espacio hacia arriba o hacia abajo tienen para colocar los tanques de almacenamiento para la toma de agua, así como que tan profundo puede llegar a estar el manto de los asolves para prevenirlos y evitar problemas posteriores.

#### 6.4.- Estudios de mecánica de suelos.

Para la realización de un proyecto como lo es una planta de tratamiento, es fundamental realizar estudios muy precisos de mecánica de suelos, pues es uno de los aspectos más trascendentes debido a que de estos estudios depende que tipo de cimentaciones se colocarán en las estructuras que componen el conjunto de la planta.

Debido a que la mayoría de las estructuras de la planta estarán sometidas al efecto del empuje hidrostático del agua a tratar, estas estructuras son muy pesadas y se debe verificar que tipo de suelo se tiene en el lugar donde se está construyendo la planta, para poder de alguna manera prevenir los posibles movimientos de las estructuras (principalmente los hundimientos diferenciales) los cuales son, en muchas de las ocasiones, la principal causa de deterioros dentro de los tanques, los cuales comienzan a presentar agrietamientos, fugas de agua, corrosión en el acero de refuerzo, etc. lo cual puede llegar a ser altamente peligroso para el funcionamiento de la planta y para los habitantes cercanos a esta.

Para realizar las pruebas de laboratorio al material que se encuentra en el sitio, se debe obtener muestras de suelo tanto alteradas como inalteradas, para que se les realicen las pruebas de consolidación, compresión simple, compresión triaxial, contenido de humedad, límites de consistencia, así como los principales componentes del suelo (arcillas, limos, gravas, etc.). Las muestras son obtenidas con el barril Denison en el cual se extrae una muestra de tipo inalterada y si el material es muy blando se realiza la prueba de penetración estándar la cual da un parámetro de cual es la resistencia del terreno a la compresión que a que va ser sometido.

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta al momento de realizar los estudios de mecánica de suelos, es el conocer el tipo de suelo que se tiene en el lugar donde se están realizando los estudios, pues de ello depende qué tipo de proceso constructivo se debe llevar a cabo, qué tipo de precauciones se deben tomar para proteger a las estructuras de las acciones de la humedad, la corrosión, el efecto de las sales que pudiera contener el suelo, por ello un correcto

estudio de mecánica de suelos puede llegar a ser un factor que altere significativamente el que se pueda llevar a cabo la construcción del proyecto de la planta de tratamiento.

Como se puede ver un correcto estudio de mecánica de suelos, puede ser un factor que altere totalmente la concepción del proyecto, pues si no se hacen correctamente los estudios del suelo se puede llegar al caso de que la cimentaciones y las estructuras diseñadas puedan llagar a hundirse o fallar por el efecto del empuje del propio suelo. Por ello, es de suma importancia que los estudios se realicen de manera seria y confiable para tratar de evitar a toda costa que se presenten los problemas que se han mencionado.

Otro aspecto importante para el proceso constructivo de la planta, es que se debe conocerle tipo de material que se va a desplazar para poder alojar a las estructuras, esto con el fin de saber que tipo de maquinaria y equipo de construcción son los necesarios para remover este material y ver que tan factible es realizar los trabajos d construcción que se requieran.

#### **6.5.- Proyecto de la planta.**

En este subtema se describe brevemente lo que es en forma un proyecto de una planta de tratamiento para agua potable, en este tipo de proyecto existen etapas en las cuales se van haciendo el diseño de los distintos componentes del sistema de tratamiento de agua.

En general, se pueden observar cuatro grandes divisiones en lo que se refiere al diseño de los componentes de la planta como son: el diseño de los aspectos hidráulicos, el diseño arquitectónico, el diseño estructural y el diseño de todos los equipos tanto mecánicos como eléctricos que intervienen en una planta destinada a tratar el agua para que esta tenga las propiedades que se requieran del agua.

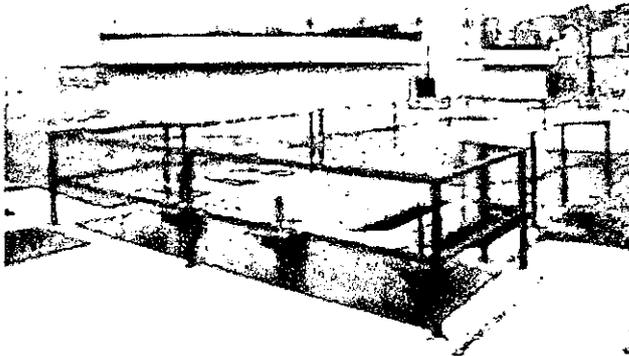
### 6.5.1.- Diseño hidráulico.

En esta etapa del proyecto de la planta, se hacen los dimensionamientos, cálculos y previsiones de todo lo que se relaciona directamente con el aspecto de la hidráulica para ello es necesario que se tenga el conocimiento necesario para poder manejar de la mejor manera toda la información recabada en las etapas iniciales.-

Para poder llevar a cabo el diseño hidráulico es necesario conocer el tipo de material con que se pretende realizar la obra, la cantidad de agua o gasto con el que se está trabajando, si la zona donde se lleva a cabo el proyecto está sujeta a movimientos telúricos importantes, se debe saber si la tubería a utilizar se someterá a presión por parte del agua, etc.



El diseño hidráulico consiste en determinar el tamaño de las tuberías, tanques y canales, basándose en el gasto con el cual se pretende abastecer de agua a la población, este gasto debe mantenerse constante para que los cálculos que se hagan sean lo más correcto posible, para tratar de evitar todo tipo de problemas que se pudieran generar debido al mal cálculo hidráulico.



Un aspecto de importancia a la hora de determinar el tamaño de lo que son los diferentes tanques de tratamiento es que tipo de espacio es el que se dispone para la colocación de los mismos, así como el tipo geométrico de tanques que se haya propuesto, pues dependiendo de esto, el tamaño de los tanques puede variar considerablemente del diseño original al que se realizará realmente.

Aquí también se lleva a cabo el diseño de los vertedores que sean necesarios para poder tener el control del gasto que esta corriendo por los tanques, asimismo se diseñan los canales de traslado del agua de un tanque a otro, los tanques de regularización, el tamaño mínimo y máximo de las tuberías de conducción, el espesor de los muros de los estanques, la profundidad de los estanques dependiendo del espacio con el que se cuente para colocar dichos tanques, etc. Todos estos cálculos y diseños se hacen basándose en que el gasto con el que se cuenta actualmente, permanecerá constante durante el periodo para el cual están diseñadas todas las estructuras.

En esta etapa se deben tomar en cuenta las variaciones en la demanda del agua, pues debido a esto se tiene la necesidad de diseñar tanques de regularización, en los cuales se almacena el agua para que cuando la demanda sea mayor se pueda satisfacer sin mayores problemas y por el contrario cuando la demanda sea mínima, el agua que no es suministrada se puede mantener en este lugar para utilizarla cuando se requiera.

Si las condiciones del lugar son muy complicadas y se requiere de un carcamo de bombeo para poder obtener el agua para la planta, este debe estar calculado de acuerdo con el gasto que se requiera y con el espacio que se tenga para poder instalarlo, así como las conexiones del carcamo hacia el sistema integral de tratamiento del agua.

### **6.5.2.- Diseño arquitectónico.**

En toda obra civil se tiene que tomar en cuenta el aspecto de la arquitectura para tratar de que la obra sea al mismo tiempo de ser funcional, sea agradable a los sentidos perceptivos de las personas que estarán en contacto directo con esta obra.

En el diseño arquitectónico se ve el aspecto de la disponibilidad de los espacios con los que se cuenta para la construcción de la planta de tratamiento, por ello, los encargados del diseño de este tipo se enfocan al aspecto de distribuir adecuadamente los espacios para que los estanques que se están proponiendo ocupen el menor espacio posible dentro del predio o terreno disponible para la construcción del conjunto de la planta.

Además, se tiene que observar que la colocación de todos los elementos que componen la planta de tratamiento, sea la más adecuada para que al momento de ser puesta en marcha la planta tenga un comportamiento adecuado y sea lo más eficaz posible, sin dejar de lado el aspecto de la apariencia para la gente externa.

En este tipo de diseño, el aspecto de la funcionalidad de la obra es un aspecto importante, pues en el se ve el espacio que se tiene en lugares en donde es necesario que las personas encargadas del funcionamiento y mantenimiento transiten, si el acceso a ciertas zonas o áreas de la planta es posible o si es necesario realizar estructuras adicionales para poder tener acceso a estas zonas, el tamaño mínimo y máximo de los pasillos para poder llevar a cabo las operaciones necesarias, etc.

### 6.5.3.-Diseño estructural

En esta etapa del proyecto se hace todo lo relacionado con el funcionamiento de las estructuras que conforman el conjunto de la planta, aquí se determinan tamaño, espesor, alturas, separación de los armados de las estructuras de concreto reforzado, uniones o conexiones en el caso de las estructuras metálicas, tipo de soldaduras, etc.

Asimismo se debe realizar el análisis del comportamiento de las estructuras en cuanto al efecto que pueden causar sobre ellas los fenómenos naturales como lo son los sismos, los cual es muy importante pues como todos los tanques están interconectados, si existen movimientos de los diferentes tanques que sobrepasen los límites permitidos, estos pueden producir que las estructuras de conexión entre los tanques se rompan o se descompongan lo cual ocasionaría muchos problemas de funcionamiento en la planta.

Se debe contemplar el tipo de suelo que se tiene para saber que tipo de cimentación se necesita para que las estructuras no tengan problemas de hundimientos, pues como estas estructuras por lo general trabajan con el peso del agua sumado a su peso propio, esto hace que el peso sea un factor importante para que se puedan presentar los mencionados hundimientos.

En el diseño estructural de lo que son los tanques, donde se maneja el agua para los diferentes tipos de tratamiento, por lo general se ve el comportamiento de las estructuras respecto a los empujes tanto internos como externos producidos por el agua en el caso del interior de los tanques, como el empuje producido por algún agente externo al tanque (empuje del suelo, efectos de sismos, efectos causados por las ráfagas de viento, flotación de las estructuras, etc.) esto para determinar el tipo de refuerzo que se requiere, la cuantía de acero, la separación del acero, el espesor máximo y mínimo de los muros de concreto armado, la resistencia del concreto, el tipo de conexión entre las estructuras y las cimentaciones, para indicar que las estructuras se comporten como una sola pieza.

#### 6.5.4.- Diseño mecánico y eléctrico

En esta parte de lo que es el proyecto de la planta de tratamiento, se hacen las consideraciones para poder determinar las características tanto mecánicas como eléctricas de los diferentes componentes de la planta.

Aquí se selecciona el tipo de compuertas, rejillas, desazolves y como deben ser para que tengan un buen comportamiento, pues existen un número considerable de modelos que se pueden utilizar para satisfacer las necesidades que se tengan que cubrir en cada caso. Se debe tomar en cuenta el tipo de mantenimiento que se debe tener en la planta para poder saber si se utiliza, en el caso de accesorios como las rejillas, un equipo de tipo mecánico o eléctrico y saber cual es el comportamiento para poder utilizarlo adecuadamente.

También se debe establecer el tipo de operación de los equipos la cual puede ser manual, como en el caso de compuertas o válvulas de paso, o de tipo mecánico las cuales son operados con ayuda de dispositivos diseñados específicamente para este tipo de tareas.

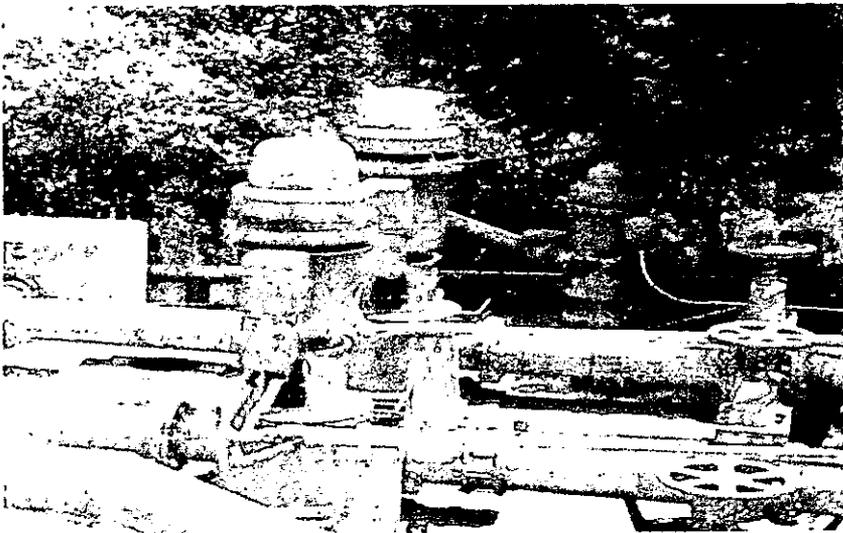
En el caso del diseño mecánico se deben hacer las consideraciones necesarias para determinar el tipo, tamaño, dimensiones geométricas, material, tipo de conexiones y operación de todas y cada una de sus partes especiales, que intervienen en el diseño de las partes necesarias para que la planta de tratamiento funcione correctamente.

Para ello los diseñadores de las partes mecánicas cuentan, con los catálogos de las principales compañías que se dedican a la fabricación de este tipo de piezas, en los cuales se puede obtener la información, como el material de que está fabricada la pieza, las características geométricas de las piezas, la presión a que pueden ser sometidas, etc.

En el caso del diseño de los equipo eléctricos, los diseñadores deben saber que tipo de tanque es el que funciona con este equipo, así como la altura que se necesita vencer para transportar el agua, cuando sea necesario, si existe alguna estructura especial para alojar al equipo eléctrico o si este va a estar expuesto a la intemperie, si el equipo a utilizar estará o no sumergido dentro de los tanques, si las instalaciones que se consideran dentro de la planta son las adecuadas para la instalación del equipo propuesto, si es necesario construir infraestructura especial para la colocación del equipo, como por ejemplo, postes para alojar los transformadores que se necesiten, líneas de conducción especiales para los equipos, entre muchos otros aspectos.

### **Bombas.**

Las bombas, son necesarias en el abastecimiento de agua, cuando la elevación de la fuente es tal que el agua no escurre por gravedad hasta las líneas de conducción principales, cuando la presión en las líneas principales debe incrementarse o cuando se debe elevar el agua de un nivel a otro.



De acuerdo con los principios mecánicos de las bombas, estas se clasifican en, bombas de desplazamiento positivo, centrifugas o de vacío. Una bomba de desplazamiento utiliza un pistón primero para llevar el agua hasta una cámara cerrada y luego para empujarla bajo presión. Una variación de este principio se aplica en una bomba rotatoria, estas bombas utilizan levas o engranes que giran en una camisa ajustada para empujar el agua hacia fuera.

Para dar la potencia requerida al equipo de bombeo se utiliza la electricidad, la cual da movimiento al motor el cual generalmente esta conectado directamente a la bomba.

En las instalaciones de bombeo, una falla en el suministro de energía puede tener efectos visibles, como que el abastecimiento se vea interrumpido por un tiempo prolongado. Para evitar esto se deben hacer los arreglos en el diseño para que por lo menos una de las bombas pueda estar trabajando para que el suministro de agua no sea interrumpido y si es necesario la interrupción sea lo más breve posible.

Cuando se conocen el volumen de descarga y la carga por vencer de la bomba, la potencia hidráulica o teórica, en caballo de fuerza (hp) necesaria puede calcularse con la siguiente expresión:

$$P = \frac{HQ_1}{3960} = \frac{\gamma HQ}{76\eta}$$

En donde:

P = Potencia teórica requerida para operar la bomba

H = Carga por vencer, en pies

Q = Volumen de agua que será bombeada, en galones por minuto.

Sin embargo, la potencia real requerida, depende de la eficiencia de la bomba, que por lo general es un dato proporcionado por el fabricante y se puede calcular entonces con la expresión:

$$P' = \frac{P}{e}$$

Donde:

P' = Potencia real requerida

e. = Eficiencia de la bomba.

Carga total.- La carga dinámica total, designada como CDT, contra la que opera la bomba, es la suma algebraica de los siguientes términos:

- 1.- La distancia vertical del centro de la bomba al nivel hasta donde se va elevar el agua
- 2.- La carga de succión, la distancia vertical del nivel de la fuente de agua que se está bombeando al centro de la bomba.
- 3.- La carga de fricción y las pérdidas de carga en las líneas de descarga y de succión (incluyendo los accesorios).
- 4.- La carga de velocidad o carga necesaria para mantener el flujo en las tuberías.

La carga de succión es positiva si la bomba está colocada arriba del nivel de la fuente y es negativa si la bomba está por debajo del nivel de la fuente de abastecimiento. Así, si la bomba está por debajo del nivel del agua la carga de succión es negativa y se debe restar a la carga por vencer.

La selección de que tipo de bomba se debe utilizar, depende de la capacidad de las mismas, así como del funcionamiento de las mismas. Algunas de las más usadas son las siguientes:



**Bombas reciprocantes:** Son utilizadas en el bombeo de agua de pozos profundos debido a su principio de funcionamiento, el cual consiste en dos vástagos los cuales suben y bajan accionados por un motor, este movimiento produce que el agua vaya subiendo dentro de un cilindro lo cual produce presión para que el agua suba.

**Bombas sumergibles:** Las bombas sumergibles están selladas de tal forma que se pueden sumergir completamente en el agua, son necesarios un cable eléctrico adecuado para proporcionar la potencia y un tubo para descargar el agua. Este tipo de bombas, son utilizadas en bombeos de pozos profundos y en algunas instalaciones en donde se desea extraer agua de la línea principal a baja presión y enviarla a un tanque elevado o a otra línea en la que la presión debe ser mayor. En el bombeo de pozos profundos, una bomba sumergible no se afecta por una pérdida de la vertical del pozo.

**Bombas de aire:** Las bombas de aire se utilizan principalmente en bombeo de pozos, pero también se utilizan para manejar los lodos finos en el tratamiento de aguas negras. El principio de operación es que una mezcla de agua y burbujas de aire, que pesa menos que una columna de agua y que la

mezcla de aire-agua dentro del tubo se elevará. Una bomba de aire puede ser utilizada en un pozo que no esté recto.

La operación de los equipos de bombeo, se puede realizar por medio de controles automatizados los cuales pueden controlar que bombas son las que deben funcionar en determinado momento, estos controles pueden arrancar y parar las bombas de acuerdo con los niveles del agua de un tanque de almacenamiento o presiones en la líneas principales.

La selección de las unidades de bombeo que se van a utilizar se puede hacer automáticamente de acuerdo con la necesidad de agua o con el flujo de entrada y las bombas se pueden hacer girar por medio de un programa computarizado.

Generalmente las estaciones de bombeo se diseñan de tal modo que algunas de las bombas estén trabajando a su máxima capacidad, mientras que otras están apagadas, por lo que se pueden colocar dos o tres bombas para poder lograr lo anterior y prevenir que al momento de dar mantenimiento al equipo de bombeo esto no afecte al suministro de agua.

Por ejemplo si se cuenta con cuatro bombas en un sistema de abastecimiento, se puede contar con dos bombas de menor capacidad que el otro par, así las de mayor potencia pueden suministrar el agua requerida para la demanda máxima, mientras que una sola de las bombas pequeñas puede suministrar los requerimientos mínimos de gasto. El consumo normal lo puede dar la combinación de cualquiera de las cuatro bombas.

En el caso del diseño de los transformadores que son los que surten la energía a los equipos dentro de la planta, se debe considerar absolutamente todas las cargas de corriente existentes dentro de todo el conjunto (equipos de bombeo, instalación eléctrica del cuarto de control, medidores eléctricos, posibles ampliaciones en los equipos de operación, etc.) esto con el fin de que al momento de obtener la carga que deben suministrar los transformadores sea la adecuada para que al momento de poner en marcha los equipos no existan problemas de que la energía suministrada por estos no es la suficiente y los equipos no enciendan o por el contrario, que se lleguen a quemar los equipos porque la energía es mayor a la requerida.

El adecuado diseño de este tipo de equipos repercuten forma trascendental en la construcción de este tipo de infraestructura, pues como la mayoría de los equipos eléctricos son importados, tienen un costo relativamente elevado y si el diseño no es adecuado, se puede llegar a dar el caso de que el equipo que se adquiriera no sea el adecuado, lo cual ocasionaría que la inversión sea inadecuada.

## **Capítulo 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Como se puede ver, con este trabajo se pretende que se cree una idea clara de importancia tan grande que tiene el aspecto de la contaminación y tratamiento del agua, para que se tenga un poco de conocimiento de que tan deteriorados están los recursos hidráulicos del país para tratar de detener en medida de lo posible la sobreexplotación de estos recursos, así como su contaminación excesiva.

Se da un panorama general de que tan difícil es el tratamiento del agua para lograr que sea de calidad que se considere como potable, esto debido a que durante muchos años se ha descuidado el aspecto de la contaminación de las principales fuentes de abastecimiento, que es generada principalmente por las ciudades del país, las cuales descargan sus aguas residuales hacia estos cuerpos de agua, en muchas de las ocasiones, sin ningún tipo de tratamiento, lo cual va generando una contaminación alarmante.

Otro aspecto que se pretende que se den cuenta las personas, es que mientras más contaminada esté la fuente de donde se pretende tomar el agua para abastecer a la comunidad, el tratamiento para quitarle todos los contaminantes que son dañinos para la salud, es más costoso y tardado y en algunos de los casos es imposible quitarle los contaminantes, lo cual va haciendo que las fuentes de abastecimiento cada vez sean menos y de una calidad muy mala para el abastecimiento de la población.

Un proyecto de una planta de tratamiento de agua potable, es un proyecto de una importancia trascendental para el desarrollo de la comunidad donde se pretende colocar el sistema de abastecimiento, pues se ha visto que si se cuenta con este servicio, la población aumenta en cuanto al número de habitantes y su actividad se puede convertir en una actividad importante para el desarrollo del país.

Como se puede ver, si el problema de la contaminación excesiva y la sobreexplotación de los recursos hidráulicos del país no son tratados con la seriedad que se requiere, este problema se puede convertir en una de las principales causas de generación de problemas sociales dentro de todo el territorio nacional.

En el caso del proyecto de una planta de tratamiento de agua potable, para que este se pueda llevar a cabo es necesario que se cuente con todo el apoyo de parte de las autoridades, tanto municipales, estatales y federales, pues este tipo de proyectos son de los más importantes dentro del desarrollo socioeconómico de la población que será beneficiada por la planta.

En la actualidad las plantas de tratamiento de agua potable, han tomado una gran importancia debido a que cada día es más difícil encontrar fuentes de abastecimiento que se encuentren libres de las impurezas que se han mencionado y por consiguiente, es casi obligado que el agua sea sometida a un tratamiento previo para que esta agua pueda ser consumida por las personas sin que exista el riesgo de contraer alguna de las enfermedades que se transmiten comúnmente por el agua contaminada.

Todo esto solo se puede lograr si se toma conciencia tanto en el lado de la población como en el lado de las autoridades, para que el agua sea utilizada correctamente y se trate de que los cuerpos de este recurso sean lo menos contaminados y que las aguas de desecho sean tratadas realmente antes de ser regresadas hacia los cuerpos de agua, para que el recurso se pueda seguir teniendo en cantidad y calidad como se tiene en la actualidad.

**ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA**

En el agua existen cinco clases de organismos capaces de infectar al ser humano: bacterias, protozoarios, yelmitos, virus y hongos. Algunos de estos microorganismos completan su ciclo de vida al pasar a través de un portador acuático intermedio. Otros simplemente transportados por el agua de un ser a otro, como ejemplo de portadores acuáticos pueden mencionarse a los moluscos que las larvas que producen la esquistosomiasis y un minúsculo crustáceo que hospeda al agente causante de la dracontiasis. Como ejemplos de organismos que diseminan enfermedades a través del agua como componente de materia fecal-oral se encuentran las bacterias que generan el cólera y la fiebre tifoidea.

**Infecciones por bacterias.**

Las principales enfermedades que se transmiten por medio del agua producidas por las bacterias son la fiebre tifoidea y el cólera, de las cuales surgieron en las ciudades de la época de la revolución industrial. De las dos enfermedades, el cólera es la más violenta en su inicio y con frecuencia la más fulminante en su evolución. Por otro lado, la fiebre tifoidea es más persistente, ya que los afectados son portadores activos durante un periodo de tiempo mayor, el cual se prolonga a través de la convalecencia y se puede volver crónica.

En el mundo occidental se conjugan circunstancias favorables para que la fiebre tifoidea se convierta en una enfermedad endémica y epidémica muy importante, principalmente en regiones donde los suministros urbanos de aguas se surtían en cantidades crecientes de fuentes superficiales; mientras que los desechos urbanos arrastrados por las aguas residuales se descargan en volúmenes ascendentes hacia las propias fuentes superficiales. Todo esto provocó que estas enfermedades fueran unas de las principales causas de muerte relacionadas con enfermedades relacionadas con el agua contaminada.

### **Infecciones por protozoarios.**

La principal enfermedad transmitida por los protozoarios es la disentería amibiana (amibiasis) que es una enfermedad fácil de controlar si se trata a tiempo y se previene. Los huevos y larvas de las lombrices intestinales (helminthos) pueden llegar a las corrientes acuáticas desde portadores humanos o animales, ya sea en forma directa o por deslaves del suelo. Estos huevos y larvas son, relativamente pocos y son organismos bastantes grandes. Las infecciones causadas por lombrices son esporádicas, ocurren en condiciones muy insalubres o por deficiencia en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. En estas condiciones, una gran masa de excremento llega hasta los consumidores más cercanos y los infecta, en estos casos la concentración de cloro residual que existe en los sistemas de abastecimiento, resulta insuficiente para destruir los contaminantes de tal magnitud.

### **Infecciones por virus en el agua.**

Las enfermedades transmitidas por los virus son más difíciles de tratar y controlar debido a que existen cerca de 100 virus diferentes, uno de los más importantes es el que produce la hepatitis infecciosa. Dentro de la clasificación de las bacterias se encuentran los grupos Echo y Reo los cuales son los que producen síntomas entéricos en el ser humano. Los síntomas de infecciones producidas por virus son: irritaciones en la piel, molestias respiratorias e inflamación de los órganos de cuerpo (ojos, cerebros, médula espinal, pulmones, corazón e hígado). Debido al tamaño de los microorganismos facilita que se puedan transportar a través del agua y corrientes pequeñas.

El agua puede ser fuente de enfermedades producidas por virus si el tanque donde se almacena esta cerca de una fuente de descarga de agua residual y se presentan grandes riesgos de contaminación, si esta agua es empleada para abastecer a comunidades pequeñas existe el riesgo de que se produzca una epidemia de hepatitis.

## ANEXO.-ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Como se puede ver la presencia de los microorganismos en el agua, origina una contaminación en el agua y la hacen impropia para el consumo humano. Por lo tanto el tratamiento del agua para eliminar las bacterias y virus, es una etapa necesaria para lograr que le agua sea considerada como agua potable.

La eliminación de estos microorganismos dañinos para la salud de los seres humanos, solo se puede llevar a cabo mediante el tratamiento de tipo biológico y en casos muy extremos por medio de tratamientos de tipo químico en los cuales es un proceso de desinfección tardado y costoso con el cual el costo de la planta de potabilización se aumenta considerablemente.

Las normas oficiales mexicanas (NOM) establecen los parámetros de la calidad a que deben sujetarse las aguas tanto antes como después de su consumo. Es decir, antes del consumo debe cumplir con ciertos parámetros para evitar principalmente que se transmitan enfermedades a través del agua, una vez que el agua ha sido utilizada, no debe ser retomada a los vasos receptores sin un tratamiento previo, esto para que el agua de descarga cumpla con las normas de calidad establecidas en las normas antes mencionadas.

En la evolución de las normas de calidad del agua y la construcción de plantas de tratamiento que cumplan con las normas actuales, los ingenieros han avanzado desde prescribir eficiencias en la remoción, hasta la definición de la calidad de agua que se desea. En un principio se acepta que la remoción de bacterias por auto purificación se obtenía un 99.99 % de eficiencia independientemente de la carga de bacterias que contenía el agua a tratar. Sin embargo en la actualidad esta norma no se cumple y por lo tanto no es aceptada.

Dentro de las normas de calidad del agua se establece el llamado Índice de Calidad del Agua el cual establece los componentes que debe contener esta para uso potable y sus características tanto físicas como químicas, asimismo establece los límites permisibles de la concentración que puede tener el agua de cada uno de estos compuestos para que el agua se acepte como potable.

## ANEXO.-ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Todos estos parámetros son los que debe cumplir el agua para ser utilizada como agua potable para ello es necesario que le agua sea tratada para que cumpla con ellos, esto se puede lograr haciendo un tratamiento adecuado de acuerdo con los contaminantes que contenga la fuente de donde se toma el agua para hacerla potable.

El agua debe ser tomada de la mejor fuente disponible. Si esta fuente no se puede proteger de la contaminación adecuadamente, entonces el agua se debe tratar para asegurar que cumple con las normas de calidad establecidas para que el agua sea usada para consumo humano.

Los parámetros que establece el llamado Índice de Calidad (ICA) son los siguientes para el caso del agua potable

### 1.- Parámetros organolépticos

Parámetro	Unidad	Limite permisible
Color	Mg/l.tp	15
Turbiedad	U.J:	2
Olor	T x Dlut	2-12
Sabor	T x Dlut	2-12

### 2.- Parámetros fisico-químicos

Temperatura	C	25
Hp	Mg/l	6.5-9
Cloruros	Mg/l	250
Sulfatos	Mg/l	250
Calcio	Mg/l	50
Magnesio	Mg/l	150
Sodio	Mg/l	150
Potasio	Mg/l	12
Aluminio	Mg/l	0.2
T.A.C	F	50
Residuos sólidos	Mg/l	1500

## ANEXO.-ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

### 3.- Sustancias indeseables.

Nitratos NO3	µg/l	50
Nitritos NO2	µg/l	0.1
Amonio	µg/l	0.5
N- Kjeldahl	µg/l	1.0
HC disueltos	µg/l	10
Fenoles	µg/l	5
Detergentes	µg/l	200
Magnesio	µg/l	50
Cobre	µg/l	1.0
Cínc	µg/l	5.0
Fósforo	µg/l	5.0
Fluoruros	µg/l	1.5

### 4.- Sustancias tóxicas:

Arsénico	µg/l	50
Cadmio	µg/l	5.0
Cianuro	µg/l	50
Cromo	µg/l	50
Mercurio	µg/l	1.0
Níquel	µg/l	50
Plomo	µg/l	50
Antimonio	µg/l	10
Selenio	µg/l	10

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## ANEXO.-ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

### 5.- Parámetros Microbiológicos.

Coniformes totales	N/100 ml	0
Coniformes termo tolerantes	N/100 ml	0
Etrepococos	N/100 ml	≤ 5
Clostridio	N/100 ml	0
Estafilococos	N/100 ml	0
Salmonera	N/5l	0
Entero virus	n/10l	0

### Reducción de las infecciones mediante el control de la calidad del agua.

La historia del abastecimiento de agua y la evacuación de los desechos en muchas comunidades demuestra lo que se puede lograr mediante un buen control de la calidad del agua. El control de la calidad del agua, tiene asignada una responsabilidad dual aunque en esencia es unificada, tanto para el abastecimiento de agua como para la remoción de las aguas residuales; esto se puede cumplir cuando dicho control establece y respeta los objetivos razonables y comunes, así como las normas necesarias.

En la escala de calidad de las aguas se encuentran, en un extremo, los objetivos y normas para el logro de agua potable y de buen sabor, y en el otro, los requisitos de la calidad para las descargas de las aguas usadas que se descargan en los cuerpos receptores destinados para este fin.

Entre ambos extremos están los criterios de la calidad para el agua para los diferentes usos que se tienen como son; agua para la industria, para uso recreativo, agua para riego, para pesca, para la generación de energía eléctrica, entre muchos otros usos que tiene el recurso hidráulico.

El control de la calidad del agua, implica que los ingenieros deben conocer las propiedades que poseen los diferentes tipos de aguas que existen en la tierra así se encuentran: el agua dulce, agua de mar o salada, agua subterránea, agua proveniente de los deshielos de las grandes montañas, etc.

El adecuado control de la calidad del agua, solo se logra haciendo que los muestreos del agua sean efectuados conforme las normas y que las pruebas de laboratorio se lleven a cabo con el más alto control para que estas sean confiables y que se haga un tratamiento que cumpla con los parámetros para que el agua que es tratada cumpla con las normas y esto se ve reflejado en los posteriores estudios que se hacen en la población donde se pretende que el agua sea de la calidad adecuada.

Todo esto es un claro ejemplo de la importancia de tener un buen control de calidad del agua que es abastecida a las grandes ciudades de todo el mundo para tratar de que la población tenga el más mínimo riesgo de contraer alguna enfermedad que pudiera ser transmitida por el agua en malas condiciones o contaminada.

**BIBLIOGRAFIA:**

**HIDROLOGIA**

Rolando Springall

Facultad de Ingeniería UNAM

**PURIFICACION DE AGUAS Y TRATAMIENTO Y REMOCIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

Gordon Maskew Fair

Ed. Limusa

**ABASTECIMIENTO DE AGUA Y REMOCIÓN DE AGUA RESIDUAL (TOMO 1)**

Gordon Maskew Fair

Ed. Limusa

**MANUAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

Departamento de Sanidad del Estado de Nueva Cork

Ed. Limusa 1979

**HIDROLOGIA MODERNA**

Raphael G. Kazman

Compañía Editorial Continental 1974

**ESTADISTICAS DEL MEDIO AMBIENTE DE 1997**

INEGI, SEMARNAP

**CALIDAD Y CANTIDAD DEL AGUA EN MEXICO**

Mauricio Athié Lambarri

Editorial Universo Veintiuno.