



308917  
9  
**UNIVERSIDAD PANAMERICANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

CON ESTUDIOS INCORPORADOS A LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**"ESTUDIO DE LA PLANTA DE BOMBEO DEL  
MUNICIPIO DE CHIMALHUACÁN"**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**AREA: INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**  
PRESENTAN:

**LEONEL DOMÍNGUEZ REX**

**GUILLERMO ALBERTO GARGOLLO CHÁVEZ**

**FERNANDO RAYÓN JEREZ**

**JOSÉ FRANCISCO VELASCO PONCE DE LEÓN**

**ERNESTO WING ÁVILA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
M.I. ALVARO AYALA**

**MÉXICO D.F.**

**2002**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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.

# ÍNDICE

<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1</b>	
<b>Antecedentes</b> .....	<b>3</b>
1.1 <b>Introducción</b> .....	<b>3</b>
1.2 <b>Descripción</b> .....	<b>3</b>
1.3 <b>Sistemas de alcantarillado</b> .....	<b>5</b>
1.4 <b>Clasificación de tuberías y accesorios de alcantarillado</b> .....	<b>5</b>
1.4.1 <b>Clasificación de las tuberías según su tamaño</b> .....	<b>5</b>
1.4.2 <b>Accesorios de alcantarillado</b> .....	<b>6</b>
1.5 <b>Caudal de alcantarillado</b> .....	<b>7</b>
1.5.1 <b>Caudal de aguas residuales domésticas</b> .....	<b>7</b>
1.5.1.2 <b>Caudal máximo instantáneo</b> .....	<b>8</b>
1.5.1.3 <b>Caudal máximo extraordinario</b> .....	<b>9</b>
1.5.2 <b>Caudal industrial y comercial</b> .....	<b>9</b>
1.5.3 <b>Caudal de aguas pluviales</b> .....	<b>10</b>
1.6 <b>Estaciones de bombeo</b> .....	<b>10</b>
1.6.1 <b>Elementos de la estación de bombeo</b> .....	<b>11</b>
1.7 <b>Clasificación de bombas</b> .....	<b>12</b>
1.7.1 <b>Turbomáquinas</b> .....	<b>13</b>
1.7.1.1 <b>Bombas centrífugas</b> .....	<b>13</b>
1.7.2 <b>Bombas de desplazamiento positivo</b> .....	<b>15</b>
1.7.2.1 <b>Rotatorias</b> .....	<b>15</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

1.7.2.2	Reciprocantes.....	17
1.8	Pérdidas del equipo de bombeo .....	18
1.9.	Selección de pozo húmedo o cárcamo.....	24
1.10	Cálculo de la potencia del equipo de bombeo .....	25

## Capítulo 2

<b>Planteamiento del Problema.....</b>	<b>27</b>	
2.1	Introducción .....	27
2.2	Antecedentes.....	27
2.3	Planteamiento del problema .....	31
2.4	Necesidades .....	31
2.5	Objetivo.....	31
2.6	Alcances .....	32
2.7	Requerimientos y especificaciones.....	32

## Capítulo 3

<b>Alternativas de Solución.....</b>	<b>34</b>	
3.1	Introducción .....	34
3.2	Descripción .....	34
3.3	Método de solución.....	35
3.4	Datos iniciales.....	35
3.5	Proyección de población al año 2013 .....	37
3.6	Cálculo de caudal medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario.....	37
3.7	Alternativas de solución .....	38
3.7.1	Incremento en el número de equipos de bombeo.....	38

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

3.7.1.1	Restricciones de dimensiones del cárcamo.....	39
3.7.1.2	Cálculo de pérdidas en el sistema .....	40
3.7.1.3	Cálculo de potencia del equipo.....	50
3.7.1.4	Cálculo de los costos de los equipos de bombeo .....	53
3.7.1.5	Resumen de resultados.....	55
3.7.2	Reemplazo de equipos .....	55
3.7.2.1	Restricciones de dimensiones del cárcamo.....	56
3.7.2.2	Cálculo de pérdidas en el sistema de bombeo .....	60
3.7.2.3	Cálculo de potencia de los equipos de bombeo .....	60
3.7.2.5	Resumen de resultados.....	61
3.7.3	Construcción de un cárcamo paralelo al cárcamo existente.....	61
3.7.3.1	Restricciones de dimensiones del cárcamo.....	62
3.7.3.2	Cálculo de pérdidas en el sistema de bombeo .....	66
3.7.2.3	Cálculo de potencia de los equipos de bombeo .....	66
3.7.2.4	Costos de reemplazo de equipos de bombeo.....	66
3.7.3.5	Resumen de resultados.....	67

**Capítulo 4**

<b>Resultados.....</b>	<b>69</b>	
4.1	Introducción .....	69
4.2	Valoración.....	69
4.2.1	Valoración del número de equipos .....	69
4.2.2	Valoración de la potencia de los equipos.....	69
4.2.3	Valoración de la capacidad de bombeo .....	69
4.2.4	Valoración de restricción de dimensión del cárcamo.....	69
4.2.5	Valoración de costos de las alternativas.....	70

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

4.3	Valoración general de las alternativas .....	70
4.4	Selección de la mejor alternativa .....	71

<b>Conclusiones</b> .....	73
---------------------------	----

<b>Generación de conciencia</b> .....	75
---------------------------------------	----

**Bibliografía**

**Apendices**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## Introducción

En todo asentamiento humano es indispensable el abastecimiento de agua potable y desalojo de aguas residuales. El Valle de México es una zona lacustre por lo que resulta costoso el suministro de agua y a su vez su desalojo de aguas residuales.

Generalmente el desalojo de aguas residuales se realiza basado en escurrimiento por gravedad hasta la descarga en ríos o plantas de tratamiento. En el caso del Valle de México los ríos y canales de aguas residuales con los que se cuenta para estos fines, quedan muchas veces arriba del nivel de desalojo debido a las pocas pendientes, por esa razón necesitamos plantas de bombeo para elevar el nivel de agua hasta los ríos o canales. Estas plantas de bombeo se pueden localizar fácilmente cerca de un río o canal y se denominan cárcamos.

En el caso particular y estudio de este trabajo de tesis, se tiene una planta de bombeo denominada cárcamo Castillo, éste se encuentra en la zona norte del municipio de Chimalhuacán, Estado de México. Esta zona de recientes asentamientos irregulares se encuentra a varios metros debajo del nivel del río Chimalhuacán, por lo que en toda la región existen cárcamos de bombeo para de esta manera poder desalojar las aguas residuales, ya que es imposible el desalojo por gravedad.

Los cárcamos por lo general son diseñados para una vida útil de entre 10 y 20 años ya que son obras hidráulicas indispensables para desarrollo urbano y de construcción en una sola etapa, de lo contrario resultarían ineficientes.

El cárcamo Castillo ha presentado problemas de inundaciones debido a su capacidad de bombeo reducida y al rápido crecimiento de la población de esta zona. Esto se presenta a causa de los asentamientos irregulares, por lo mismo esta obra fue subestimada. El propósito de este trabajo de tesis es buscar una solución a este problema y evitar inundaciones en la zona. Para cumplir con este propósito se desarrolló de la siguiente manera.

En el primer capítulo se realiza una descripción general de los elementos que componen una sistema de alcantarillado o desalojo de aguas residuales. En estos sistemas de alcantarillado la planta de bombeo es de gran importancia. Se detallan los elementos que componen la planta de bombeo. Así mismo se presentan las bases técnicas para realizar los cálculos necesarios, objeto de esta tesis.

En el segundo capítulo se hace una descripción a detalle del funcionamiento y problemática del cárcamo Castillo, presentando su ubicación, elementos que la integran, así como datos iniciales tales como población, área, etc., con el fin de obtener las necesidades y objetivo de este trabajo de tesis.

En el tercer capítulo se analizan los datos ya presentados para proponer varias alternativas de solución; se presenta un método de solución y se calculan las necesidades de bombeo para el año 2013. Con estos resultados se analizan las restricciones del cárcamo, cálculo de pérdidas y potencia de varios equipos, así como costos.

En el cuarto capítulo se analizan todas las alternativas que se plantearon en el tercer capítulo y se propone la mejor solución. Por último presentaremos las conclusiones de este trabajo.



# CAPÍTULO 1

## Antecedentes

### 1.1 Introducción

En este capítulo se revisa la terminología de los elementos básicos que forman un sistema de alcantarillado dando una descripción de los mismos, así como una clasificación de bombas y pérdidas de altura en el sistema de bombeo.

### 1.2 Descripción

El sistema de alcantarillados consiste en una serie de tuberías y obras complementarias, necesarias para recibir y evacuar las aguas residuales de la población y los escurrimientos superficiales producidos por la lluvia. Las obras de alcantarillado u obras de aguas residuales incluyen todas las estructuras físicas requeridas para la recolección, tratamiento y disposición, tales como atarjeas, colectores secundarios, colectores principales, emisarios finales e interceptores (Figs. 1.1 y 1.2), así como obras complementarias tales como pozos de inspección, entradas, sifones invertidos, sistemas alternativos de alcantarillas, bombeo de aguas residuales y accesorios diversos.

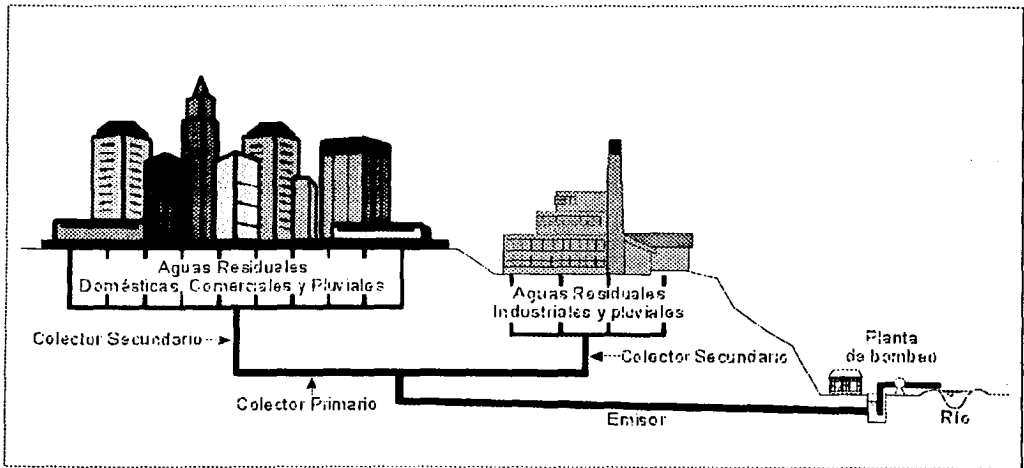


Figura 1.1 Diagrama de tuberías

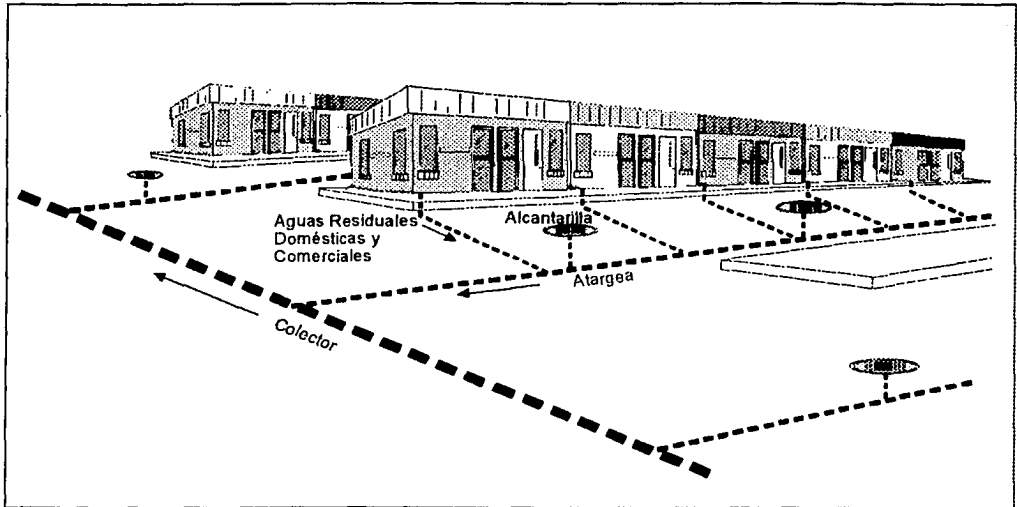


Figura 1.2 Diagrama local de tuberías

El agua residual es el residuo líquido transportado por una alcantarilla, el cual puede incluir descargas domésticas, industriales y comerciales, así como también aguas de lluvia.

- **Aguas residuales domésticas**

Son aquellas provenientes de inodoros, lavaderos, cocinas y otros elementos domésticos.

- **Aguas residuales comerciales e industriales**

Se originan de los desechos de procesos industriales o manufactureros y, debido a su naturaleza pueden contener elementos tóxicos.

- **Aguas de lluvia**

Proviene de la precipitación pluvial y debido a su efecto de lavado sobre tejados, calles y suelos, pueden contener una gran cantidad de sólidos suspendidos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 1.3 Sistemas de Alcantarillados

Los sistemas de alcantarillados se clasifican según el tipo de agua que conduzca, así tenemos:

- **Alcantarillado sanitario**

Es el sistema de recolección diseñado para llevar exclusivamente aguas residuales domésticas e industriales.

- **Alcantarillado pluvial**

Es el sistema de evacuación del escurrimiento superficial producido por la lluvia.

- **Alcantarillado combinado**

Es un alcantarillado que conduce simultáneamente las aguas residuales y las aguas de lluvia.

### 1.4 Clasificación de Tuberías y accesorios de alcantarillado

#### 1.4.1 Clasificación de las tuberías según su tamaño

- **Atargeas o tubería inicial**

Reciben únicamente los desagües provenientes de los domicilios.

- **Colector secundario**

Recibe el desagüe de dos o más tuberías iniciales.

- **Colector principal**

Capta caudal de dos o más colectores secundarios.

- **Emisor final**

Conduce todo el caudal de aguas residuales o lluvias a su punto de entrega, que puede ser una planta de tratamiento o un vertimiento a un cuerpo de agua como un río, lago o el mar.

- **Interceptor**

Es un colector colocado paralelamente a un río o canal.

#### 1.4.2 Accesorios de alcantarillado

- **Pozos de inspección**

Suministran el acceso a las alcantarillas para inspección y limpieza y están localizados en los cambios de dirección, cambios en el tamaño de la tubería, cambios sustanciales en pendiente y a intervalos de 90 a 150 metros en líneas rectas.

- **Entradas**

Son estructuras a través de las cuales las aguas lluvias entran a las alcantarillas. Es necesario que su diseño y localización consideren a cuánta distancia se permitirá que el agua se extienda sobre las calles bajo distintas condiciones. La profundidad permitida del agua en las cunetas en la mayoría de las ciudades está limitada a 150 mm en calles residenciales.

- **Sifón invertido**

Es una sección de alcantarilla que cae bajo la línea de pendiente hidráulica a fin de evitar un obstáculo tal como una carrilera o una carretera, un metro o una corriente. Tales alcantarillas fluirán llenas y estarán bajo presión, de ahí que deban estar diseñadas para resistir presiones internas bajas así como cargas externas. Es importante que la velocidad sea mantenida relativamente alta (al menos 0.9 m/s) para evitar la deposición de sólidos en lugares que serían muy difíciles o imposibles de limpiar.

- **Sistemas alternativos de alcantarillas**

Para facilitar la limpieza e inspección, las alcantarillas sanitarias por gravedad generalmente son al menos de 200 mm de diámetro. Para mantener velocidades de auto limpieza en flujos bajos, la alcantarilla debe tener una gran pendiente; por lo tanto, las alcantarillas por gravedad instaladas en áreas de densidad poblacional pueden ser

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

muy costosas. Los sistemas de recolección alternativos han sido desarrollados para que sean útiles en cualquier lugar, aunque son en particular valiosos donde las fuentes de flujo están ampliamente dispersas y el flujo total es bajo.

- **Bombeo de aguas residuales**

En muchas comunidades es posible transportar toda el agua residual a un lugar de tratamiento central o punto de descarga sólo mediante un sistema que funcione por gravedad. En otras áreas que tienen terreno plano, más de un área de drenaje, secciones situadas en zonas bajas o complicaciones similares es posible que se requiera bombeo. El bombeo también puede ser requerido hacia o dentro de plantas de tratamiento de aguas residuales; en los sótanos de edificios que se encuentran por debajo del nivel de la alcantarilla; y para descargar el agua residual tratada a corriente que está por encima de la altitud de la planta de tratamiento.

- **Accesorios diversos**

Las alcantarillas combinadas pueden incorporar reguladores y uniones formadas especialmente. Los reguladores son dispositivos usados para desviar el agua de una alcantarilla a otra o para desviar agua de lluvia alrededor de una planta de tratamiento de aguas residuales. Las uniones en las grandes alcantarillas de aguas de lluvia no son hechas en los pozos de inspección, sino por unión de las líneas en forma gradual que minimizan las pérdidas de cabeza.

## **1.5 Caudal de alcantarillado**

El caudal de aguas residuales de una población está compuesto por los siguientes aportes:

- Aguas residuales domésticas
- Aguas residuales industriales y comerciales
- Aguas pluviales

### **1.5.1 Caudal de aguas residuales domésticas**

El punto de partida para la cuantificación de este aporte es el caudal medio diario, el cual se define como la contribución durante un

TESIS CON  
FALLA DE CUBIEN

periodo de 24 horas, obtenida como el promedio durante un año[1]. Cuando no se dispone de datos de aportes de aguas residuales, se debe cuantificar este aporte con base en el consumo de agua potable obtenido del suministro de agua, éste se calculará a través del gasto medio, gasto máximo extraordinario e instantáneo.

$$Q_{med} = A \cdot P / 86400 \quad (1.1)$$

Donde:

$Q_{med}$	= Caudal medio ( $m^3/s$ )
$A$	= Aportación de aguas negras ( $m^3$ )
$P$	= población de proyecto
86,400	= Es la conversión de segundos al día

### 1.5.1.2 Caudal máximo instantáneo

La estimación del caudal máximo instantáneo se hace afectando el gasto medio por el número de Harmon, por lo que:

$$Q_{mi} = M \times Q_{med} \quad (1.2)$$

Donde:

$Q_{mi}$	= gasto máximo instantáneo
$M$	= No. de Harmon
$Q_{med}$	= gasto medio

El número de Harmon se calcula de la siguiente manera:

$$M = 1 + \left( \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \right) \quad (1.3)$$

[1] Ricardo A. López Cualla, Diseño de acueductos y alcantarillados, Alfaomega, Colombia, 2000, pág. 293

Donde:

M = el no. de Harmon

P = la población de proyecto en miles

En los casos que la población sea mayor de 182,250 habitantes el número de Harmon se considerará como constante de  $1.80[{}^2]$ .

### 1.5.1.3 Caudal máximo extraordinario

En función de este caudal se determina el diámetro adecuado de los conductos de la red y aquí se considera gastos en donde se puede presentar una precipitación pluvial extraordinaria como lo serían las trombas; su valor se calcula multiplicando el gasto máximo instantáneo por el coeficiente de seguridad, es decir:

$$Q_{me} = C_s \times Q_{mi} \quad (1.4)$$

Donde:

$Q_{me}$  = caudal máximo extraordinario

$C_s$  = coeficiente de seguridad

$Q_{mi}$  = caudal máximo instantáneo

El coeficiente de seguridad se va a considerar en proyectos de redes de alcantarillado, éste toma en cuenta los excesos de aportaciones de aguas pluviales y por lo general fluctúa entre 1.15 y 1.5 [3].

### 1.5.2 Caudal Industrial y comercial

Este aporte de aguas residuales en la industria y comercio debe ser evaluado para cada caso en particular, ya que varía de acuerdo con

---

[2] Pedro López Alegría, Abastecimiento de Agua Potable, Alfaomega, 2002, México, página. 282

[3] Pedro López Alegría, Abastecimiento de agua potable, Alfaomega, 2002, México, página. 49

el tipo y tamaño de la empresa. Para pequeñas puede tomarse un aporte medio de 1.5 l/s ha [4].

Para sectores netamente industriales o comerciales se adopta un aporte medio diario de 2.0L/s ha., pero es necesario ponderar este valor en zonas mixtas, comerciales y residenciales [5].

### 1.5.3 Caudal de aguas pluviales

En general, puede ser empleado cualquier modelo de escurrimiento de lluvia. Para superficies menores de 1,300 ha. se recomienda usar el método racional, dada su simplicidad. Sin embargo para áreas mayores de 1,300 ha se debería utilizar un modelo más apropiado a las características de la cuenca [6].

#### El método racional

Este modelo establece que el caudal superficial por precipitación es:

$$Q=C*I*A \quad (1.5)$$

En donde

Q= caudal superficial (l/s)

C= Coeficiente de escurrimiento de lluvia

I= intensidad promedio de la lluvia (l/s ha)

A= Área de drenaje (ha)

### 1.6 Estaciones de Bombeo

Cuando hay la necesidad de utilizar el bombeo en un sistema de acueductos, se debe tener en cuenta que esta alternativa resultará más costosa en términos de operación y mantenimiento en comparación con las alternativas posibles de conducción por gravedad.

Se deberá estudiar además la disponibilidad de energía eléctrica o combustible y el acceso a las instalaciones.

[4] Ricardo A. López Cualla, Diseño de acueductos y alcantarillados, Alfaomega, Colombia, 2000, pág. 295

[5] Ricardo A. López Cualla, Diseño de acueductos y alcantarillados, Alfaomega, Colombia, 2000, pág. 295

[6] Ricardo A. López Cualla, Diseño de acueductos y alcantarillados, Alfaomega, Colombia, 2000, pág. 311



### **1.6.1 Elementos de la estación de bombeo**

A grandes rasgos se pueden observar los siguientes elementos en toda estación de bombeo:

- **Red de colectores**

Sistema que capta todas las descargas y las conduce al cárcamo de bombeo

- **Sistema de rejillas**

Sistema que capta partículas de gran tamaño que lleguen en el sistema de colectores.

- **Pozo húmedo o cárcamo**

Es el tanque donde llega el agua para ser bombeada. Debe ser diseñado de acuerdo al caudal máximo diario previsto y su construcción debe realizarse en una sola etapa. El período de retención del agua en el tanque no debe ser superior a los 5 minutos, con el fin de evitar la posible sedimentación de partículas en el tanque. Este pozo debe ser provisto de un sistema de desagüe y limpieza adecuado.

- **Sistema de equipos de bombeo**

Son los equipos que se encargarán de extraer el agua del pozo húmedo o cárcamo.

- **Línea de descarga.**

Es la línea de tubería donde los equipos de bombeo depositan el agua extraída, éste llevará el agua residual al punto donde se desea descargar.

- **Subestación**

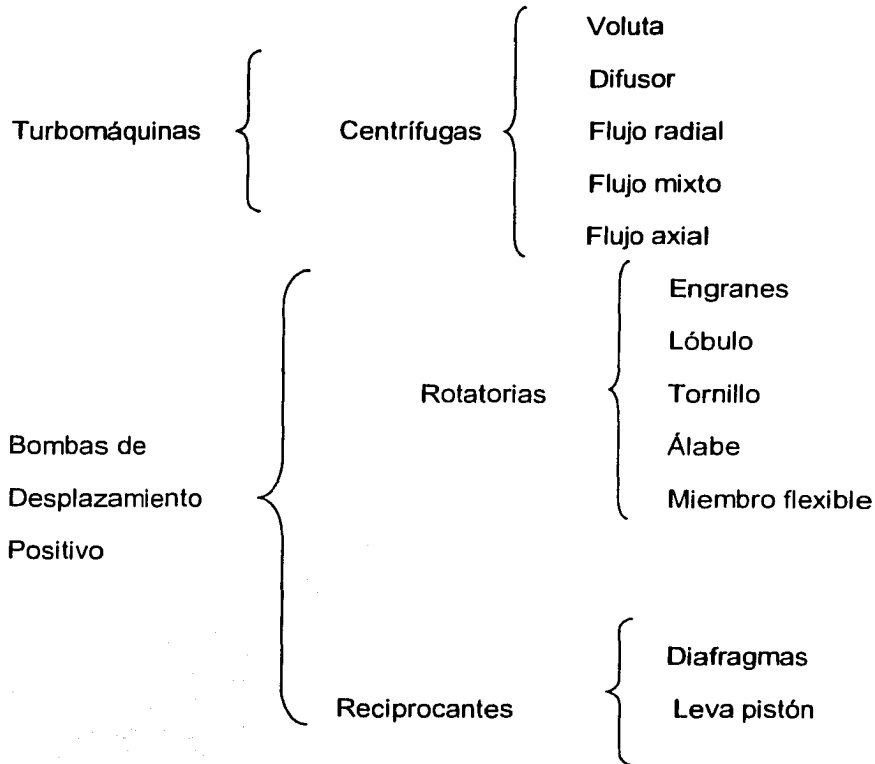
Es donde se encuentra el transformador y el sistema de medición de la compañía de luz.

- **Sistema interruptor**

Aquí se ubican los sistemas de protección y de control de los equipos de bombeo.

## 1.7 Clasificación de bombas

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es conveniente hacer una clasificación: turbomáquinas o bombas dinámicas y las de desplazamiento positivo; esta clasificación se aplica a la mecánica de movimiento del líquido y no al servicio para el que se han diseñado [7].



### **1.7.1 Turbomáquinas**

Estas bombas se caracterizan por los grandes gastos que manejan, las presiones reducidas o medias y por manejar los fluidos de todo tipo.

Debido al progreso de los motores eléctricos se ha propiciado el desarrollo de las turbomáquinas con otras características como que sean más ligeras y baratas; siendo que en un principio las bombas dinámicas tenían la desventaja de su baja eficiencia, sin embargo, las mejoras obtenidas por las continuas investigaciones, las han puesto a la cabeza del aspecto competitivo, teniendo a su favor las condiciones de descarga constante a una presión.

#### **1.7.1.1 Bombas centrífugas**

El principio básico de funcionamiento es guiar el líquido a través del impulsor para convertir la velocidad en presión auxiliado por el diseño de la carcasa y liberando finalmente el fluido por el tubo de descarga.

Las bombas centrífugas, a diferencia de las bombas de desplazamiento positivo, operan a velocidad constante, pueden suministrar cualquier capacidad de cero al máximo dependiendo de la columna, las bombas centrífugas cuentan con curvas características que muestran la relación entre columna de la bomba, capacidad, potencia y eficiencia para un diámetro específico de impulsor y un tamaño determinado de carcasa; estas curvas por lo general se obtienen por pruebas realizadas en laboratorio.

- **Voluta**

El principio de funcionamiento es debido a que la voluta no es simétrica, existe un desbalanceo de presiones, lo cual induce al impulsor a descarga en la carcasa que se expande progresivamente, provocando que la velocidad del fluido se reduzca gradualmente, esto genera que la energía se convierta en presión estática (Fig. 1.3).

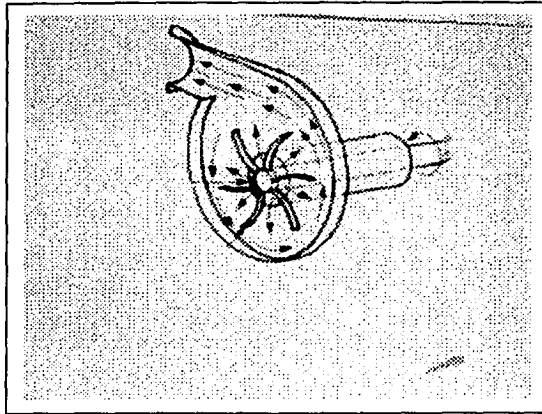


Figura 1.3 Bomba tipo voluta

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Difusor**

Consiste en una serie de aspas estacionarias que rodean al rotor o impulsor. Esos pasajes con expansión gradual cambian de dirección el flujo del líquido y convierten la energía de velocidad a columna de presión.

- **Flujo radial**

En este caso el líquido entra a la bomba en un plano paralelo al eje de rotación y descarga con un ángulo de  $90^\circ$  y se operan con velocidades de 3600 r.p.m., tienen impulsores generalmente angostos de baja velocidad específica, y desarrollan cargas altas, de donde la presión se genera por la fuerza centrífuga.

- **Flujo mixto**

En la bomba de flujo mixto el líquido entra a la bomba en el plano paralelo al eje de rotación y descargando el impulsor con un ángulo de  $40^\circ$  a  $80^\circ$  del eje, cuentan con una combinación de flujo axial y radial, son bombas que por sus condiciones servirán para un gasto y cargas intermedias, teniendo una velocidad específica mayor a las radiales, este impulsor se puede encontrar ya sea cerrado o semiabierto.

- **Flujo axial**

Se desarrolla entrando el líquido paralelo al eje de rotación y descargando en la misma dirección, el diámetro del impulsor es el mismo en el lado de la succión y en el de descarga, el factor de empuje es mayor que las de flujo mixto y radial.

## **1.7.2 Bombas de desplazamiento positivo**

En las bombas de desplazamiento positivo el fluido que se desplaza siempre está contenido entre la carcasa y el elemento impulsor que puede ser un émbolo, un diente de engrane, un aspa, un pistón, etc., éstas son muy complejas en su funcionamiento y cuentan con una gran gama de componentes y se dividen en dos grupos principales: las bombas reciprocantes (diafragma y pistón) y las bombas rotatorias (engranes, espas, leva, tornillos, etc.)

### **1.7.2.1 Rotatorias**

Las bombas rotatorias por lo general son de desplazamiento positivo, consiste en una carcasa fija que tiene engranes, espas, segmentos, tornillos, etc., que operan con un claro mínimo, en lugar de impulsar el líquido; como la bomba centrífuga, la bomba rotatoria lo atrapa, lo empuja contra la carcasa fija proporcionando así un flujo discontinuo. Las aplicaciones típicas incluyen el paso del líquido de todas viscosidades, procesos químicos, alimentos, descargas marinas, lubricación a presión, pintura a presión, sistema de enfriamiento, gas licuado ( propano, butano, etc.) y un gran número de servicios industriales; por lo general se considera a las bombas rotatorias para flujos viscosos, esto no es una limitante a este servicio, puede manejar cualquier líquido que no contenga partículas sólidas.

Las restricciones son para los líquidos que contienen sustancias abrasivas o corrosivas que pueden causar desgaste prematuro en las partes del equipo; no pueden ser usadas en lugares donde estén funcionando sin bombear el fluido.

- **Engrane**

Como su nombre lo indica el elemento que desplaza el fluido es un engrane y hay de dos tipos; uno de éstos son los engranes externos: el líquido entra por el área de succión, al moverse los engranes que están ubicados uno arriba y otro en la parte inferior, al moverse provocan que el líquido pase en medio quedando preso en el espacio que hay entre los engranes, saliendo por el área de expulsión. El otro tipo es el de engrane interior: este tipo tiene un rotor con dientes cortados internamente, éstos encajan en un engrane loco, cortado externamente, puede usarse un elemento en forma de media luna creciente para evitar que el líquido pase de nuevo al lado de la succión de la bomba (Fig. 1.4).

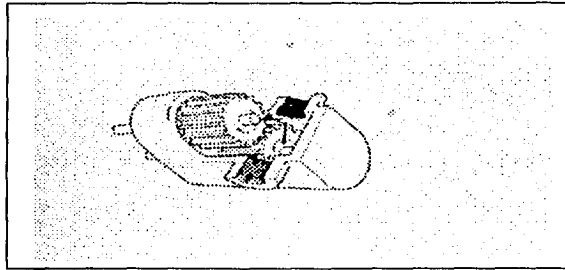


Figura 1.4 Bomba de Engrane

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Lobulares**

Éstas se asemejan a las bombas de engranes en su forma de acción, teniendo dos, tres o cuatro lóbulos, los rotores se sincronizan para obtener una rotación positiva, esta bomba en su descarga no será de presión constante.

- **Tornillo**

Consta de un rotor en forma de espiral que gira excéntricamente, lo que provoca que el líquido se desplace a lo largo del tornillo y de la parte interna de la carcasa, genera un gasto continuo, puede haber de uno o múltiples tornillos (Fig. 1.5).

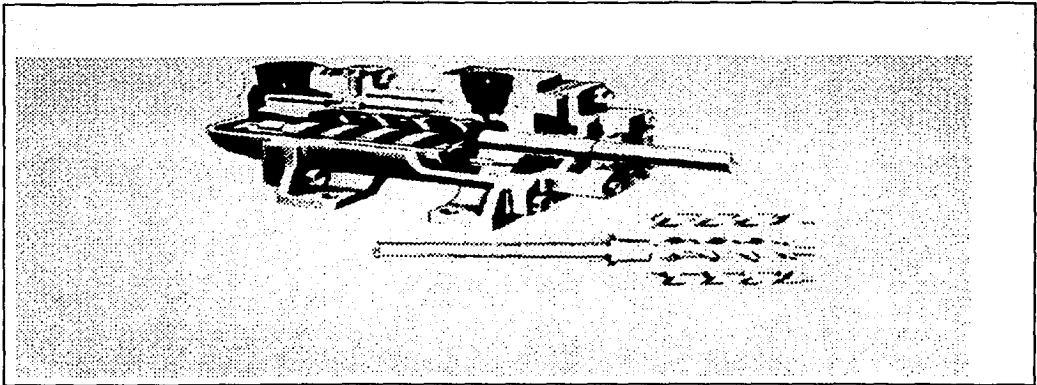


Figura 1.5 Bomba de Tornillo

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Álabe**

También llamada de aspas, éstas se acoplan a un rotor que al girar mueve las aspas provocando que el líquido sea atrapado en las aspas y con el movimiento es forzado a salir por un tubo de descarga.

- **Miembro flexible**

En ésta el bombeo del fluido y la acción de sellado depende del miembro flexible, que puede ser un tubo o una corona de aspas que al moverse por encima del miembro flexible desplaza el líquido que se encuentra en el interior.

### 1.7.2.2 Reciprocantes

Las bombas reciprocantes son equipos de desplazamiento positivo, descargan una cantidad definida, pero no continua, se caracterizan por manejar gastos pequeños, altas presiones y líquidos limpios.

- **Diafragma**

Esta bomba funciona con diafragma que es un elemento plástico no metálico; con estas propiedades le permite soportar mejor la acción corrosiva o erosiva que las

bombas de pistón. El funcionamiento es muy sencillo ya que el diafragma es accionado por un elemento mecánico que levanta la parte centro generando una succión; después soltándolo y regresando a su posición original, provoca un desplazamiento del fluido. La limitante es la capacidad de presión y de caudal ya que depende de la elasticidad del diafragma.

- **Leva – pistón**

También llamada de émbolo rotatorio. Una de las principales características es la manera en la cual van a accionar, que puede ser impulsada por un motor de vapor, eléctrico o de combustión interna; consiste de un pistón excéntrico impulsado por una biela, al desplazarse el pistón hacia fuera de la carcasa éste absorbe el fluido y se abre el sistema de admisión, posteriormente el pistón regresa a su posición original comprimiendo en una carcasa el fluido abriendo el sistema de expulsión, para dejar salir el fluido (Fig. 1.6).

### 1.8 Pérdidas del equipo de bombeo

La ecuación fundamental de flujo en tuberías es la ecuación de Bernoulli, la cual se escribe entre dos puntos como:

$$P_1/\gamma + v_1^2/2g + z_1 = P_2/\gamma + v_2^2/2g + z_2 + CDT_{1-2} \quad (1.6)$$

Por lo general, los términos en la ecuación se denominan cabeza de presión  $P/\gamma$ , cabeza de velocidad  $V^2/2g$ , cabeza estática  $z$  y pérdida de cabeza  $CDT_{1-2}$ . En ninguna circunstancia de interés práctico, las pérdidas de cabeza serán insignificantes; por esto es necesario definir la magnitud de tales pérdidas y sus variaciones antes de considerar cualquier aplicación real.



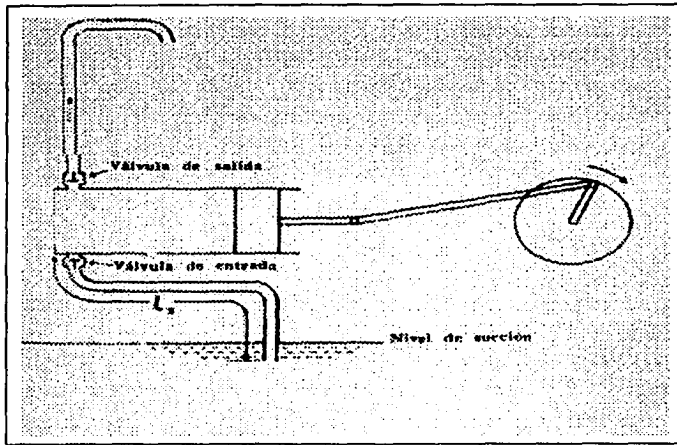


Figura 1.6 Bomba de leva-pistón

$$CDT_{1-2} = h_t + h_m + h_f + h_{cd} + h_v \quad (1.7)$$

- **Pérdidas topográficas ( $h_t$ )**

Éstas son el desnivel real que presenta la planta de bombeo al punto donde va a bombear.

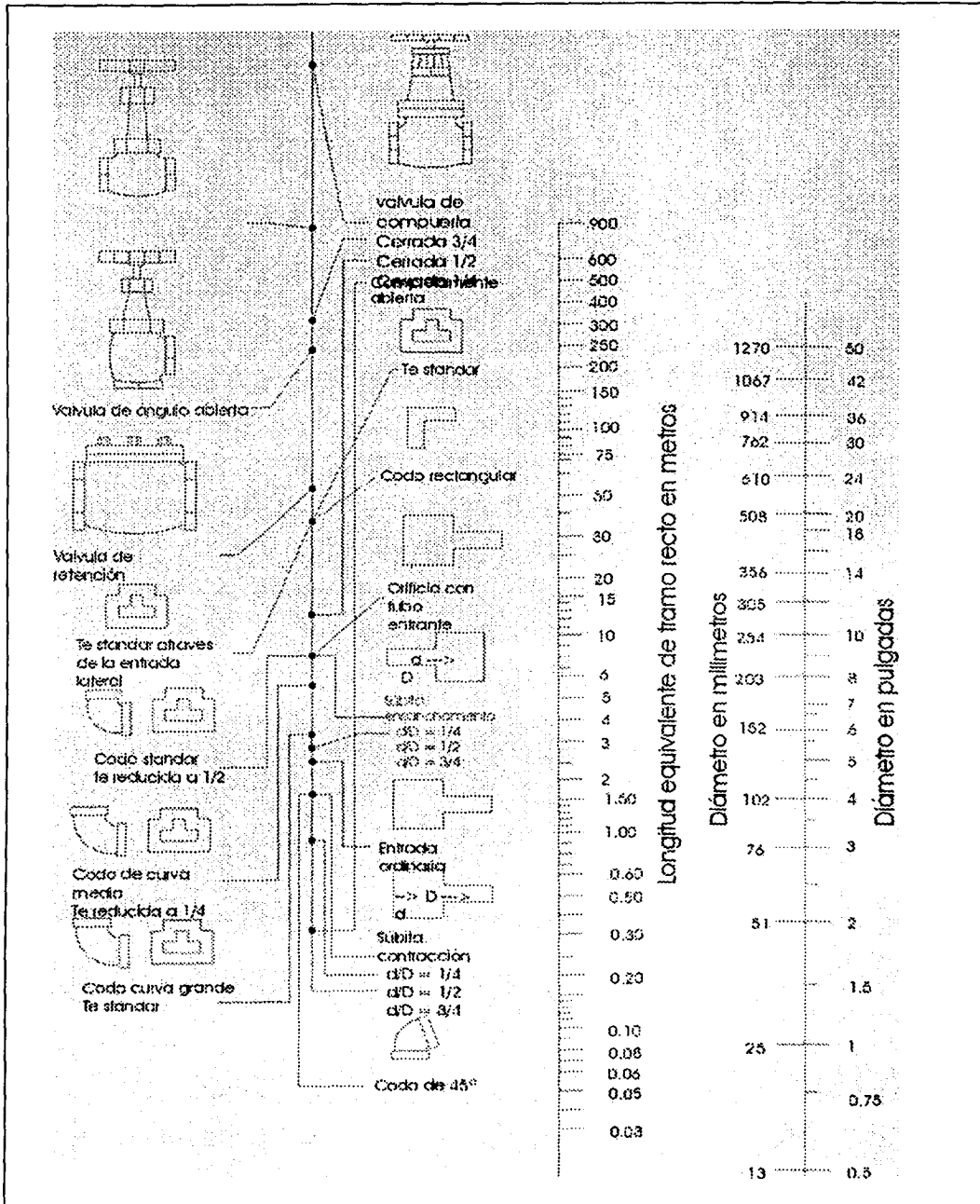
- **Pérdidas menores o locales ( $h_m$ )**

Son aquellas que ocurren en una zona definida de la conducción, son originadas por las válvulas de compuerta, *check*, ampliaciones y reducciones, etc. El valor lo determinan los fabricantes en forma experimental, estas pérdidas para fines prácticos son consideradas como pérdidas de longitud y el valor se obtiene en metros, se determina con la tabla 1.1, y se calculan con la fórmula siguiente:

$$h_m = k \times L \times Q^2 \quad (1.8)$$

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.1 Pérdidas menores



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- **Pérdidas en la línea de conducción (hf)**

son las que crecen linealmente con el desarrollo de la conducción y se debe al rozamiento de las partículas de agua entre sí y con las paredes de la tubería, éstas se calculan con la siguiente fórmula:

$$h_f = k \times L \times Q^2 \quad (1.8a)$$

Donde:

- hf = pérdidas por fricción (m)
- L = longitud (m)
- Q = gasto (m<sup>3</sup>/s)
- k = coeficiente de pérdidas por fricción

Para el cálculo del coeficiente de pérdidas por fricción, se requiere saber el coeficiente de rugosidad (n) que varía de acuerdo al material que se emplee en las tuberías, tabla 1.2.

Tabla 1.2 Coeficiente de rugosidad

MATERIALES	COEFICIENTE (n)
Asbesto – cemento	0.01
Concreto liso	0.012
Concreto áspero	0.016
Concreto reforzado	0.012
Acero galvanizado	0.014
Fierro fundido	0.013
Acero soldado sin revestimiento	0.014
Acero soldado con revestimiento	0.011
PVC( Policloruro de vinilo)	0.009
Polietileno de alta densidad	0.009

Por lo que se empleará la siguiente fórmula:

$$k = \frac{10.3 \times n^2}{D^{16/3}} \quad (1.9)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (m)

n = Coeficiente de rugosidad

De aquí se obtiene la tabla 1.3.

- **Pérdidas de cambio de dirección (hcd)**

Éstas serán un 10% de las pérdidas en la línea de conducción y son las pérdidas en las uniones.

- **Pérdidas de velocidad en la línea (hv)**

Ésta es cuando después de conducirse el agua por la tubería se descarga a un lugar abierto y la fórmula es la siguiente:

$$h_v = \frac{v^2}{2g} \quad (1.10)$$

Donde:

h<sub>v</sub> = Pérdidas de velocidad (m)

v = Velocidad del fluido (m/s)

g = Constante de gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

- **Pérdidas por eficiencia del equipo de bombeo**

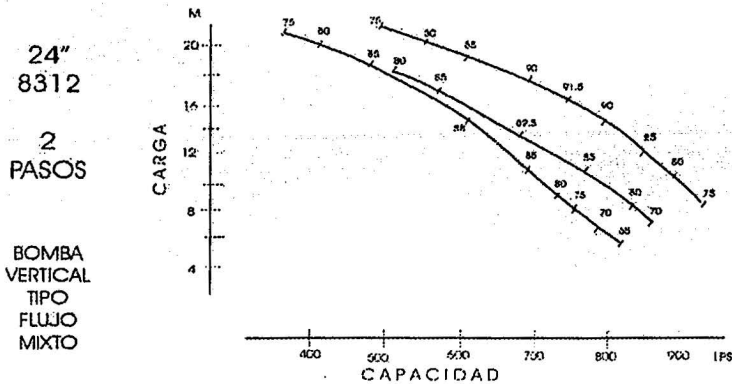
La eficiencia de los equipos está determinada en las curvas de nivel que dan los fabricantes de los equipos, estas gráficas son elaboradas por experimentación, tabla 1.4.

En estas curvas de nivel se ven las características requeridas por los equipos como lo es el gasto a desplazar, que en este caso está dado en litros por segundo y la carga dinámica a vencer, de esta forma se puede ver la eficiencia del equipo y características del mismo, para así seleccionar el equipo más adecuado.

Tabla 1.3 Constantes para pérdidas por fricción en tubería

DIÁMETRO		k							
PULG.	m.	n = 0.009	n = 0.016	n = 0.015	n = 0.014	n = 0.010	n = 0.011	n = 0.012	n = 0.013
1/2	0.013	9,556,264.60	30,240,549.83	26,575,028.64	23,138,602.52	11,798,396.33	14,318,442.15	16,953,035.50	19,931,217.48
3/4	0.019	1,251,724.66	3,993,943.56	3,509,833.59	3,055,975.79	1,558,245.08	1,891,074.13	2,239,031.77	2,632,375.19
1	0.025	292,631.38	925,315.79	817,543.86	708,771.93	361,403.51	438,596.49	519,298.25	610,529.82
1 1/4	0.032	77,943.93	246,729.97	216,822.43	188,785.05	96,261.68	116,822.43	138,317.76	162,616.82
1 1/2	0.038	31,353.38	99,248.12	87,218.05	75,939.85	38,721.80	46,992.48	55,639.10	65,413.53
2	0.051	6,515.63	20,625.00	18,125.78	15,781.25	8,045.88	9,765.63	11,562.50	13,595.75
2 1/2	0.057	1,944.05	6,153.85	5,407.93	4,708.62	2,400.93	2,913.75	3,449.88	4,055.94
3	0.076	779.44	2,467.29	2,168.22	1,887.85	962.62	1,168.22	1,383.18	1,626.17
4	0.102	161.63	511.63	449.61	391.47	199.61	242.25	286.82	337.21
5	0.127	50.24	159.04	139.76	121.69	62.05	75.30	89.16	104.82
6	0.152	19.25	60.97	53.58	46.65	23.79	28.87	34.18	40.18
8	0.203	4.11	13.00	11.43	9.95	5.07	6.16	7.29	8.57
10	0.254	1.24	3.94	3.48	3.01	1.54	1.87	2.21	2.60
12	0.305	0.46854	1.48	1.30	1.15	0.58350	0.70225	0.83146	0.97753
14	0.355	0.20593	0.65185	0.57284	0.49877	0.25432	0.30864	0.36543	0.42953
16	0.406	0.10208	0.32313	0.28397	0.24725	0.12610	0.15300	0.18115	0.21297
18	0.457	0.05416	0.17143	0.15065	0.13117	0.06688	0.08123	0.09160	0.11299
20	0.508	0.03088	0.09778	0.08593	0.07481	0.03815	0.04630	0.05481	0.06444
24	0.609	0.01165	0.03687	0.03240	0.02821	0.01439	0.01746	0.02067	0.02430
30	0.762	0.00355	0.01125	0.00989	0.00861	0.00439	0.00533	0.00631	0.00742
36	0.914	0.00135	0.00426	0.00375	0.00326	0.00166	0.00202	0.00239	0.00281
42	1.066	0.00059	0.00187	0.00164	0.00143	0.00073	0.00088	0.00105	0.00123
48	1.219	0.00029	0.00092	0.000810	0.00070	0.00036	0.00043	0.00051	0.00061
54	1.372	0.00015	0.00049	0.00043	0.00037	0.00019	0.00023	0.00027	0.00032

**Tabla 1.4 Eficiencia de la bomba**



### 1.9. Selección de pozo húmedo o cárcamo

Para la instalación de los equipos de bombeo es importante la distribución adecuada de los equipos para el funcionamiento óptimo, ya que al no ser considerado se tendrían bajos rendimientos y un desgaste prematuro, por lo que se considera el pozo húmedo o cárcamo, que es por lo general un depósito enterrado, construido de concreto o mampostería cuyas dimensiones y características están en función de la magnitud del caudal a manejar y equipo que se vaya a instalar. Además en su diseño se toma en cuenta la facilidad que se debe tener para su inspección y limpieza periódicas.

Las dimensiones y forma del cárcamo se determinan principalmente por el tamaño y número de bombas que se instalan; la forma de la planta del cárcamo suele ser rectangular, circular o combinación de éstas; en ocasiones, se prefiere circular por las ventajas que ofrece esta geometría para su construcción en terrenos blandos.

El instituto de Hidráulica de los Estados Unidos propone las siguientes dimensiones del cárcamo, tabla 1.5.

Por lo que se dan las siguientes recomendaciones al instalarse el equipo:

1. - El acondicionamiento ideal del acceso del agua es un canal recto que llegue directamente hacia la bomba; las curvas y las obstrucciones son perjudiciales ya que forman turbulencias.

2. - El flujo de la bomba no debe de pasar antes por otro equipo.
3. - La distancia de la pared al impulsor debe ser la mínima, para evitar turbulencia.
4. - El dato que se proporciona en la tabla de la distancia entre equipos y pared es la mínima necesaria.
5. - Cuando son varios equipos de bombeo se recomienda que el agua llegue simultáneamente a todas las bombas con baja velocidad, con flujo recto y uniforme.

### 1.10 Cálculo de la potencia del equipo de bombeo

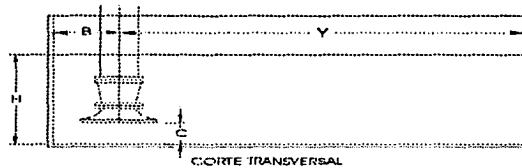
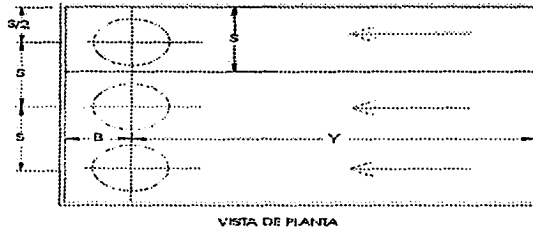
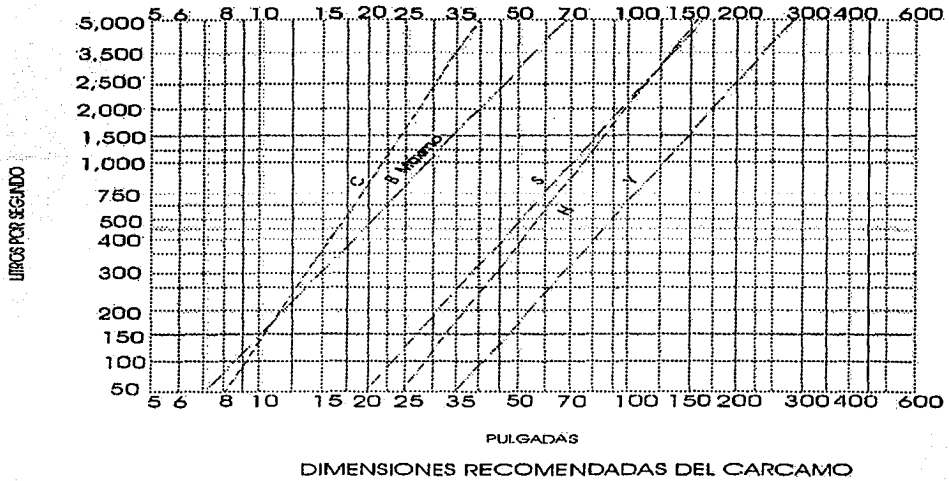
Para poder conocer la potencia de un equipo de bombeo es indispensable conocer el gasto a manejar que es la cantidad de líquido que tendrá que ser desplazado por el equipo de bombeo. Otro punto es la carga a vencer, que son las pérdidas que tiene el fluido al ser transportado como lo es la fricción con la tubería y accesorios, por lo que tenemos la siguiente ecuación.

$$HP = \frac{Q \times CDT \times GE}{k \times \eta} \quad (1.11)$$

Donde:

- HP = potencia del motor, en hp
- Q = gasto. (m<sup>3</sup>/s)
- CDT = pérdidas o carga dinámica total (m)
- GE = que es el peso específico (con valor de 1 para agua)
- k = coeficiente de conversión 76 de Kw. a hp
- η = eficiencia del equipo

Tabla 1.5 Dimensiones del cárcamo.



- C .- Separación recomendada del tazón y el piso.
- B .- Distancia máxima de la pared al impulsor.
- S .- Separación entre equipos de bombeo.
- H .- Nivel mínimo de agua en el cárcamo.
- Y .- Distancia entre la entrada de agua y las bombas.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



## **CAPÍTULO 2**

### **Planteamiento del Problema**

#### **2.1 Introducción**

En este capítulo se describirá el funcionamiento y problemática del sistema de alcantarillado que comprende el colector Patos Oriente, el colector Central y el emisor Castillo, ubicado en el municipio de Chimalhuacán, Estado de México. (Fig. 2.1)

Este sistema envía su cauce al pozo húmedo o cárcamo, de la planta de bombeo Castillo, donde se bombean las aguas residuales hacia el Río Chimalhuacán.

#### **2.2 Antecedentes**

En los últimos años la comunidad se ha visto afectada en época de lluvias por las inundaciones originadas en la planta de bombeo. Estas inundaciones generan deterioro prematuro en los equipos e instalaciones de dicha planta, además de problemas de contaminación en las calles y algunos domicilios. La contaminación que generan las inundaciones provoca enfermedades contagiosas en la población que pueden desatar epidemias.

En el Municipio de Chimalhuacán, debido al constante crecimiento poblacional se requirió la construcción de un sistema de colectores combinados para poder desalojar las aguas residuales domésticas y pluviales.

Todo este caudal es recolectado por un sistema de atarjeas que a través de recibir varias descargas forma el colector Patos Oriente. Por otra parte, de manera similar se forma el colector Central y la aportación de estos dos forma el Emisor Castillo. (Fig. 2.2)

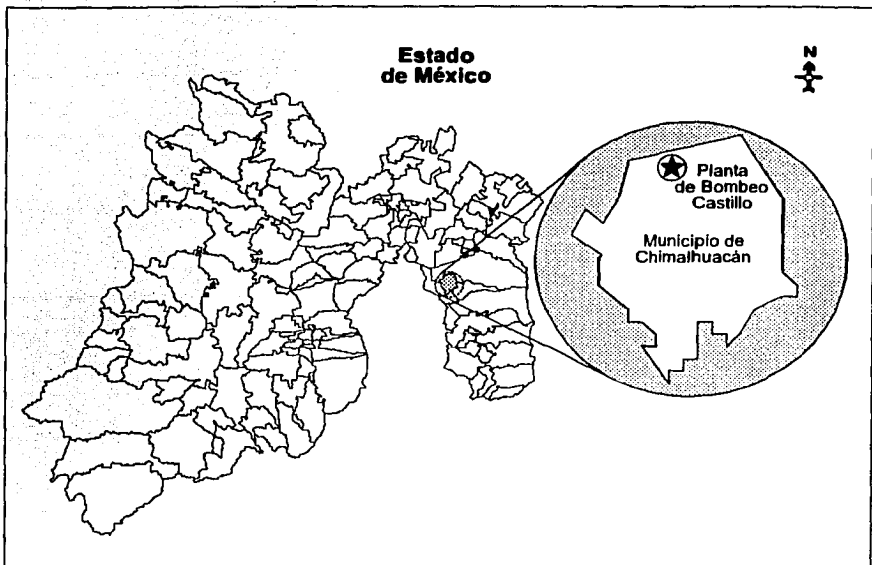


Figura 2.1 Mapa de localización de la planta de bombeo "Castillo"

Debido a las condiciones topográficas de poca pendiente en las áreas en las que se construyó el sistema, fue necesaria la construcción de una planta de bombeo llamada Castillo (Fig. 2.3) la cual ayuda a elevar las aguas residuales y conducir las al río Chimalhuacán.

La planta de bombeo se construyó en 1998, ésta se proyectó para una vida útil de 15 años. En este proyecto se requirió de datos estadísticos poblacionales obtenidos del INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) que establece que en esta zona la población tiene una tendencia de crecimiento anual del 7.5%.

El sistema de alcantarillado y equipo de bombeo se encuentra localizado en el municipio de Chimalhuacán. Los colectores dan servicio a las colonias Barrio Artesanos, Labradores, Tejedores, Curtidores, Hojalateros, Cesteros, Talladores, Mineros, Pescadores, Herreros, Carpinteros, Vidrieros, Plateros y Fundidores.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

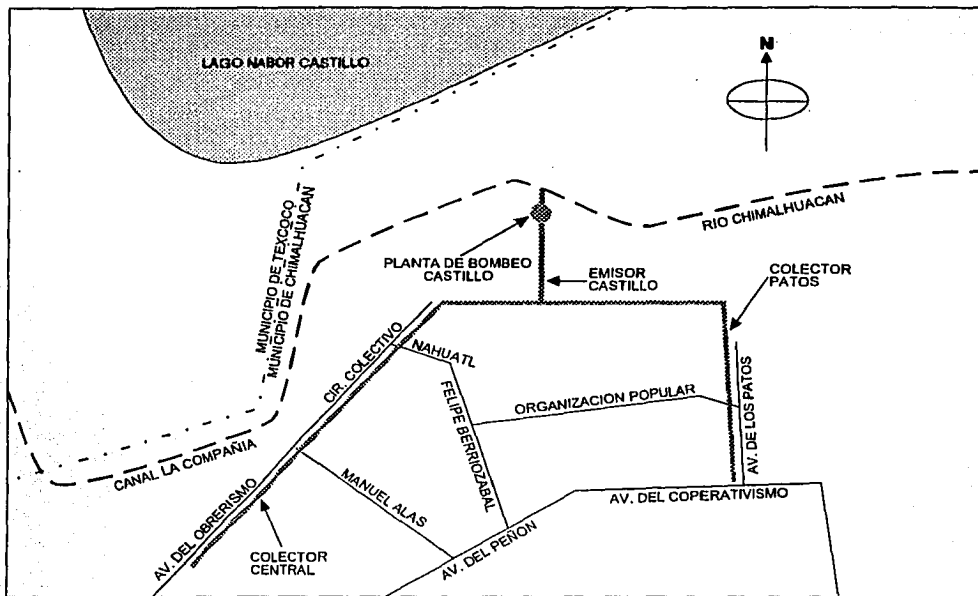


Figura 2.2 Diagrama de localización del sistema de alcantarillado y la planta de bombeo Castillo en Chimalhuacán

La planta de bombeo Castillo está ubicada en la calle Xochitenco esquina con calle Aves, en la colonia Tlatel Xochitenco, a 20 metros del río Chimalhuacán. Esta planta se encuentra en un terreno de 2,400 m<sup>2</sup> de superficie y consta de tres partes de ingeniería:

- Obra civil
- Sistema hidráulico
- Sistema eléctrico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

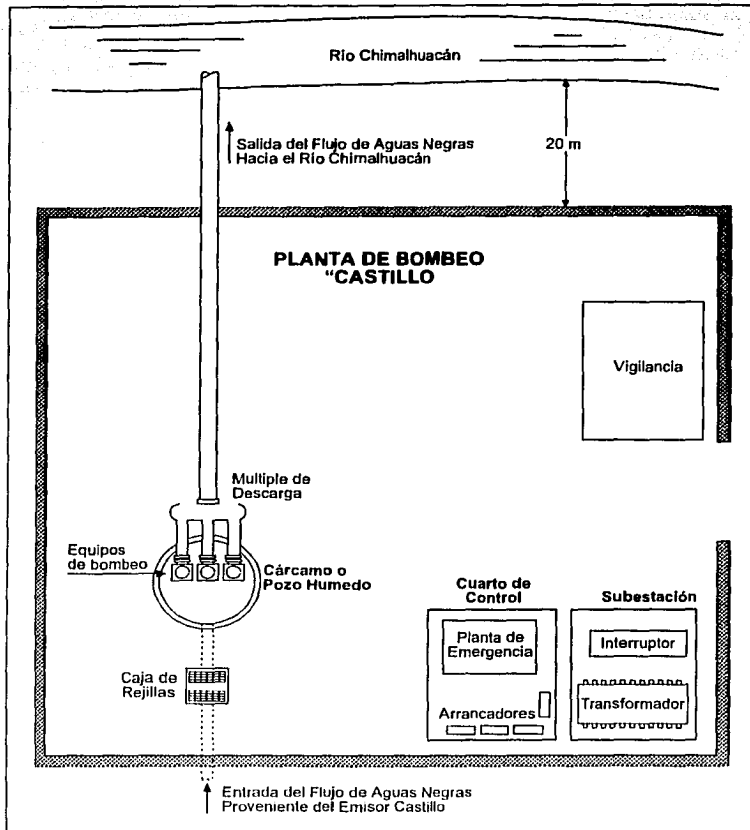


Figura 2.3 Vista de la Planta de Bombeo Castillo

La obra civil consta de una barda perimetral que rodea el predio, una caseta de vigilancia, un cuarto de control de motores, un área donde se encuentra la subestación, un sistema de rejillas y un pozo húmedo.

Su obra hidráulica se compone de la llegada del emisor Castillo con un diámetro de 1.52 m, para desembocar en una caja de rejillas la cual tiene la función de retener las partículas sólidas de grandes dimensiones.

La caja de rejillas se conecta con el cárcamo mediante un tubo de 1.52 m de diámetro y 9 m de longitud. El cárcamo es una estructura de concreto simple armado de sección circular de 6 m de diámetro y 7.67 m de profundidad en el que se ubican los equipos de bombeo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Se emplean tres equipos de bombeo de flujo mixto que elevan las aguas negras al río, el gasto de diseño por equipo es de 0.50 m<sup>3</sup>/s, teniendo una capacidad conjunta de 1.50 m<sup>3</sup>/s, estos equipos se conectan al múltiple de descarga el cual es de acero, este recibirá las aguas negras y las depositará en el margen del río Chimalhuacán

El sistema eléctrico cuenta con una subestación y un cuarto de control. La subestación tiene un transformador y un interruptor general protegidos por gabinetes metálicos blindados para servicio a la intemperie.

En el cuarto de control se encuentran una planta de emergencia, los arrancadores y los protectores termomagnéticos para suministrar energía a 3 Motores eléctricos trifásicos marca IEM que cuentan cada uno con una potencia de 125 hp, 8 polos, de 220/440 v y 1,180 r.p.m.

### **2.3 Planteamiento del problema**

En el año 2001 se presentaron inundaciones en la planta de bombeo, lo que provocó inundaciones en domicilios y vía pública. La inundación ocasionó daños en la planta de bombeo, en equipos y estructuras existentes, en las áreas cercanas a tuberías y cárcamo; y en la comunidad, contaminación ambiental provocando enfermedades en parte de la población.

Considerando las características de las aguas residuales, vemos que durante estas inundaciones la posibilidad de una epidemia de cólera es bastante probable. De ahí la inquietud de evitar estas inundaciones que pueden ser fatales para la comunidad pudiendo provocar hasta la muerte para algunas personas, en su mayoría niños.

### **2.4 Necesidades**

Después de observar el problema surge la necesidad de ajustar el flujo de salida del cárcamo al flujo de entrada del mismo proveniente del emisor, para que de esta forma se eviten las inundaciones en la planta de bombeo y por lo tanto en la comunidad de Chimalhuacán.

### **2.5 Objetivo**

El objetivo es proponer una solución que ajuste el flujo de salida del cárcamo al flujo de entrada de la planta de bombeo, evitando así la inundación en esta zona. Para esto, se propondrán tres alternativas con el fin de determinar la opción más adecuada.

La solución que se proponga debe cumplir además con aspectos de funcionalidad y rentabilidad, considerando la infraestructura ya existente que debe ser aprovechada.

## **2.6 Alcances**

Encontrar una solución viable para resolver el problema de inundaciones durante toda la vida útil de la planta. Tomando como opciones resolver el problema en el corto, mediano y largo plazo, nos permite plantear los siguientes alcances:

1. Se analizará a detalle la situación actual del sistema con el fin de evaluar e identificar las posibles causas del problema.
2. Se plantearán tres propuestas de solución exponiendo alternativas de manera que se pueda determinar la más adecuada.
3. Se propondrá una solución que tendrá una funcionalidad de 15 años a partir de iniciado el proyecto.
4. Se seleccionará el equipo más eficiente a instalar.
5. Se facilitarán las memorias de cálculo a la CNA (Comisión Nacional del Agua) para su análisis.

## **2.7 Requerimientos y especificaciones**

Son diversas las situaciones que se presentan para el estudio de este problema; un factor importante es el político porque influye para que los recursos sean limitados, además de que no resultará fácil la compra de equipos nuevos dado que ya se cuenta con equipos comprados en 1998.

Las especificaciones actuales con las que cuenta la planta son los que aparecen en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones de la planta de bombeo.

Calidad del agua:	Residual con sólidos en suspensión.
Temperatura del agua:	Ambiente.
Población de diseño:	292,341 habitantes.
Área total de proyecto:	472.3 hectáreas.
Consumo diario por habitante:	200 lts. hab. día.
Aportación de aguas residuales	160 lts. Hab. día.
Caudal medio diario:	534.50 lts. (0.5345 m <sup>3</sup> /s).
Caudal máximo instantáneo:	891.00 lts. (0.8910 m <sup>3</sup> /s).
Caudal extraordinario:	1,336.50 lts. (1.3365 m <sup>3</sup> /s).
Velocidad:	Máxima: 3 m/s.
	Mínima: 0.5 m/s.
Diámetro de la tubería:	Tubería de entrada: 152 cm.
Material de la tubería:	Asbesto cemento.
Longitud de la tubería:	30 m.
Coefficiente de seguridad:	1.5.
Capacidad del tanque actual:	216 m <sup>3</sup> .
Altura sobre el nivel del mar:	2,200 m.
Altura topográfica:	9 m.
Descarga:	Al río Chimalhuacán.

# CAPÍTULO 3

## Alternativas de Solución

### 3.1 Introducción

En este capítulo se detallarán las alternativas más viables de solución para cumplir con el objetivo de este trabajo, así mismo se propondrá un método para resolver el problema y se analizará cada alternativa.

### 3.2 Descripción

En función de los requerimientos, el objetivo es proponer una solución que ajuste el flujo de salida del cárcamo al flujo de entrada de la planta de bombeo, evitando así la inundación en esta zona. Para esto, se analizarán tres alternativas con el fin de determinar cuál opción es la más adecuada para una solución a largo plazo.

La solución que se busca debe cumplir con aspectos de funcionalidad y rentabilidad, considerando que ya existe infraestructura en el sitio y que se debe aprovechar. El planteamiento de estas alternativas obedece a la experiencia de uno de los autores:

#### A) Incremento en el número de equipos de bombeo

Se propone aprovechar los 3 equipos de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  existentes e incrementar los equipos de bombeo para poder así extraer el caudal que se proyectará para el año 2013.

#### B) Reemplazo de los equipos de bombeo

Se sugiere reemplazar los equipos existentes por equipos de mayor capacidad para cubrir la demanda para el año 2013. Se harán las combinaciones que cumplan con las condiciones de espacio y de caudal necesario de extracción para evitar el problema, esto será sin considerar el arreglo original de tres equipos con los que ya cuenta el cárcamo.

#### C) Construcción de un cárcamo paralelo

Se considera la construcción de un cárcamo adicional para poder instalar más equipos de bombeo, éste será de acuerdo a la distribución



de la planta en general. Este cárcamo será similar al existente con la misma profundidad y diámetro, de acuerdo a las condiciones del suelo, como en la región es blando, se recomendará un cárcamo circular.

### 3.3 Método de solución

Para poder cumplir con el objetivo de la presente tesis se propone un método de análisis, el cual consiste en analizar las tres propuestas anteriormente descritas, de esta manera se podrá determinar cuál es la solución más viable; el método propuesto se ve reflejado en el diagrama de flujo de la figura 3.1.

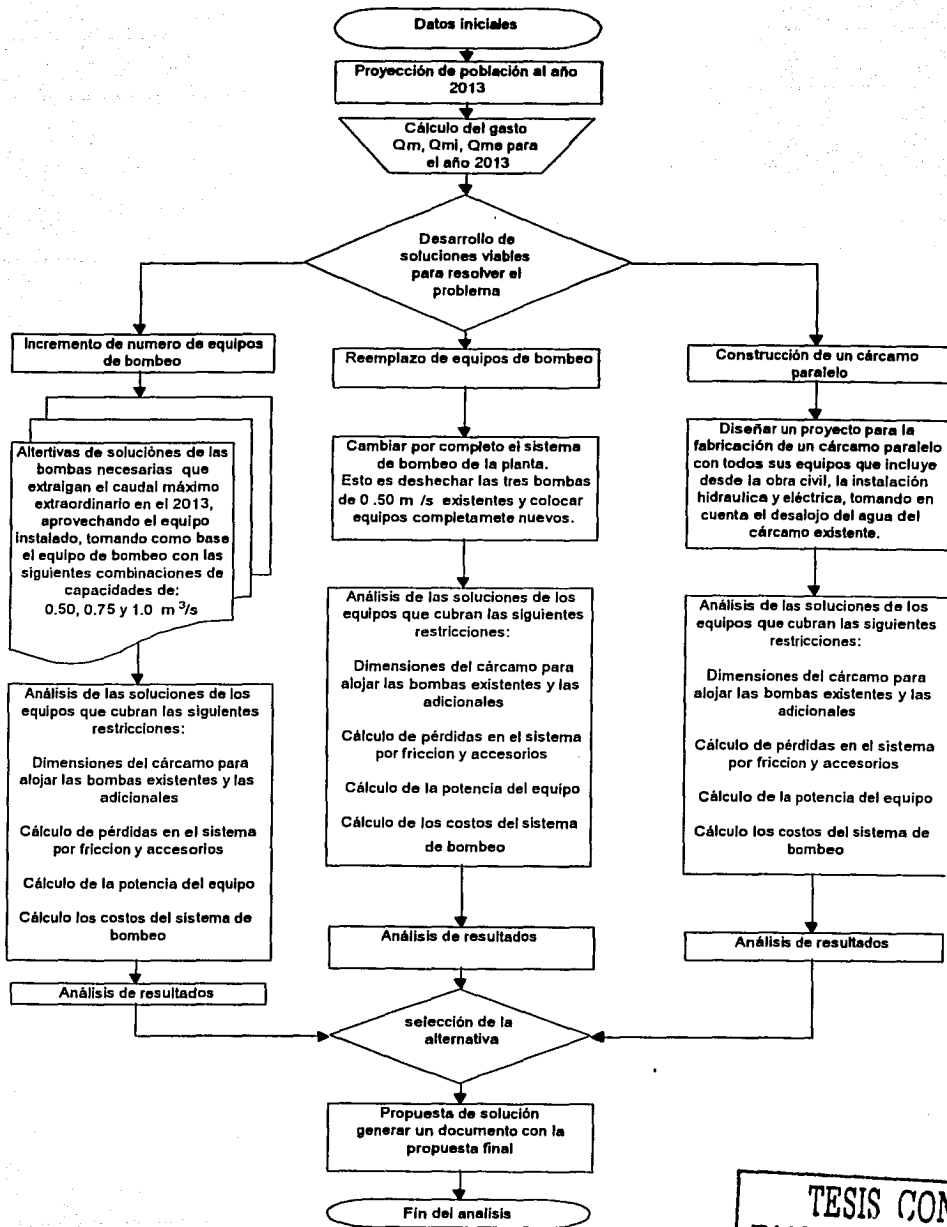
A continuación se desarrollará el método propuesto.

### 3.4 Datos iniciales

A continuación se analizarán los datos iniciales tomados de la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones de la planta de bombeo.

Calidad del agua: .	Residual con sólidos en suspensión
Temperatura del agua:	Ambiente
Población de diseño:	292,341 habitantes
Área total de proyecto:	472.3 hectáreas
Consumo diario por habitante:	200 lts. hab. día
Aportación de aguas residuales	160 lts. hab.. día
Caudal medio diario:	534.50 lts. (0.5345 m <sup>3</sup> /s)
Caudal máximo instantáneo:	891.00 lts. (0.8910 m <sup>3</sup> /s)
Caudal extraordinario:	1,336.50 lts. (1.3365 m <sup>3</sup> /s)
Velocidad:	Máxima: 3 m/s Mínima: 0.5 m/s
Diámetro de la tubería:	Tubería de entrada: 152 cm
Material de la tubería:	Asbesto cemento
Longitud de la tubería:	30 m
Coefficiente de seguridad:	1.5
Capacidad del tanque actual:	216 m <sup>3</sup>
Altura sobre el nivel del mar:	2,200 m
Altura topográfica:	9 m
Descarga:	Al río Chimalhuacán



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 3.1 Diagrama de flujo

### 3.5 Proyección de población al año 2013

Como se mencionó en el Capítulo 2, sección 2.2 se considerará una población inicial de 288,627 habitantes en el año 1998. Según datos del INEGI se espera un crecimiento poblacional del 7.5% anual, por lo que la población estimada para el año 2013 será de 854,012 habitantes.

### 3.6 Cálculo de caudal medio, máximo instantáneo y máximo extraordinario

Con la estimación de población los gastos para el año 2013, serán:

El gasto medio ( $Q_{med}$ ) se obtiene de acuerdo con la fórmula 1.1.

$$\begin{aligned} A &= 0.160 \text{ m/Hab./día (Aportación de aguas negras)} \\ P &= 854,012 \text{ Hab. (Población de proyecto)} \end{aligned}$$

$$Q_{med} = \frac{0.16 \times 854012}{86,400}$$

$$Q_{med} = 1.5815 \text{ m}^3/\text{s}$$

El gasto máximo instantáneo ( $Q_{mi}$ ) se obtiene:

El No. de Harmon se calcula utilizando la fórmula 1.3

$$P = 854.012 \text{ (la población de proyecto en miles)}$$

$$M = 1 + \left( \frac{14}{4 + \sqrt{854.012}} \right) = 1.4214$$

El gasto máximo instantáneo se obtiene de la fórmula 1.2

$$Q_{mi} = 1.5815 \times 1.4214$$

$$Q_{mi} = 2.2479 \text{ m}^3/\text{s}$$

El gasto máximo extraordinario ( $q_{mex}$ ) se obtiene de la fórmula 1.4

$C_s = 1.5$  (coeficiente de seguridad)

$Q_{mi}$  = gasto máximo instantáneo

$$Q_{mex} = 1.5 \times 2.2479$$

$$Q_{mex} = 3.3719 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.7 Alternativas de solución

Como se propuso en la sección 3.3, se plantearon tres propuestas a estudiar y al desarrollarlas se ve la necesidad de presentar a su vez tres alternativas de solución para cada una de ellas, por lo que es necesario establecer una nomenclatura, la cual se describe a continuación:

**A) Incremento de equipos, opciones A1, A2 y A3**

**B) Reemplazo de equipos y solución, opciones B1, B2 y B3**

**C) Construcción de cárcamo paralelo, opciones C1, C2 y C3**

Para los 3 casos donde se proponen nuevos equipos de bombeo, se decidió considerar sólo equipos de 0.50, 0.75 y 1.00 m<sup>3</sup>/s de capacidad, debido a que el mercado es muy amplio y se cuenta con una gran variedad de equipos, esto provocará que se restrinja el campo a equipos convencionales.

A continuación se realizarán los cálculos de pérdida del sistema, el cálculo de la potencia de los equipos y el análisis de costos para cada alternativa.

#### 3.7.1 Incremento en el número de equipos de bombeo

Se sugiere incrementar el número de equipos existentes para poder extraer la demanda para el año 2013. Se harán las combinaciones que cumplan con las condiciones de espacio y de caudal necesario de extracción para evitar el problema.

En el cárcamo, el equipo de bombeo tiene una capacidad máxima de extracción de 1.50 m<sup>3</sup>/s con los tres equipos actualmente instalados. Considerando que el caudal se irá incrementando conforme aumente la población para el año 2013, el caudal máximo extraordinario será de 3.3719 m<sup>3</sup>/s.

Para este caudal se requieren instalar equipos adicionales que cubran la demanda, por lo que se proponen tres alternativas de incremento de equipo (tabla 3.2).

Tabla 3.2 Alternativas en incremento de número de equipos de bombeo.

Alternativa	No. de equipos				Caudal Total $m^3/s$
	0.50 $m^3/s$	0.50 $m^3/s$	0.75 $m^3/s$	1.00 $m^3/s$	
A1	3	4	---	---	3.50
A2	3	---	3	---	3.75
A3	3	---	---	2	3.50

### 3.7.1.1 Restricciones de dimensiones del cárcamo

A continuación se analizará el cálculo de los equipos de bombeo para una adecuada instalación. De acuerdo a la sección 1.9 se debe considerar la tabla de distribución de equipos en el cárcamo, a fin de obtener el funcionamiento óptimo de los mismos. Con la tabla 1.5 se determinará el espacio entre equipos, la distancia del equipo a la pared y la distancia mínima que se requiere entre la tubería que alimenta el cárcamo y las bombas que extraen el agua residual, y se describirá gráficamente cuáles son las opciones que reúnan estas características.

En la figura 3.2 se ilustra el cárcamo con una distribución de 7 bombas de  $0.5 m^3/s$  en donde se muestran las distancias permisibles, [B] es la distancia máxima de la pared al eje del impulsor de la bomba, [S] delimita el área de succión de la bomba, ubicando el equipo de bombeo en el centro de la circunferencia y [Y] para la distancia entre la entrada de agua al cárcamo y el área de succión de las bombas. Los subíndices de cada uno de estos factores hacen referencia a la capacidad de los equipos a instalarse. El Instituto de Hidráulica de los Estados Unidos recomienda que el área de succión generada por [S] y el área generada por [Y] no se traslapen, así como evitar la superposición de las áreas de succión.

En la figura 3.3 se muestra una distribución de 3 bombas de  $0.5 m^3/s$  y 3 bombas de  $0.75 m^3/s$ , cumpliendo con las restricciones de diseño de cárcamo.

En la figura 3.4 se muestra una distribución formada por 3 bombas de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y 2 bombas de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  cumpliendo con las restricciones de diseño del cárcamo.

### **3.7.1.2 Cálculo de pérdidas en el sistema**

Para calcular la potencia del equipo de bombeo se requieren determinar las pérdidas topográficas, pérdidas menores, pérdidas en la línea, pérdidas en cambios de dirección y pérdidas de velocidad, por lo que se calculará para un gasto de 0.50, 075 y  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ .

#### **a) Cálculo con equipo de $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$ con tubería de 24"**

Considerando las pérdidas topográficas según la figura 3.5, se tiene que:  $h = 9 \text{ m}$ .

Las pérdidas menores y en la línea para un equipo de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  con tubería de 24" se determinan dependiendo de los accesorios y se calculan utilizando la fórmula 1.8 y la tabla 1.1.

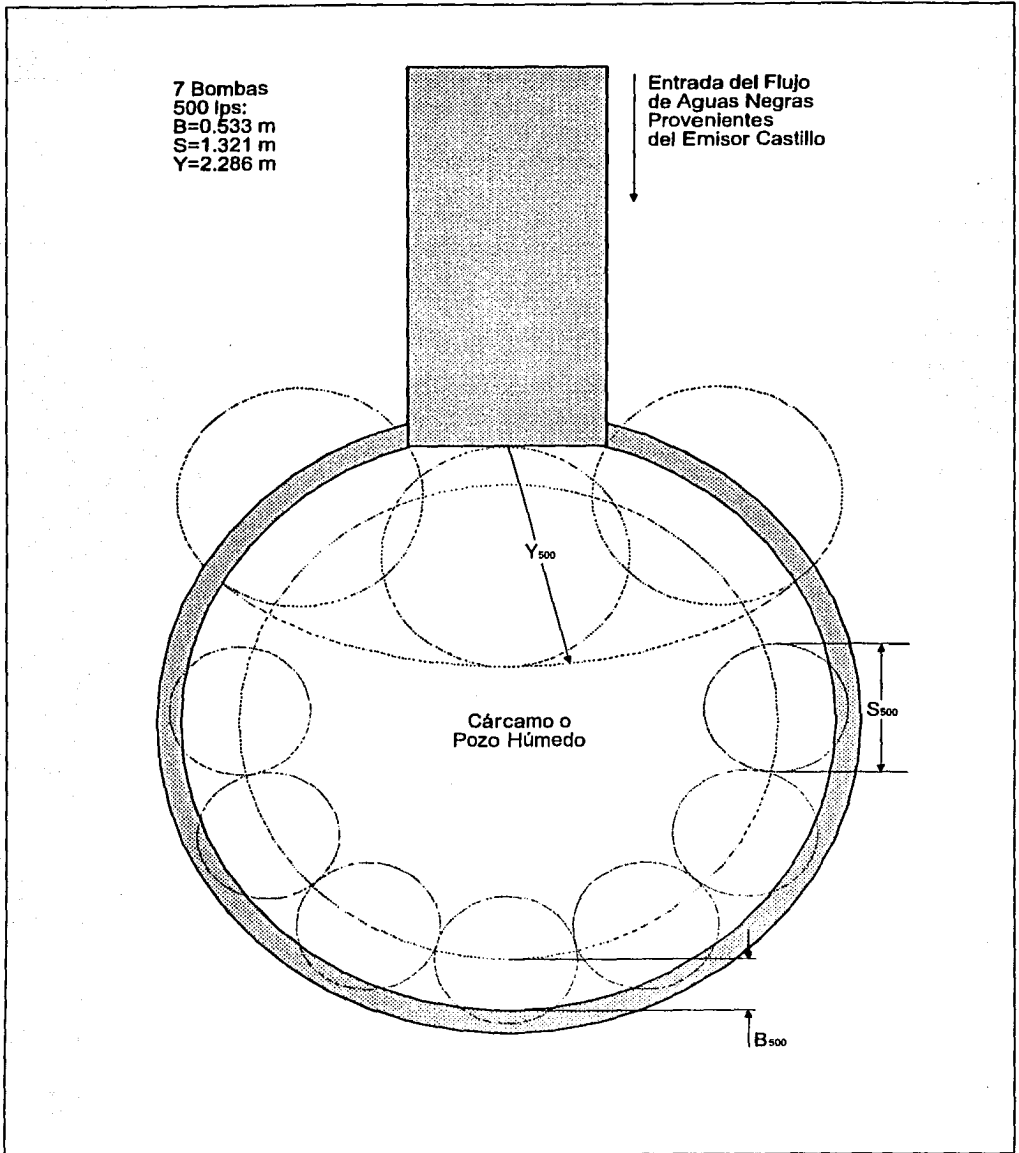


Figura 3.2 Alternativa A1, siete bombas de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

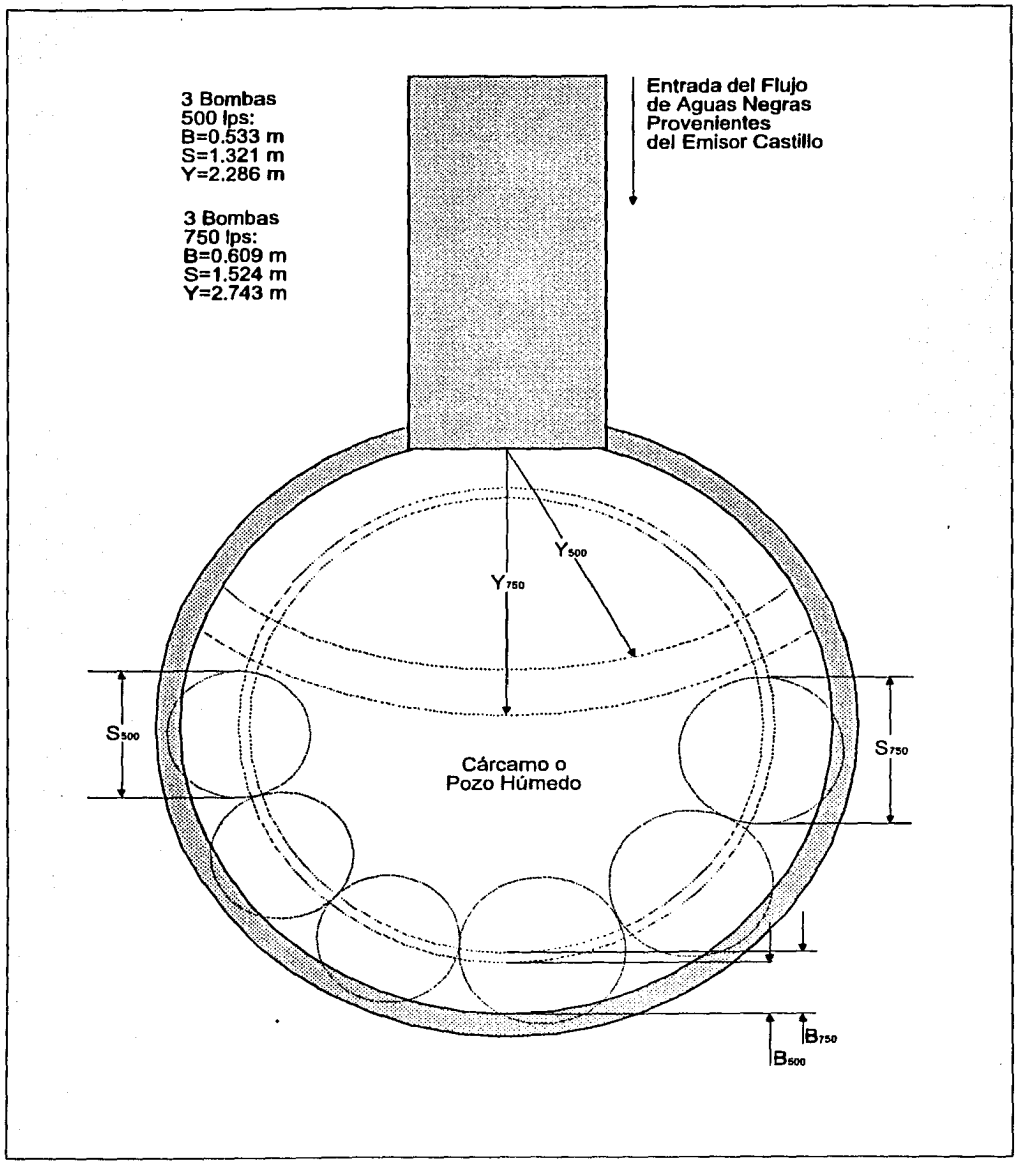


Figura 3.3 Alternativa A2, tres bombas de 0.50 m<sup>3</sup>/s y tres bombas de 0.75 m<sup>3</sup>/s

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



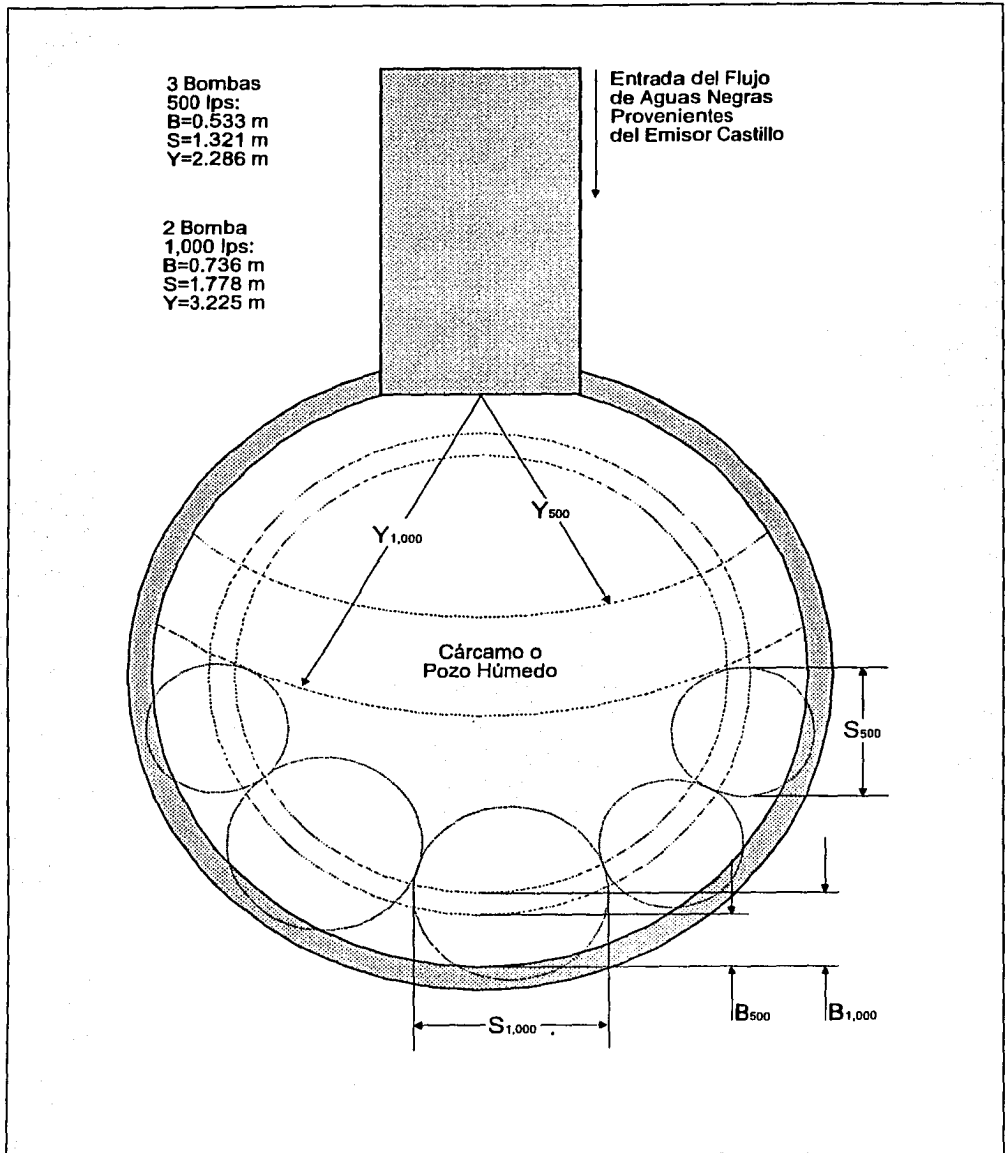


Figura 3.4 Alternativa A3, tres bombas de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  y dos bombas de  $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Las pérdidas menores se calculan con la fórmula 1.8, en accesorios de acero al carbón de acuerdo a la tabla 1.2,  $n = 0.014$  y  $d = 24"$  de acuerdo a la tabla 1.3 tenemos que  $k = 0.02821$ , por lo que utilizarán los valores del 1 al 7 de la tabla 3.3.

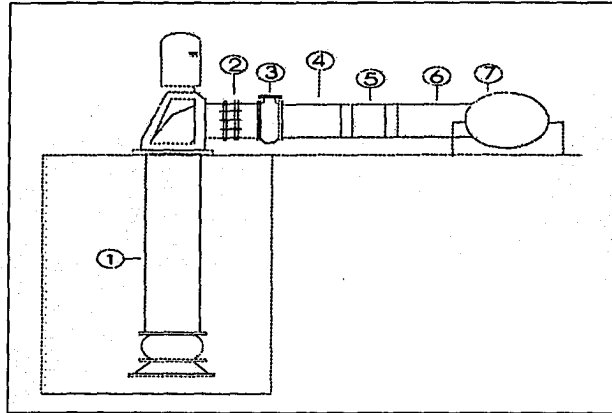


Figura 3.5 Esquema de tubería y accesorios.

Tabla 3.3 Equivalencia de dimensiones en accesorios

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

NUMERO EN PLANO	DESCRIPCIÓN	EQUIVALENCIA EN METROS
1	Tubería de succión A.C., 5 m., diámetro de 24"	5.00
2	Tubería de A.C., 0.50 m., diámetro de 24"	0.50
3	Válvula check diámetro de 24 "	55.00
4	Tubería de A.C., 2.50 m., diámetro de 24"	2.50
5	Codo 45°, diámetro de 24 "	9.00
6	Tubería de A.C., 1.75 m., diámetro de 24"	1.75
7	Súbido ensanchamiento	13.0
8	Múltiple de descarga, diámetro de 42"	6.00
9	Codo 45°, diámetro de 42"	15.00
10	Tubería de A.C., 0.50 m., diámetro de 42"	0.50
11	Codo 45°, diámetro de 42 "	15.00
12	Tubería de A.C., 30 m., diámetro de 42"	30.00

$$h_m = (0.02821)(86.75)(0.5)^2$$

$$h_m = 0.6118 \text{ m}$$

Las pérdidas en la línea de conducción se calcularán a partir del múltiple difusor a la descarga en el río Chimalhuacán, con la fórmula 1.8 y un gasto de 3.3719 m<sup>3</sup>/s, en accesorios de acero al carbón de acuerdo con la tabla 1.2, n = 0.014 y d = 42"; en base a la tabla 1.3 se obtiene un valor para k= 0.00143 y se utilizarán los valores del 8 al 12 de la tabla 3.3.

$$h_c = (0.00143)(66.50)(3.3719)^2$$

$$h_c = 1.0812 \text{ m}$$

Pérdidas por cambio de dirección (hd):

$$h_d = 10\% (h_m + h_c)$$

$$h_d = 10\% (0.6118 + 1.0812) = 0.2458 \text{ m}$$

Pérdidas de velocidad en la línea (hv): debido a las características del sistema se calculará para los dos diámetros que son de 24" y 42" y se calcula con la fórmula 1.10.

$$V = \text{Velocidad del fluido. ( } V = Q/A \text{)}$$

$$g = \text{La gravedad (9.81 m/s)}$$

Para Q = 0.50 m<sup>3</sup>/s y d = 24" = 0.6096 m

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (0.6096/2)^2 = 0.2918 \text{ m}$$

$$V = Q/A = 0.50 / 0.2918 = 1.7135 \text{ m/s}$$

$$h_{v1} = V^2/2g = (1.7135)^2 / 2*(9.81)$$

$$h_{v1} = 0.1496 \text{ m}$$

Para el gasto máximo extraordinario tenemos que:

Para Q = 3.3719 m<sup>3</sup>/s y d = 42" = 1.0668 m

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (1.0668/2)^2 = 0.8938 \text{ m}$$

$$V = Q/A = 3.3719 / 0.8938 = 3.7725 \text{ m/s}$$

$$h_{v_2} = V^2/2g = (3.7725)^2 / 2*(9.81)$$

$$h_{v_2} = 0.7254 \text{ m}$$

$$h_v = h_{v_2} + h_{v_1}$$

$$h_v = 0.1496 + 0.7254$$

$$h_v = 0.8750 \text{ m}$$

La Carga Dinámica Total se calcula con la fórmula 1.7

$$CDT = 9 + 0.6118 + 1.0812 + 0.2458 + 0.8750$$

$$CDT = 11.8138 \text{ m}$$

**b) Cálculo con equipo de 0.75 m<sup>3</sup>/s con tubería de 24"**

Considerando pérdidas topográficas de:  $h = 9 \text{ m}$

Las pérdidas menores se calculan con la fórmula 1.8, en accesorios de acero al carbón de acuerdo a la tabla 1.2,  $n = 0.014$  y  $d = 24"$ ; de acuerdo a la tabla 1.3 tenemos que  $k = 0.02821$ , por lo que utilizarán los valores del 1 al 9 de la tabla 3.3

$$h_m = (0.02821)(86.75)(0.75)^2$$

$$h_m = 1.3766 \text{ m}$$

Las pérdidas en la línea de conducción se calcularán a partir del múltiple difusor a la descarga en el río Chimalhuacán, con la fórmula 1.8 y un gasto de 3.3719 m<sup>3</sup>/s, en accesorios de acero al carbón de acuerdo con la tabla 1.2,  $n = 0.014$  y  $d = 42"$ ; en base a la tabla 1.3 obtenemos un valor para  $k = 0.00143$  y se utilizarán los valores de 10 al 14 de la tabla 3.4.

$$h_c = (0.00143)(66.50)(3.3719)^2$$

$$h_c = 1.0181 \text{ m}$$

Pérdidas por cambio de dirección (hd):

$$hd = 10\% (hm + hc)$$

$$hd = 10\% (1.3766 + 1.0181)$$

$$hd = 0.2458 \text{ m}$$

Pérdidas de velocidad en la línea (hv): debido a las características del sistema se calcularán para los dos diámetros que son de 24" y 42" con la fórmula 1.10.

Para  $Q = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $d = 24" = 0.6096 \text{ m}$

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (0.6096/2)^2 = 0.2918 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 0.75 / 0.2918 = 2.5702 \text{ m/s}$$

$$hv_1 = V^2/2g = (2.5702)^2 / 2 * (9.81)$$

$$hv_1 = 0.3366 \text{ m}$$

Para el gasto máximo extraordinario tenemos que:

Para  $Q = 3.3719 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $d = 42" = 1.0668 \text{ m}$

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (1.0668/2)^2 = 0.8938 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 3.3719 / 0.8938 = 3.7725 \text{ m/s}$$

$$hv_2 = V^2/2g = (3.7725)^2 / 2 * (9.81)$$

$$hv_2 = 0.7254 \text{ m}$$

$$hv = hv_2 + hv_1$$

$$hv = 0.7254 + 0.3366$$

$$hv = 1.0759 \text{ m}$$

La Carga Dinámica Total se calcula con la fórmula 1.7

$$CDT = 9 + 1.3765 + 1.0181 + 0.2458 + 1.0759$$

$$\text{CDT} = 12.7163 \text{ m}$$

**c) Cálculo con equipo de 1.00 m<sup>3</sup>/s con tubería de 30"**

Considerando pérdidas topográficas de:  $h = 9 \text{ m}$

Cálculo de pérdidas menores o locales (hm)

Tabla 3.4 Equivalencias de dimensiones en accesorios, diámetro de 30"

NUMERO EN PLANO	DESCRIPCIÓN	EQUIVALENCIA EN METROS
1	Tubería de succión A.C., 5 m., diámetro de 30"	5.00
2	Tubería de A.C., 0.50 m., diámetro de 30"	0.50
3	Válvula check diámetro de 30"	60.00
4	Tubería de A.C., 2.50 m., diámetro de 30"	2.50
5	Codo 45° , diámetro de 30"	11.00
6	Tubería de A.C., 1.75 m., diámetro de 30"	1.75
7	Súbito ensanchamiento.	14.00
	Total	94.75

Utilizando los valores de equivalencia de la tabla 3.4.

Si,  $n = 0.014$  y  $d = 30 \text{ "}$ , por la tabla 1.3 tenemos que  $k = 0.00861$

$$hm = (0.00861)(94.75)(1)^2$$

$$hm = 0.8158 \text{ m}$$

Pérdidas en la línea de conducción ( $h_c$ ): se considerará el gasto total a manejar de 3.3719 m<sup>3</sup>/s.

Tabla 3.5 Equivalencias de dimensiones en accesorios, diámetro de 42"

NÚMERO EN PLANO	DESCRIPCIÓN	EQUIVALENCIA EN METROS
8	Múltiple de descarga, diámetro de 42"	6.00
9	Codo 45°, diámetro de 42"	15.00
10	Tubería de A.C., 0.50 m., diámetro de 42"	0.50
11	Codo 45°, diámetro de 42 "	15.00
13	Tubería de A.C., 30 m., diámetro de 42"	30.00
	Total	66.50

Usando los valores de equivalencia de la tabla 3.5.

Si  $n = 0.014$  y  $d = 42''$ , por la tabla 1.3 tenemos que  $k = 0.00143$

$$h_c = (0.00143)(66.50)(3.3719)^2$$

$$h_c = 1.0812 \text{ m}$$

Pérdidas por cambio de dirección ( $h_d$ ):

$$h_d = 10\% (h_m + h_c)$$

$$h_d = 10\% (0.8157 + 1.0812)$$

$$h_d = 0.18969 \text{ m}$$

Pérdidas de velocidad en la línea ( $h_v$ ): debido a las características del sistema se calcularán para los dos diámetros que son de 30" y 42" y se empleará la fórmula 1.10.

Considerando el diámetro de 30"

Para  $Q = 1.00 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $d = 30'' = 0.762 \text{ m}$ .

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (0.762/2)^2 = 0.456 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 1.00/ 0.456 = 2.193 \text{ m/s}$$

$$h_{v1} = V^2/2g = (2.193)^2 / 2*(9.81)$$

$$h_{v1} = 0.2451 \text{ m}$$

Para el gasto máximo extraordinario tenemos que:

Para  $Q = 3.3719 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $d = 42'' = 1.0668 \text{ m}$

$$A = \pi * r^2 = 3.1416 * (1.0668/2)^2 = 0.8938 \text{ m}^2$$

$$V = Q/A = 3.3719 / 0.8938 = 3.85 \text{ m/s}$$

$$h_{v2} = V^2/2g = (3.85)^2 / 2*(9.81)$$

$$h_{v2} = 0.7393 \text{ m}$$

La Carga Dinámica Total se calcula con la fórmula 1.7

$$CDT = 9 + 0.8158 + 1.0812 + 0.18969 + 0.2451 + 0.7393$$

$$CDT = 12.07109 \text{ m}$$

### 3.7.1.3 Cálculo de potencia del equipo

Se requerirá de equipos que ayuden a extraer el agua excedente al sistema, basándose en los equipos que nos ofrece el proveedor Fairbanks Morse; se analizarán con los datos del proveedor los equipos que cumplen las especificaciones requeridas de altura, gasto y carga dinámica, realizando los cálculos correspondientes se examinarán las características de los equipos de 0.50, 0.75 y 1.00  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Para el cálculo de la potencia se empleará la fórmula 1.11 y las gráficas de eficiencia de cada uno de los equipos.

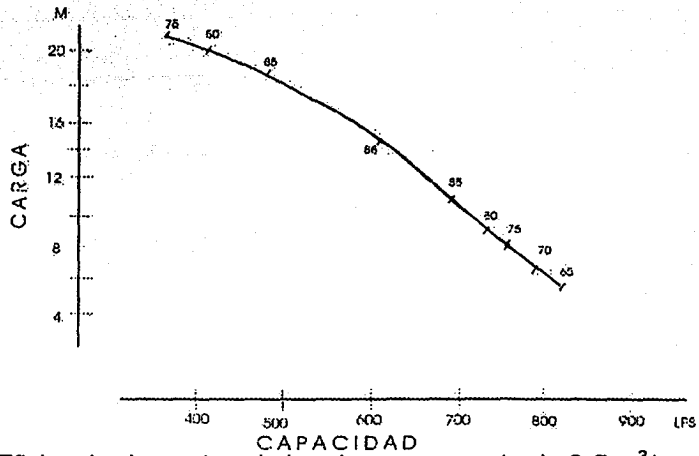
La eficiencia del equipo de 0.50  $\text{m}^3/\text{s}$  se calcula con la gráfica 3.1 que proporciona el fabricante.



24"  
8312

2  
PASOS

BOMBA  
VERTICAL  
TIPO  
FLUJO  
MIXTO



Gráfica 3.1 Eficiencia de equipo de bombeo para gasto de 0.5 m³/s

Esta eficiencia se obtiene conociendo el gasto de 0.50 m³/s y la carga dinámica total, siendo de la eficiencia de 85.50%, con este valor se calculará la potencia.

$$HP = (500)(11.8138)/(76)(0.855)$$

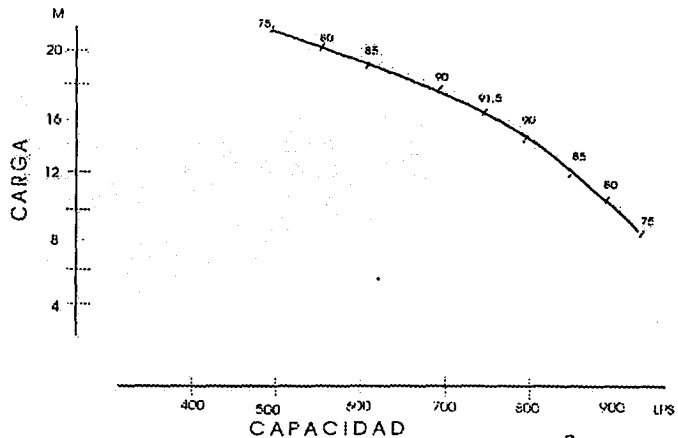
$$HP = 90.9033$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

24"  
8312

2  
PASOS

BOMBA  
VERTICAL  
TIPO  
FLUJO  
MIXTO



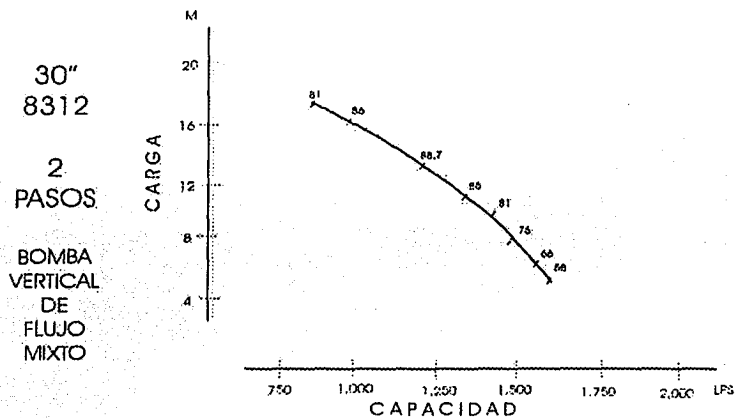
Gráfica 3.2 Eficiencia de equipo de bombeo para gasto de 0.75 m³/s

La eficiencia del equipo de 0.75 m<sup>3</sup>/s se calculará con gráficas proporcionadas por el proveedor. A continuación se presenta la gráfica 3.2 para equipos de 0.75 m<sup>3</sup>/s., siendo de 91.20%, en la fórmula el gasto será en litros por segundo (750 lps)

$$HP = (750)(12.7163)/(76)(0.912)$$

$$HP = 137.5984$$

La eficiencia del equipo de 1.00 m<sup>3</sup>/s se calculará con las gráficas proporcionadas por el proveedor. A continuación se presenta la gráfica 3.3 para equipos de 1.00 m<sup>3</sup>/s.



Gráfica 3.3 Eficiencia de equipo de bombeo para gasto de 1.00 m<sup>3</sup>/s

Siendo la eficiencia de 86%, en la fórmula el gasto se pondrán los litros por segundo.

$$HP = (1000)(12.07109)/(76)(0.86)$$

$$HP = 184.6862$$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 3.7 Resultados Pérdidas en el sistema y Potencia de equipo.

CAPACIDAD	PERDIDAS CDT	POTENCIA HP
0.50 m <sup>3</sup> /s	11.8138 m	90.9033
0.75 m <sup>3</sup> /s	12.7163 m	137.5985
1.00 m <sup>3</sup> /s	12.07109 m	184.6862

La potencia de los motores calculada no se encuentra en forma comercial por lo que se recomienda seleccionar los motores inmediatos superiores como se muestra en la tabla 3.8

Tabla 3.8 Conversión de motores eléctricos comerciales.

CAPACIDAD	POTENCIA HP	MOTOR ELÉCTRICO HP
0.50 m <sup>3</sup> /s	90.9033	100
0.75 m <sup>3</sup> /s	137.5985	150
1.00 m <sup>3</sup> /s	184.6862	200

#### 3.7.1.4 Cálculo de los costos de los equipos de bombeo

Con relación a cotizaciones de fabricantes de bombas se obtienen los precios por equipo en la tabla 3.9.

**Tabla 3.9 Costo de equipos.**

POTENCIA HP	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	COSTO DEL EQUIPO (PESOS)	COSTO DE ARRANCADOR (PESOS)	TOTAL (PESOS)
100	0.5	\$ 26,214.00	\$ 13,952.00	\$ 40,166.00
150	0.75	\$ 33,450.50	\$ 19,321.00	\$ 52,771.50
200	1.00	\$ 35,211.27	\$ 21,000.00	\$ 56,211.27

Con esta información se calculará el costo de cada una de las opciones.

De acuerdo con la tabla 3.2 en donde se proponen las alternativas y la tabla 3.9 de costos, se calculará el costo de las alternativas sin contemplar los 3 equipos de 0.50 m<sup>3</sup>/s debido a que ya se cuenta con ellas:

En la primera alternativa ya contamos con tres equipos de 0.50 m<sup>3</sup>/s, por lo que ya no será considerada.

**Tabla 3.10 Costo de las alternativas.**

Alternativa	No. de equipos				El costo (pesos)
	0.50 m <sup>3</sup> /s	0.50 m <sup>3</sup> /s	0.75 m <sup>3</sup> /s	1.00 m <sup>3</sup> /s	
A1	3	4	---	---	\$ 216,876.00
A2	3	---	3	---	\$ 214,076.50
A3	3	---	---	2	\$ 159,006.65

Equipos por adquirir:

$$A1 = (4) (40,166.00) = \$ 160,664.00$$

$$A2 = (3) (52,771.50) = \$ 158,314.50$$

$$A3 = (2) (56,211.26) = \$ 112,422.54$$

Costos de instalación:

En este rubro es donde se considera un 20% del costo de los equipos a instalarse.

$$A1 = (40,166.00) (7) (0.20) = 56,232.00 \text{ pesos}$$

$$A2 = ((40,166) (3) + (52,771.50) (3)) (0.20) = 55,762.50 \text{ pesos}$$

$$A3 = ((40,166) (3) + (56,211.27) (2)) (0.20) = 46,584.10 \text{ pesos}$$

### 3.7.1.5 Resumen de resultados

En la Tabla 3.11 se concentrarán los resultados de las alternativas A1, A2 y A3.

Tabla 3.11 Alternativa incremento de equipos.

Alternativa	No de equipos	Potencia total	Capacidad de bombeo (m <sup>3</sup> /s )	Restricción del cárcamo	Costo (pesos)
A1	7	700	3.50	Si cumple	216,876.00
A2	6	750	3.75	Si cumple	214,075.50
A3	5	700	3.50	Si cumple	159,006.65

### 3.7.2 Reemplazo de equipos

Se sugiere reemplazar los equipos existentes por equipos de mayor capacidad para cubrir la demanda para el año 2013. Se harán las combinaciones que cumplan con las condiciones de espacio y de caudal necesario de extracción para evitar el problema, esto será sin considerar el arreglo original de tres equipos con los que ya cuenta el cárcamo, por lo que se proponen las siguientes alternativas (tabla 3.12).

Tabla 3.12 Alternativas en reemplazo de equipos de bombeo.

Alternativa	No. de equipos			Caudal m <sup>3</sup> /s
	0.50 m <sup>3</sup> /s	0.75 m <sup>3</sup> /s	1.00 m <sup>3</sup> /s	
B1	2	2	1	3.50
B2	1	4	0	3.50
B3	1	0	3	3.50

### **3.7.2.1 Restricciones de dimensiones del cárcamo**

Según la sección 1.9, para una adecuada instalación de equipos de bombeo se considera la distribución de equipos en el cárcamo tabla 1.5. Con el fin de obtener el buen funcionamiento de los mismos, tomaremos las opciones viables que cubran con el gasto requerido y se presentarán:

En la figura 3.6 se ilustra el cárcamo con una distribución de 2 bombas de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , 2 bombas de  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  y una bomba de  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$  en donde se muestran las distancias permisibles, [B] es la distancia máxima de la pared al eje del impulsor de la bomba, [S] delimita el área de succión de la bomba, ubicando el equipo de bombeo en el centro de la circunferencia y [Y] para la distancia entre la entrada de agua al cárcamo y el área de succión de las bombas. Los subíndices de cada uno de estos factores hacen referencia a la capacidad de los equipos a instalarse. El Instituto de Hidráulica de los Estados Unidos recomienda que el área de succión generada por [S] y el área generada por [Y] no se traslapen, así como evitar la superposición de las áreas de succión.

En la figura 3.7 se muestra una distribución de 1 bomba de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y 4 bombas de  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ , cumpliendo con las restricciones de diseño de cárcamo.

En la figura 3.8 se muestra una distribución formada por 1 bomba de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y 3 bombas de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  cumpliendo con las restricciones de diseño del cárcamo.

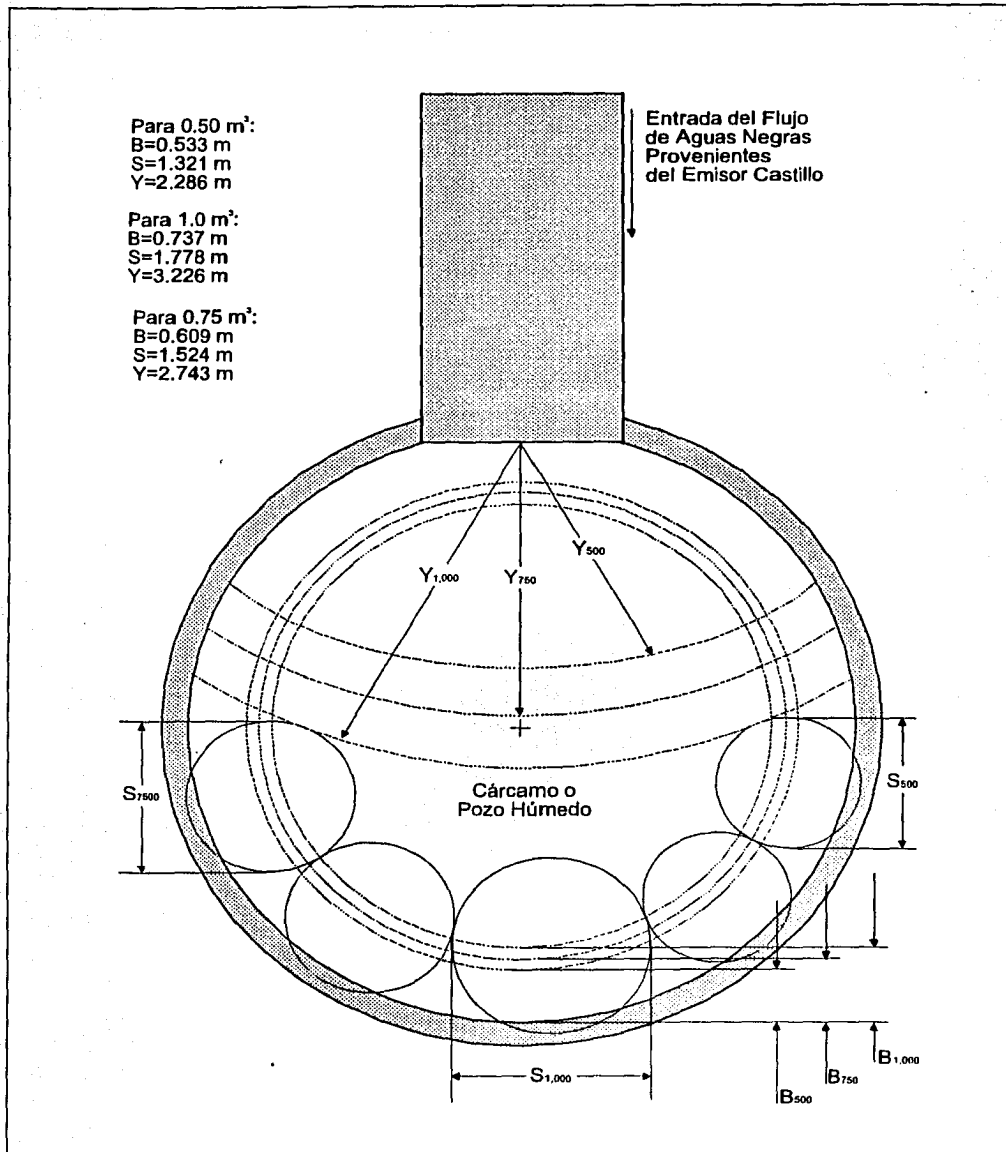


Figura 3.6 Alternativa B1, 2 bombas de  $0.50 \text{ m}^3/\text{s}$  y 2 bombas de  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  y una bombas de  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$

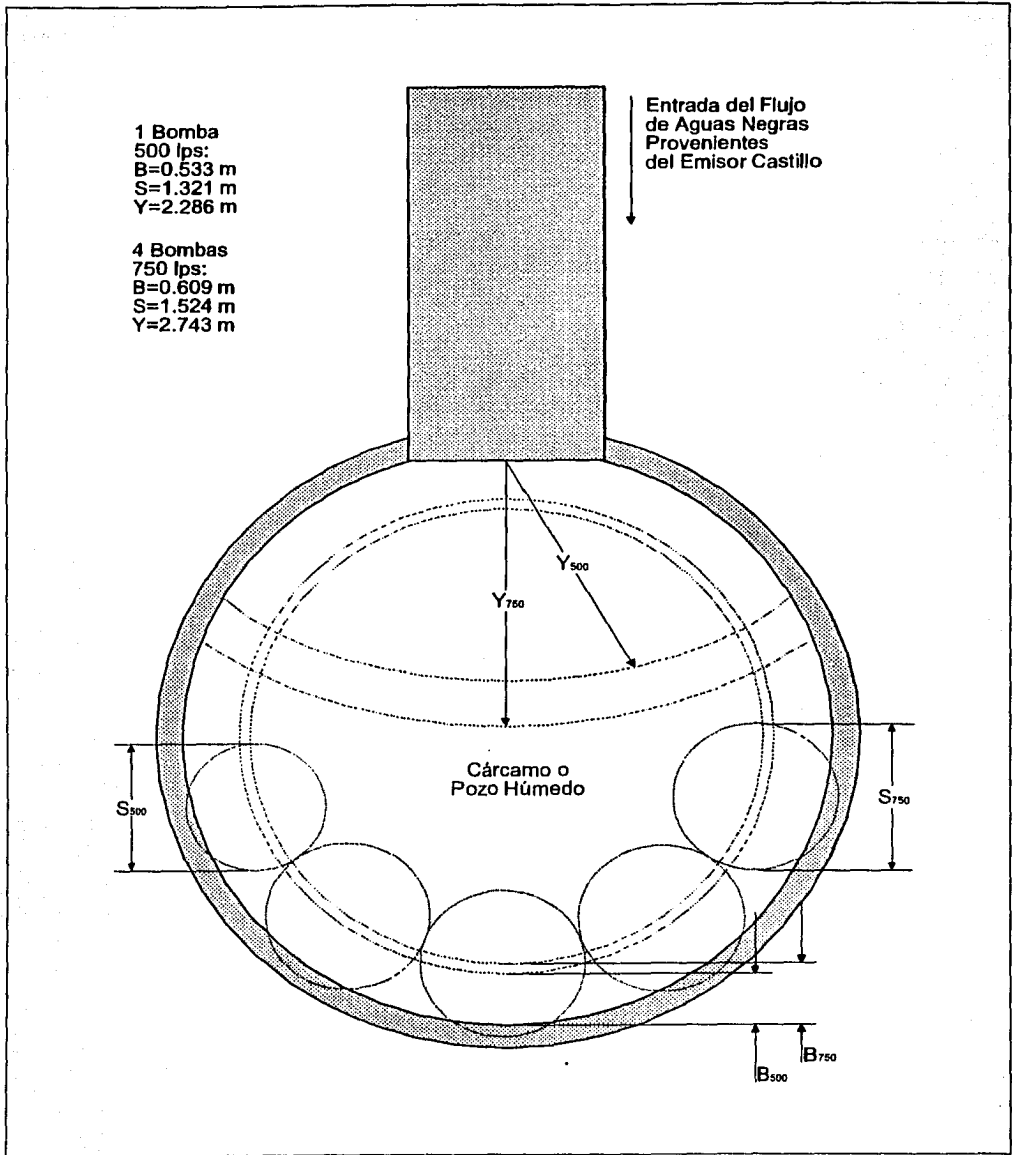


Figura 3.7 Alternativa B2, una bomba de 0.50 m<sup>3</sup>/s y 4 bombas de 0.75 m<sup>3</sup>/s

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



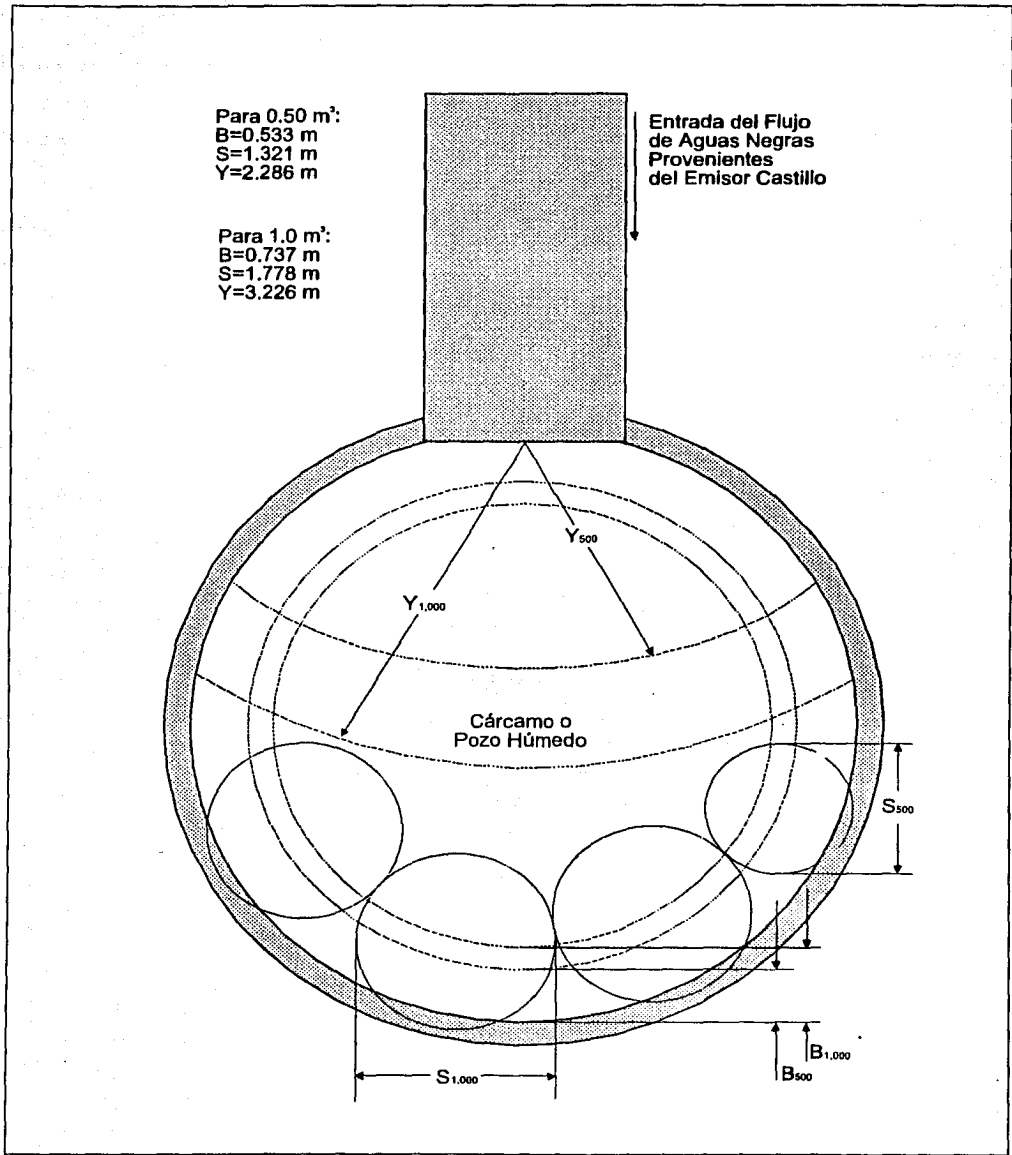


Figura 3.8 Alternativa B3, 1 bomba de 0.50 m<sup>3</sup>/s y 3 bombas de 1.00 m<sup>3</sup>/s

### 3.7.2.2 Cálculo de pérdidas en el sistema de bombeo

Este cálculo es el mismo que se realizó en el inciso 3.7.1.2, ya que tenemos las mismas capacidades de bombeo, pero en una distribución totalmente nueva, se utilizan los mismos para este inciso y los valores calculados se muestran en la tabla 3.7

### 3.7.2.3 Cálculo de potencia de los equipos de bombeo

Este cálculo ya fue realizado en el inciso 3.7.1.3 y debido a que los equipos de bombeo son de las mismas características por lo que ya se detallaron resultados en la tabla 3.7.

### 3.7.2.4 Costos reemplazo de equipos de bombeo

Con relación a cotizaciones de fabricantes de bombas se obtienen los precios de la tabla 3.9.

Con dicha información se calculará el costo de cada una de las opciones.

De acuerdo con la Tabla 3.6 en donde se proponen las alternativas y la Tabla 3.9 de costos, tenemos que el costo de cada alternativa será (Tabla 3.13):

Tabla 3.13 Costo de la alternativa de reemplazo de equipos

Alternativa	No. de equipos			Costo total. (pesos)
	0.50 m <sup>3</sup> /s	0.75 m <sup>3</sup> /s	1.00 m <sup>3</sup> /s	
B1	2	2	1	\$ 210,171.27
B2	1	4	0	\$ 261,336.40
B3	1	0	3	\$ 210,393.81

Equipos nuevos por adquirir:

$$B1 = (2) (52,771.50) + (1) (56,211.27)$$

$$B1 = 105,543.00 + 56,211.27$$

$$B1 = \$ 161,754.27$$

$$B2 = (4) (52,771.50)$$

$$B2 = \$ 211,086.00$$

$$B3 = (3) (56,211.27)$$

$$B3 = \$ 168,633.81$$

Costos de instalación:

$$B1 = ((40,166) (2) + (52,771) (2) + (56,211.27)) (0.20) = 48,417.00$$

pesos

$$B2 = ((40,166) + (52,771.50) (4)) (0.20) = 50,250.40$$

pesos

$$B3 = ((40,166) + (56,211.27) (3)) (0.20) = 41,759.96$$

pesos

### 3.7.2.5 Resumen de resultados

En la Tabla 3.14 se concentran los resultados de las alternativas B1, B2 y B3.

Tabla 3.14 Alternativa reemplazo de equipos.

Alternativa	No de equipos	Potencia total	Capacidad de bombeo (m <sup>3</sup> /s)	Restricción del cárcamo	Costo (pesos)
B1	5	700	3.50	Si cumple	210,171.27
B2	5	700	3.50	Si cumple	261,336.40
B3	4	700	3.50	Si cumple	210,393.81

### 3.7.3 Construcción de un cárcamo paralelo al cárcamo existente

Debido a que el gasto en aguas residuales y consumo de las poblaciones no es constante, una alternativa recomendada para la solución de nuestro problema de inundación es el uso de sistemas que puedan extraer un mayor caudal y cubrir la demanda requerida, por medio de alojar equipos de bombeo que cumplan con la capacidad de extracción en los años siguientes, evitar derrames de aguas residuales hacia las áreas pobladas o que producen afección por inundación a carreteras, contaminan agua potable, etc.

En esta alternativa se considerará no hacer modificaciones al cárcamo existente en su estructura y equipos con los que cuenta, se construirá un nuevo cárcamo con nuevos equipos de bombeo que

nos auxiliaran en la extracción del gasto excedente que se tendrá en el año 2013.

Para esto se recomienda un cárcamo circular debido a que se adapta mejor a las condiciones de suelos blandos y se sugiere que sea de las mismas dimensiones ya que con esto se puede extraer el caudal que el primer cárcamo no puede.

El sistema actual puede extraer  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y la demanda para el año 2013 será de  $3.3719 \text{ m}^3/\text{s}$ , por lo tanto el nuevo cárcamo y su sistema de bombeo debe extraer  $1.8719 \text{ m}^3/\text{s}$ , las alternativas que se proponen para este sistema se ven en la tabla 3.15.

En esta alternativa sólo se extraerán en el cárcamo nuevo  $1.8719 \text{ m}^3/\text{s}$

Tabla 3.15 Alternativas en reemplazo de equipos de bombeo.

Alternativa	No. de equipos			Caudal $\text{m}^3/\text{s}$
	$0.50 \text{ m}^3/\text{s}$	$0.75 \text{ m}^3/\text{s}$	$1.00 \text{ m}^3/\text{s}$	
C1	4	0	0	2.00
C2	1	2	0	2.00
C3	0	0	2	2.00

### 3.7.3.1 Restricciones de dimensiones del cárcamo

Según la sección 1.9, para una adecuada instalación de equipos de bombeo se considera la distribución de equipos en el cárcamo tabla 1.5; con el fin de obtener el buen funcionamiento de los mismos, tomaremos las opciones viables que cubran con el gasto requerido y se presentarán:

En la figura 3.9 se ilustra el cárcamo con una distribución de 4 bombas de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , cumpliendo con las restricciones de diseño del cárcamo.

En la figura 3.10 se muestra una distribución de 1 bomba de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y 2 bombas de  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$ , cumpliendo con las restricciones de diseño de cárcamo.

En la figura 3.11 se muestra una distribución formada por 2 bombas de  $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$  cumpliendo con las restricciones de diseño del cárcamo.

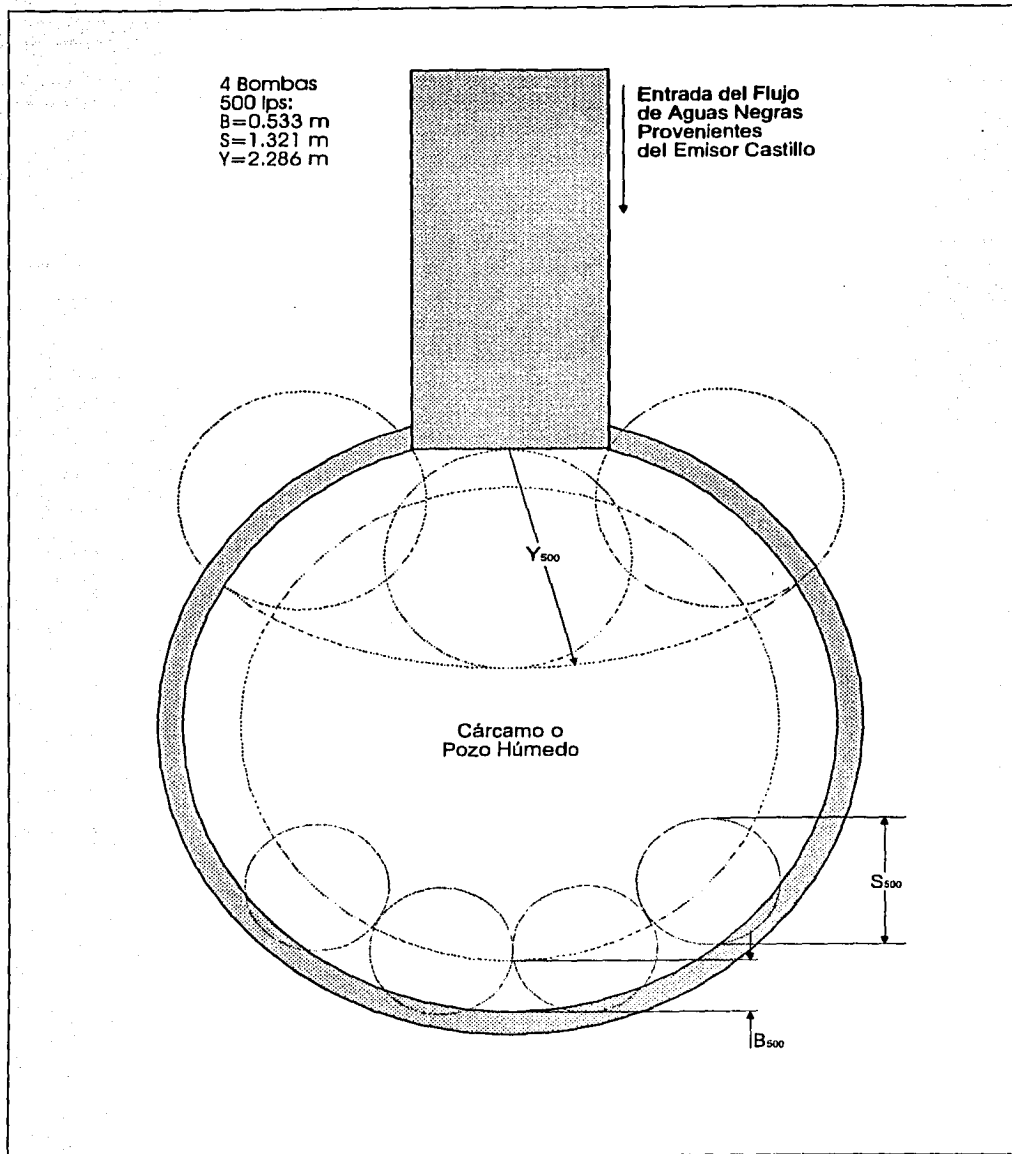


Figura 3.9 Alternativa C1, cuatro bombas de 0.50 m<sup>3</sup>/s

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

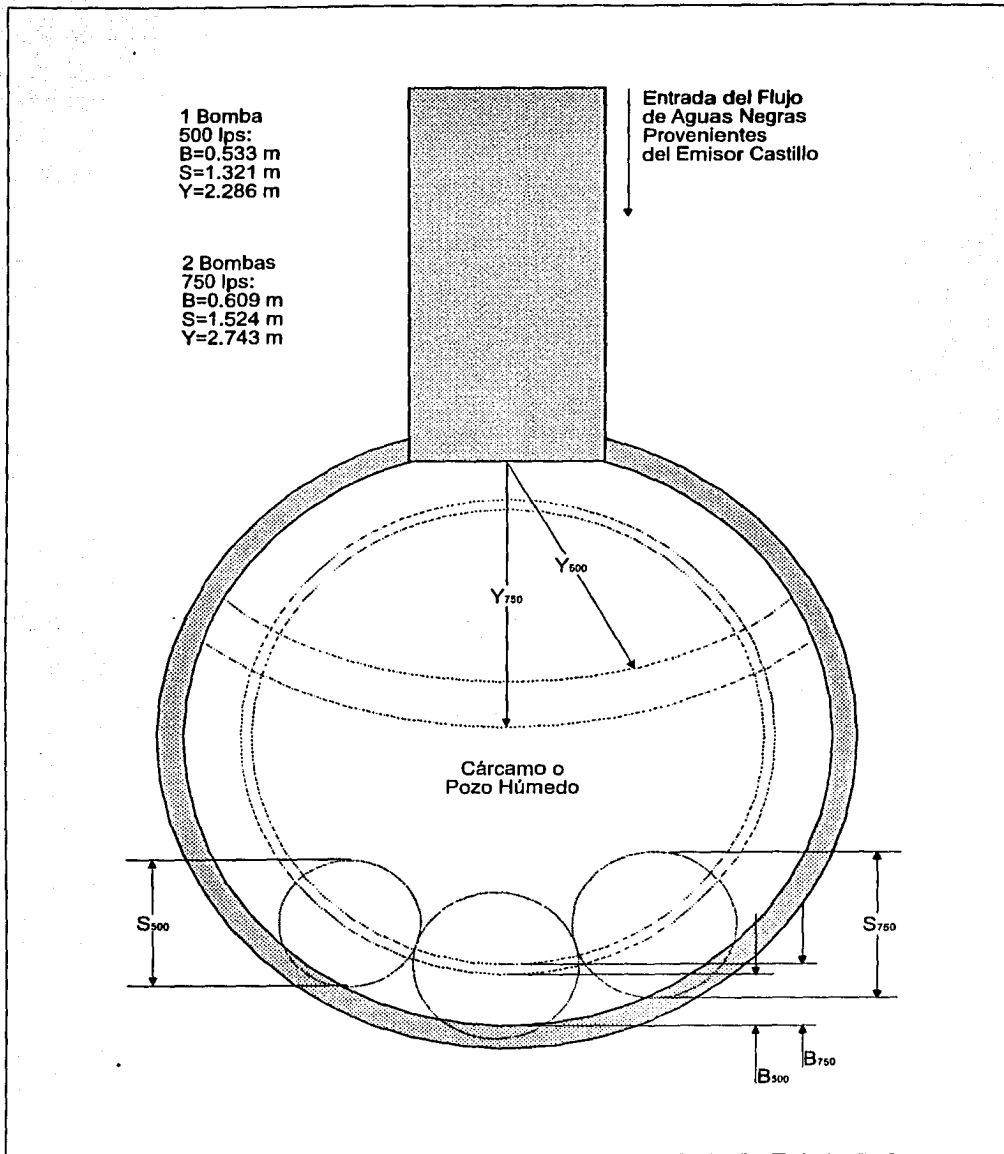


Figura 3.10 Alternativa C2, una bomba de 0.50 m<sup>3</sup>/s y dos bombas de 0.75 m<sup>3</sup>/s

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

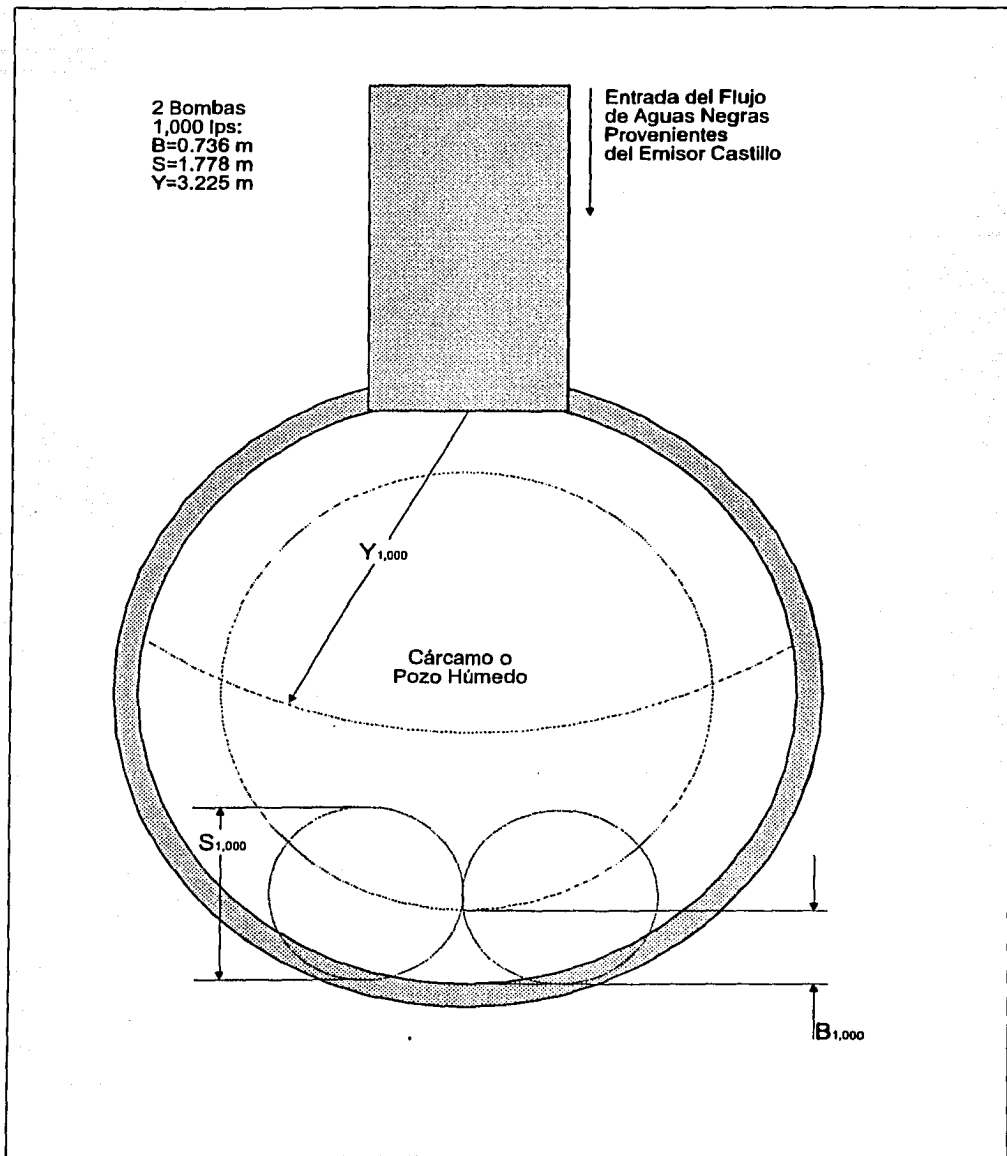


Figura 3.11 Alternativa C3, dos bombas de 1.00 m<sup>3</sup>/s

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### 3.7.3.2 Cálculo de pérdidas en el sistema de bombeo

Este cálculo es el mismo que se realizó en el inciso 3.7.1.2, ya que tenemos las mismas capacidades de bombeo, pero en una distribución totalmente nueva, se utilizan los mismos para este inciso y los valores calculados se muestran en la tabla 3.7

### 3.7.2.3 Cálculo de potencia de los equipos de bombeo

Este cálculo ya fue realizado en el inciso 3.7.1.3 y debido a que los equipos de bombeo son de las mismas características por lo que ya se detallaron resultados en la tabla 3.7.

### 3.7.2.4 Costos de reemplazo de equipos de bombeo

Se cotizó la totalidad de la construcción de un nuevo cárcamo, la cual se muestra en la tabla 3.16:

Tabla 3.16 Costos para la construcción de un cárcamo de bombeo.

Concepto	Cantidad	Precio Unitario (pesos)	Total (pesos)
Excavación con maquinaria	300 m <sup>3</sup>	140.00	42,000.00
Base de concreto	42 m <sup>2</sup>	103.88	4,362.96
Colado de concreto, muros	135 m <sup>3</sup>	1,266.40	172,103.76
Estructura de hierro	10,625 kg.	13.40	142,375.00
Cimbra de madera	407 m <sup>2</sup>	268.56	109,303.92
Impermeabilización	1,315 kg.	55.80	73,377.00
Limpieza de la zona			64,673.00
Total			<b>608,195.64</b>

En base a una relación de cotizaciones de algunos fabricantes de bombas se obtienen los precios de la tabla 3.9.

Con dicha información se calculará el costo de cada una de las opciones.

De acuerdo con la Tabla 3.15 en donde se proponen las alternativas y la Tabla 3.9 de costos, tenemos que el costo de cada alternativa será:



Tabla 3.17 Costo de equipos del cárcamo paralelo.

Alternativa	No. De equipos			Costo (pesos)
	0.50 m <sup>3</sup> /s	0.75 m <sup>3</sup> /s	1.00 m <sup>3</sup> /s	
C1	4	0	0	\$ 192,796.80
C2	1	2	0	\$ 174,850.80
C3	0	0	2	\$ 134,907.05

Equipos nuevos por adquirir:

$$C1 = (4) (40,166.00)$$

$$C1 = \$ 160,664.00.$$

$$C2 = (1) (40,166.00) + (2) (52,771.50)$$

$$C2 = 40,166.00 + 105,543.00$$

$$C2 = \$ 145,709.00$$

$$C3 = (2) (56,211.27)$$

$$C3 = 112,422.54$$

Costos de instalación:

$$C1 = (160,000) (0.20) = 32,132.80 \text{ pesos}$$

$$C2 = (145,709) (0.20) = 29,141.80 \text{ pesos}$$

$$C3 = (112,422.54) (0.20) = 22,484.50 \text{ pesos}$$

Tabla 3.18 Costo total de las alternativas del cárcamo nuevo.

Alternativa	Costo del cárcamo	Costo del equipo de bombeo	Costo total
C1	608,195.64	192,796.80	\$ 800,992.44
C2	608,195.64	174,850.80	\$ 783,046.44
C3	608,195.64	134,907.05	\$ 743,102.69

### 3.7.3.5 Resumen de resultados

En la Tabla 3.19 se concentrarán los resultados de las alternativas C1, C2 y C3.

Tabla 3.19 Alternativa cárcamo paralelo

Alternativa	No de equipos	Potencia total	Capacidad de bombeo (m <sup>3</sup> /s )	Restricción del cárcamo	Costo (pesos)
C1	7	700	3.50	Si cumple	800,992.44
C2	6	700	3.50	Si cumple	783,046.44
C3	6	700	3.50	Si cumple	743,102.69

## CAPÍTULO 4

### Resultados

#### 4.1 Introducción

En este capítulo se valorarán los resultados de las alternativas propuestas obtenidos en el capítulo anterior con el fin de determinar cuáles son las dos o tres mejores opciones de solución para determinar la solución más conveniente.

#### 4.2 Valoración

El criterio de valoración utilizado será de los rangos de cero a tres, siendo tres la opción con mejor calificación y cero la menos adecuada. Así mismo se justificará la valoración en cada uno de los criterios.

Las calificaciones de todos los criterios para cada alternativa se sumarán para así determinar cuál de éstas es la mejor.

##### 4.2.1 Valoración del número de equipos

En este caso se valorará con la mayor calificación a la alternativa con menor número de equipos, ya que esto implica menores costos de mantenimiento.

##### 4.2.2 Valoración de la potencia de los equipos

En este caso se valorará con la mayor calificación a la alternativa que tenga menor potencia, lo cual significa que el consumo de energía es menor.

##### 4.2.3 Valoración de la capacidad de bombeo

En este caso la valoración de mayor calificación será la alternativa que se aproxime más al caudal calculado para el año 2013.

##### 4.2.4 Valoración de restricción de dimensión del cárcamo

Esta valoración se basa en las normas de dimensión de un cárcamo y los equipos a instalarse en el mismo. En este proyecto todas las alternativas cumplen con estos parámetros. La alternativa que obtendrá la mayor calificación será la que presente una distancia menor entre la entrada al cárcamo y el área de succión de los equipos de bombeo.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.2.5 Valoración de costos de las alternativas

Esta valoración se basará en rangos de costos que se presentan en la tabla 4.1, ya que los recursos financieros son limitados, en este caso en particular la valoración tendrá doble ponderación.

Tabla 4.1 Valoración de costos

<b>Valoración</b>	<b>Rango de costos (pesos)</b>
6	De 150,000 a 200,000
4	De 201,000 a 250,000
2	De 251,000 a 300,000
0	Mayor de 300,000

#### 4.3 Valoración general de las alternativas

A continuación en la tabla 4.2 se presenta la tabla de resultados de todas las alternativas analizadas. Con esta información se procederá a realizar una matriz de decisión de donde obtendremos las mejores soluciones.

Tabla 4.2 Tabla de resultados

Alternativa	No de equipos	Potencia total	Capacidad de bombeo (m <sup>3</sup> /s)	Restricción de dimensiones del cárcamo	Costo (pesos)
A1	7	700	3.50	Si cumple	216,876.00
A2	6	750	3.75	Si cumple	214,076.50
A3	5	700	3.50	Si cumple	159,006.65
B1	5	700	3.50	Si cumple	210,171.27
B2	5	700	3.50	Si cumple	261,336.40
B3	4	700	3.50	Si cumple	210,393.81
C1	7	700	3.50	Si cumple	800,992.44
C2	6	700	3.50	Si cumple	783,046.44
C3	5	700	3.50	Si cumple	743,102.69

Tabla 4.3 Tabla de valoración de las alternativas

Alternativa	No de equipos	Potencia Total	Capacidad de bombeo	Restricción de dimensiones del cárcamo	Costo	Total
A1	0	3	3	1	4	11
A2	1	0	0	0	4	5
A3	2	3	3	0	6	14
B1	2	3	3	0	4	12
B2	2	3	3	2	2	12
B3	3	3	3	1	4	14
C1	0	3	3	3	0	9
C2	1	3	3	3	0	10
C3	2	3	3	3	0	11

#### 4.4 Selección de la mejor alternativa

Como lo indica la tabla 4.3 las alternativas A3 y B3 son las de mayor calificación en la sumatoria de todos los valores asignados a los 5 criterios considerados. En este caso en particular la diferencia es mínima por lo que se justificará a continuación la alternativa seleccionada.

La alternativa B3 es la que se selecciona debido a que el costo es menor que la B3 aun cuando ambas opciones son muy atractivas y cumplirán con el trabajo requerido.

### **Selección de la alternativa.**

De la matriz de selección se observa que las mejores alternativas son la A3 y B3, éstas cumplen con lo siguiente:

- Requieren pocos equipos de bombeo, lo cual nos facilitará la instalación y mantenimiento.
- Una potencia moderada
- Cubren las restricciones de dimensiones del cárcamo.
- Cubren la demanda que tendremos en el cárcamo en el año 2013.
- Costos reducidos.

Las alternativas del cárcamo paralelo cumplen con los requerimientos anteriores con un mayor grado de funcionalidad y desempeño, pero debido a su alto costo resultan inviables.

Las alternativas A3 y B3 son igualmente viables pero ya que se cuenta con recursos limitados, en este caso se decide aprovechar el equipo instalado por lo que la alternativa seleccionada es A3.

## **Conclusiones**

Con esta tesis se propone un método de análisis para plantas de bombeo de aguas residuales y se resuelve específicamente el problema de la planta de bombeo Castillo en el municipio de Chimalhuacán.

Se observa la importancia de un análisis del comportamiento de la planta de bombeo a posterioridad debido a que son obras indispensables para el desarrollo de zonas urbanas.

Este es un problema tipo que proporciona un método para resolver problemas de inundación de otros cárcamos de bombeo de aguas residuales.

En este caso en particular se observa la falta de planeación de un plan estratégico de desarrollo que deriva en asentamientos irregulares que provocan inundaciones en la planta de bombeo.

Con este proyecto se cumple el objetivo de proponer alternativas de solución al problema de inundación que se origina en la planta de bombeo de Chimalhuacán, ya que después de analizar las diversas propuestas se concluyó que una de las soluciones más viables es la B3 en donde los costos y el servicio que brindará la planta de bombeo en el año 2013 serán suficientes para solucionar dicho problema.

La alternativa seleccionada satisface las necesidades de bombeo, así como de costo y dimensiones de cárcamo, aunado a esto se usa un equipo existente con capacidad de  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$  y 3 equipos nuevos de  $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este arreglo de equipos de bombeo no tendrá problemas en el funcionamiento para la demanda máxima y mínima en la vida útil del sistema que es de 11 años.

El principal objetivo del proyecto es evitar las inundaciones en un área de 4 kilómetros cuadrados al norte de Chimalhuacán, Estado de México. Por lo que este proyecto evitará inundaciones hasta el año 2013 con un pronóstico de crecimiento de población del 7.5 % anual dando certidumbre a las zonas habitacionales existentes y por desarrollar.

Además la población tendrá seguro su patrimonio, evitará condiciones insalubres, que nos podrían generar epidemias, problemas gastro-intestinales y de salud, principalmente en la comunidad infantil.

El apoyo que recibimos de la Universidad Panamericana fue la formación técnica y humanística necesaria para encausar problemas, a través de bases que nos permiten visualizar las mejores soluciones, tanto en el área técnica como social.

En el área técnica se impartieron las materias de fluidos, electricidad y turbomáquinas, que nos ayudaron a obtener la información necesaria para llegar a la solución más adecuada.

En área social, la universidad con su metodología nos inculcó el ayudar al prójimo y ver sus problemas como un problema propio y no ajeno, para de esta manera nunca perder de vista que la solución fuese integral.



## **Generación de conciencia**

Este proyecto nos da punto de comparación sobre la importancia de la planeación urbana, ya que el agua es indispensable para las actividades diarias y no es fácil percatarse sobre las complejas obras hidráulicas necesarias para el suministro y desalajo de aguas, puesto que son obras que requieren de un estudio a fondo para dar un servicio a largo plazo.

En el caso que estudiamos en esta tesis, se observa un asentamiento irregular que necesita de grandes inversiones para obtener una infraestructura adecuada, dado que en el lugar existen calles no pavimentadas, así como un basurero municipal por lo que el drenaje se ve contaminado en exceso sin poder tener control sobre el contenido de sólidos en el agua. Debido a esto, se necesitan varias obras hidráulicas complementarias tales como desarenadores y un mantenimiento continuo del sistema de atarjeas y colectores, así como la urbanización y pavimentación de calles.

Después de ver los problemas que provoca un mal servicio de una planta de bombeo tomamos conciencia respecto a la cantidad de agua que se desperdicia y que no nos damos cuenta del trabajo que cuesta que llegue el agua a nuestros hogares así como el hecho de que ésta llegue a los cauces naturales para que de esta manera no se generen inundaciones.

Con este trabajo nos dimos cuenta de los lugares privilegiados en que vivimos en los cuales una inundación está muy lejana.

Uno de los puntos importantes fue también darnos cuenta que hay mucha gente detrás de los sistemas que mantienen una ciudad trabajando correctamente y de las cuales nunca nos damos cuenta.

Después de haber realizado el proyecto se propone el implementar más prácticas de campo con problemas reales, tratando de llegar a las soluciones y que la universidad tratara de poner en práctica la mejor solución que se encuentre para cada problema. Con esto se lograría que los alumnos tuvieran una capacitación en campo y contaría con una gran experiencia, ya que en la mayoría de los trabajos siempre solicitan personal con experiencia y la cual nunca se tiene al salir de la universidad.

## Bibliografía

### **Diseño de acueductos y alcantarillados**

Ricardo A. López Cualla  
Alfaomega  
Colombia, 2000

### **Abastecimiento de agua potable**

Pedro López Alegría  
Alfaomega  
México, 2002

### **Mecánica de fluidos**

Viejo Zubicaray  
C.E.C.S.A  
México, 1984

### **Bombas, teoría, diseño y aplicaciones**

Viejo Zubicaray  
Limusa  
México, 1995

### **Bombas, su selección y aplicaciones**

Tyler G. Hicks  
C.E.C.S.A.  
México, 1994

### **Mecánica de fluidos**

Frank M. White  
McGraw Hill  
México, 1979

### **Mecánica de los fluidos**

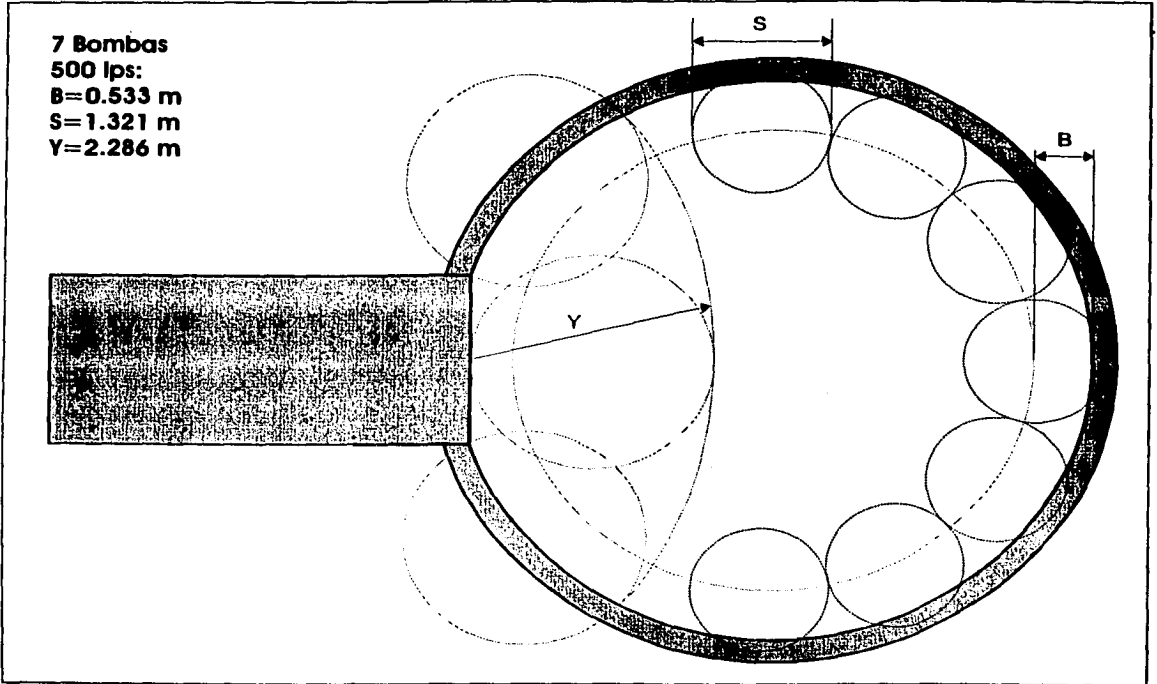
Bernard Stanford Massey, Ph. D.  
C.E.C.S.A.  
México, 1984

### **Mecánica de los fluidos**

Victor L. Streeter / E. Benjamín Wylie  
McGraw Hill  
México, 1988

## APÉNDICE A

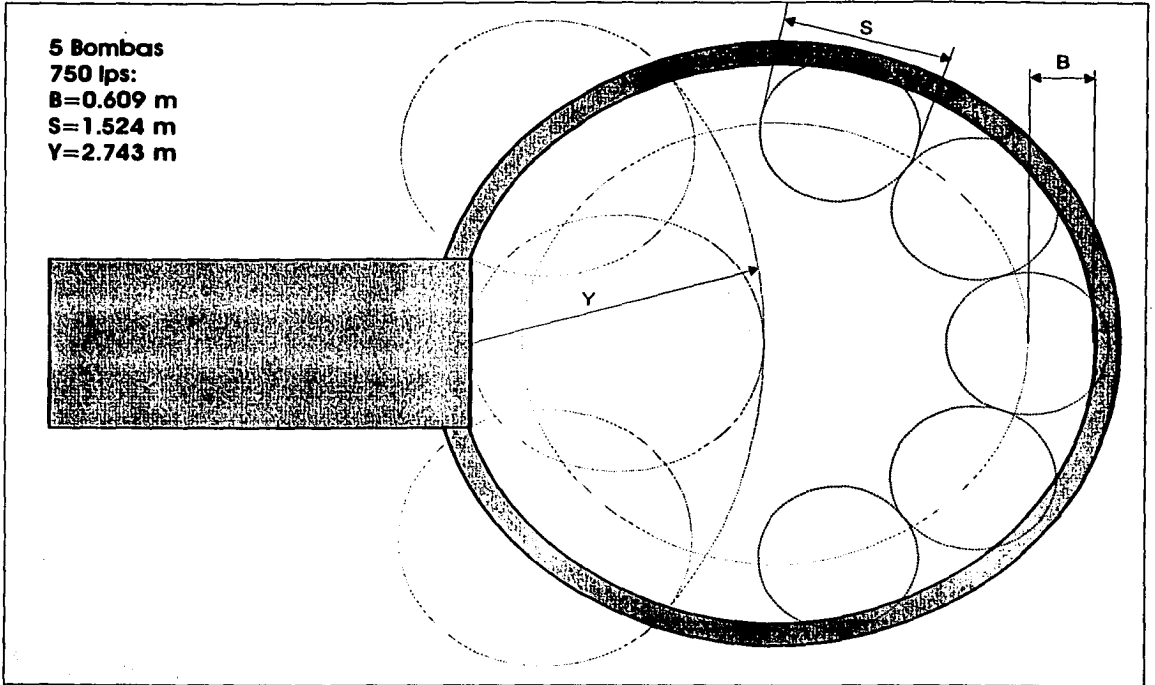
### Restricciones de Dimensiones del cárcamo



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo

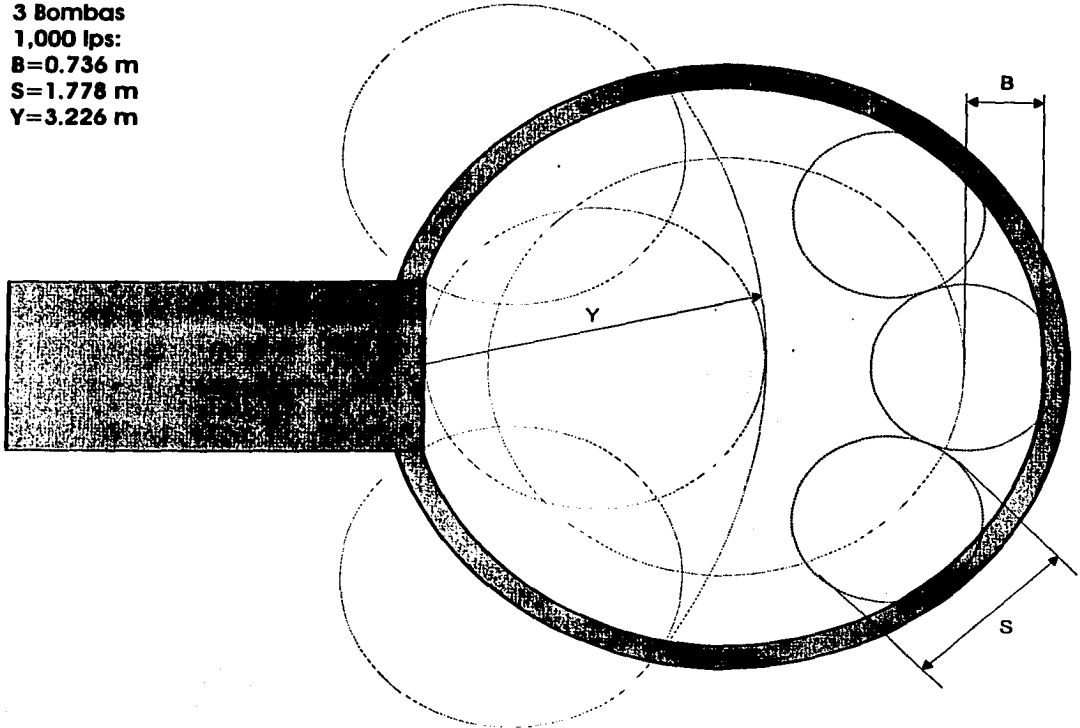


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo

3 Bombas  
1,000 lps:  
 $B=0.736$  m  
 $S=1.778$  m  
 $Y=3.226$  m

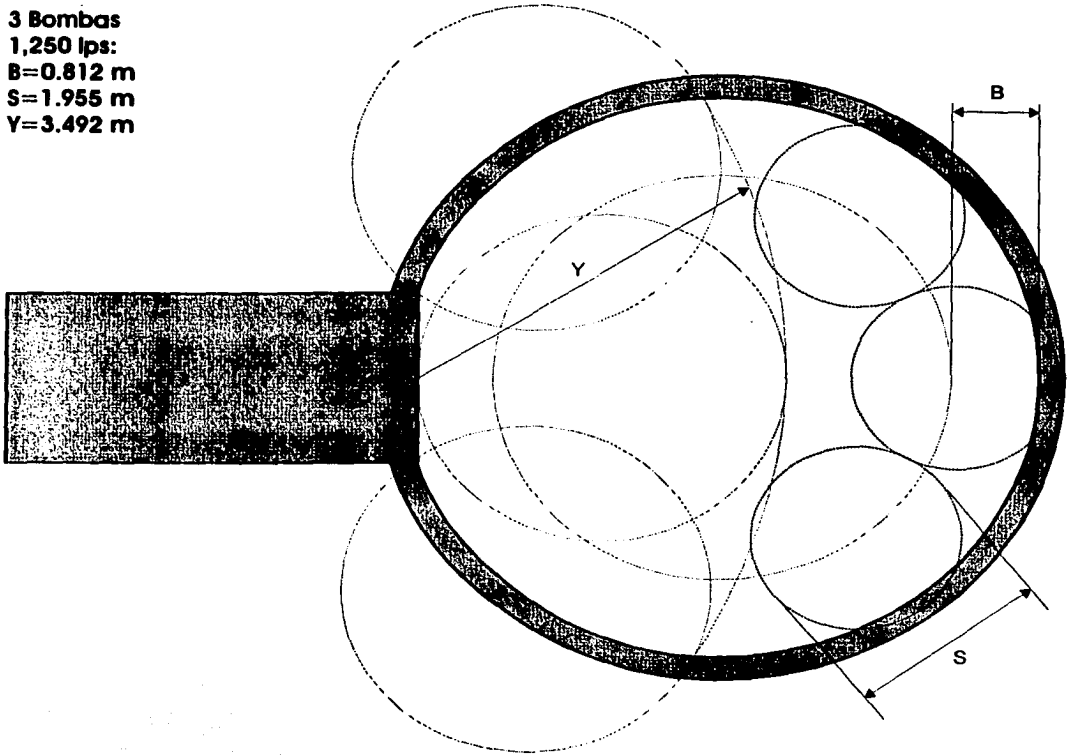


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo

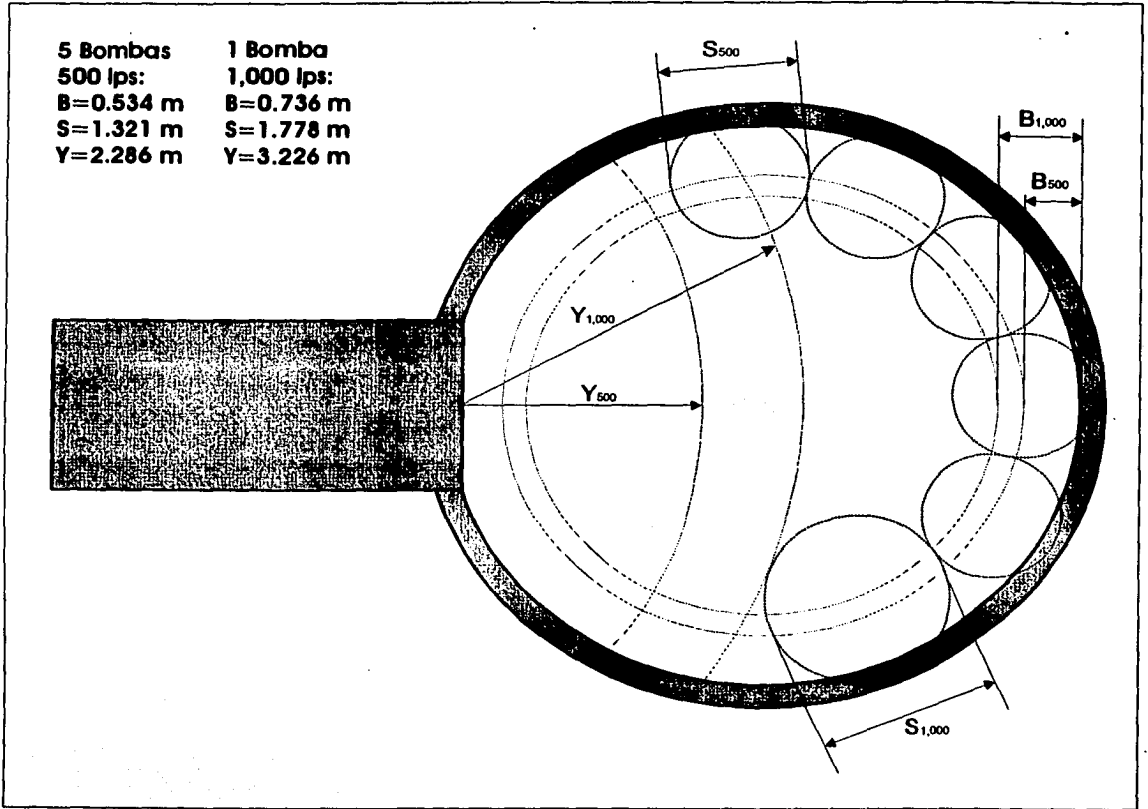
3 Bombas  
1,250 lps:  
 $B=0.812$  m  
 $S=1.955$  m  
 $Y=3.492$  m



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

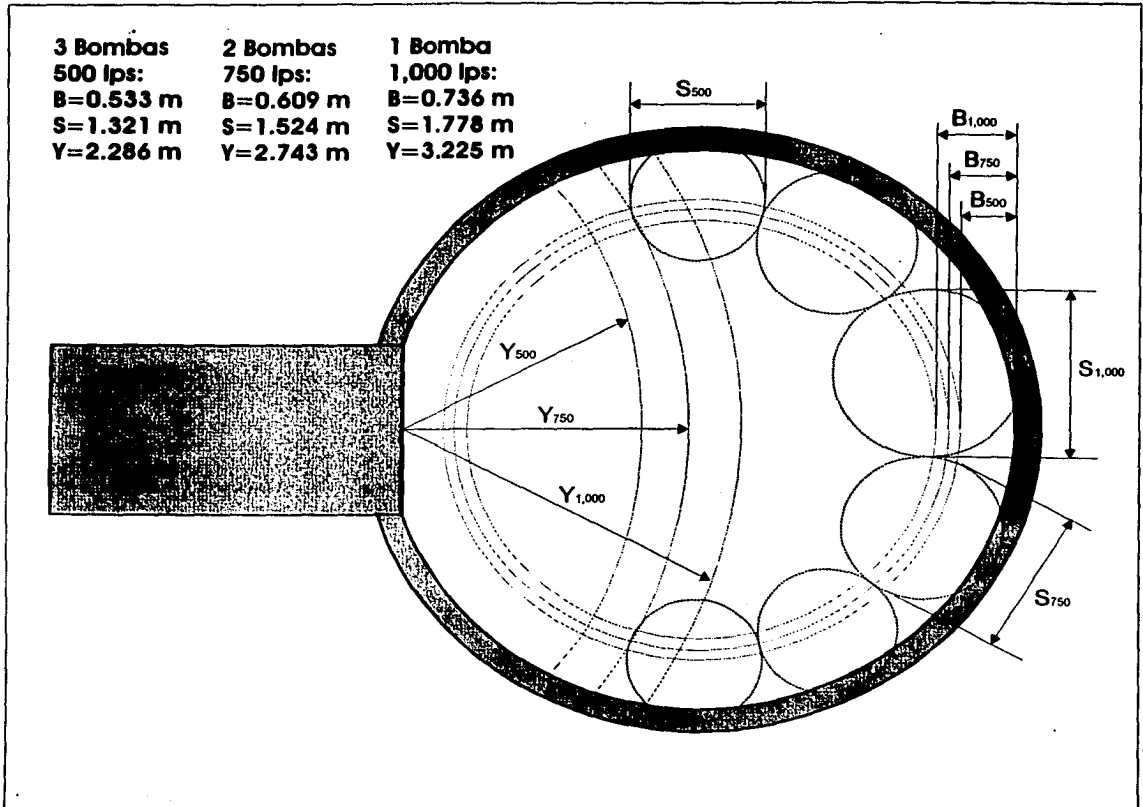
### Restricciones de Dimensiones del cárcamo



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

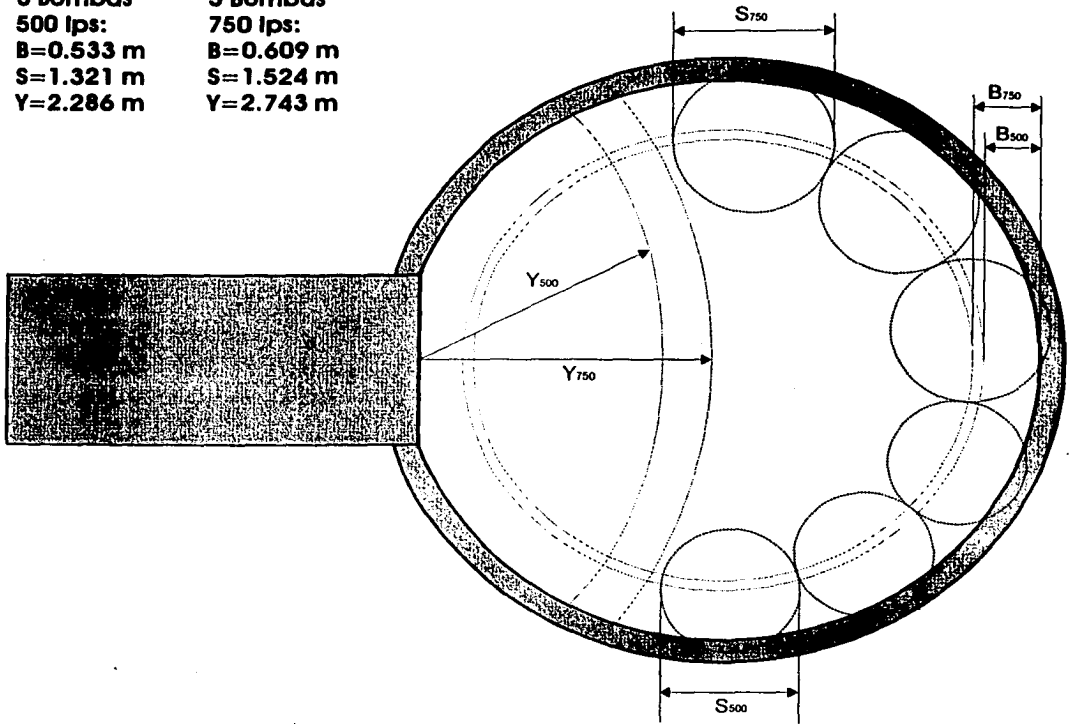


## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo

**3 Bombas**  
**500 ips:**  
**B=0.533 m**  
**S=1.321 m**  
**Y=2.286 m**

**3 Bombas**  
**750 ips:**  
**B=0.609 m**  
**S=1.524 m**  
**Y=2.743 m**

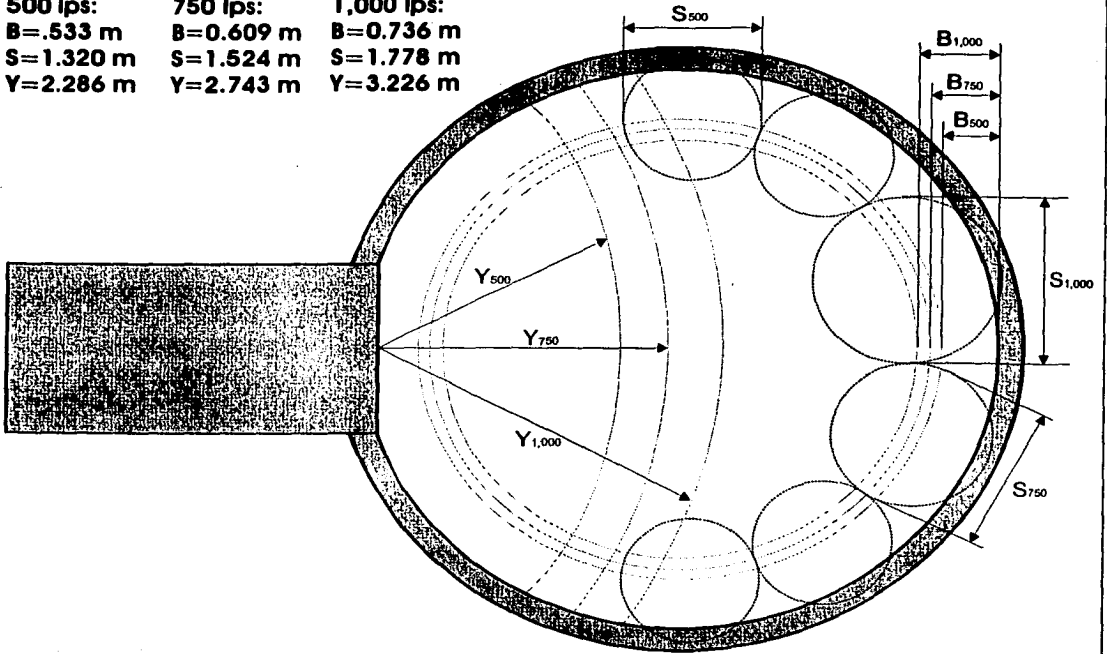


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APÉNDICE A

### Restricciones de Dimensiones del cárcamo

<b>4 Bombas</b>	<b>1 Bomba</b>	<b>1 Bomba</b>
<b>500 lps:</b>	<b>750 lps:</b>	<b>1,000 lps:</b>
<b>B=.533 m</b>	<b>B=0.609 m</b>	<b>B=0.736 m</b>
<b>S=1.320 m</b>	<b>S=1.524 m</b>	<b>S=1.778 m</b>
<b>Y=2.286 m</b>	<b>Y=2.743 m</b>	<b>Y=3.226 m</b>



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## APENDICE B

### ESPECIFICACIONES DE MOTORES VERTICALES

#### MOTORES U.S. DE MEXICO S.A.

HP	VELOCIDAD R.P.M.
100	3600
	1800
	1200
	900
125	3600
	1800
	1200
	900
150	3600
	1800
	1200
	900
200	3600
	1800
	1200
	900
250	3600
	1800
	1200
	900

HP	VELOCIDAD R.P.M.
300	3600
	1800
	1200
	900
350	3600
	1800
	1200
	900
400	3600
	1800
	1200
	900
500	3600
	1800
	1200
	900
600	3600
	1800
	1200
	900

#### MOTORES COMERCIALES