

46



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANÁLISIS OPERATIVO DEL SISTEMA PRIMARIO  
DE REGULARIZACION Y DISTRIBUCION DE  
AGUA POTABLE DE LA ZONA PONIENTE  
DEL DISTRITO FEDERAL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

CARLA HERNANDEZ RIVAS



DIRECTOR DE TESIS:

M.I. FRANCISCO J. ECHAVARRIA ALFARO

CD. UNIVERSITARIA, MEXICO, D. F., 2000

281779



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.

# **DEDICATORIA**

## **A mi madre**

Por darme la vida y enseñarme la capacidad que tiene una madre para luchar por sus hijos.

## **A mi papá**

Gracias por el tiempo que estuviste conmigo.

## **A la familia Funes Rivas**

Por estar a mi lado.

## **A Francisco Manuel y Félix Javier**

Gracias por su maravillosa sonrisa.

## **A Gaby, Oscar, Andrés y Fer**

Por permitirme ser, más que su amiga, parte de su familia.

# **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería.**

Por permitirme crecer con ellas y por ellas.

**A la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del Gobierno del D. F.**

Por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

**Al los ingenieros Francisco J. y Rafael Echavarría Alfaro**

Por favorecerme con su apoyo y permitirme aprender de ellos.

**A la empresa EFE Asesores, S.A. de C.V.**

Por permitirme ser parte de ella y apoyarme en todo momento.

**Al M.I. Carlos Franco D.**

Por su preciado apoyo.

**A Jesús, Fernando y Jorge A.**

Por su ayuda y apoyo en todo momento.

**Nada le pasa a hombre alguno que la  
naturaleza no lo haya dotado para soportar.**

*Marco Aurelio*



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-045/96

Señorita  
**CARLA HERNANDEZ RIVAS**  
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **M.I. FRANCISCO ECHAVARRIA ALFARO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

**"ANALISIS OPERATIVO DEL SISTEMA PRIMARIO DE REGULARIZACION Y DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE LA ZONA PONIENTE DEL DISTRITO FEDERAL"**

- INTRODUCCION**
- I. DESCRIPCION DEL SISTEMA**
  - II. MODELOS DE SIMULACION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE CONDUCCIONES**
  - III. IMPLEMENTACION Y CALIBRACION DEL MODELO**
  - IV. APLICACION DEL MODELO OPERATIVO PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**
  - V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, a 22 de marzo de 1996.  
EL DIRECTOR.

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP\*nl1

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES .....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	9
<b>2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>11</b>
2.1 TANQUES DE REGULARIZACIÓN .....	24
2.2 LÍNEAS DE INTERCOMUNICACIÓN .....	26
2.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN .....	28
<b>3 MODELOS DE SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE CONDUCCIONES .....</b>	<b>30</b>
3.1 FLUJO A SUPERFICIE LIBRE .....	30
3.1.1 Ecuaciones Básicas .....	31
3.1.2 Recomendaciones Prácticas para el Uso del Programa .....	32
3.2 FLUJO A PRESIÓN.....	35
3.2.1 Entrada de Datos .....	36
3.2.2 Salida de Resultados .....	37
3.3 MODELO PROPUESTO.....	38

---

<b>4</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO .....</b>	<b>42</b>
4.1	ARMADO .....	42
4.1.1	Líneas de distribución del Poniente del Distrito Federal .....	47
4.1.1.1	Línea Aero-Club .....	47
4.1.1.2	Línea Dolores .....	47
4.1.1.3	Línea Santa Lucía .....	47
4.1.1.4	Línea Águilas .....	49
4.1.1.5	Línea Torres 4 .....	49
4.1.1.6	Línea El Judío .....	49
4.2	CAUDALES SUMINISTRADOS AL SISTEMA .....	49
4.3	GASTOS DEMANDADOS .....	51
4.3.1	Determinación de los Gastos Intermedios ( Zonas Poniente y Centro) .....	51
4.4	CONDICIÓN ACTUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	64



## **5 APLICACIÓN DEL MODELO OPERATIVO PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ..... 66**

5.1	ANÁLISIS DE TANQUES .....	66
5.2	ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN .....	70
5.2.1	Análisis Hidráulico de las Estructuras de Derivación .....	70
5.2.2	Análisis Estático de las Líneas Primarias Actualmente en Operación.....	73
5.2.2.1	Alternativa Aeroclub - Churubusco.....	73
5.2.2.2	Alternativa San Joaquín - Churubusco.....	73
5.2.2.3	Alternativa Dolores 1-Churubusco .....	74
5.2.2.4	Alternativa Dolores 2-Churubusco .....	75
5.2.2.5	Alternativa Santa Lucía-Cerro de la Estrella.....	76
5.2.2.6	Alternativa Línea Torres 4-Cerro de la Estrella.....	76
5.2.2.7	Alternativa Línea el Judío-Cerro de la Estrella.....	76
5.2.3	Análisis Dinámico de las Líneas Primarias Actualmente en Operación .....	78
5.2.3.1	Análisis Dinámico de la Línea Aeroclub. Condición Actual .....	79
5.2.3.2	Análisis Dinámico de la Línea Dolores. Condición Actual .....	80
5.2.3.3	Análisis Dinámico de la Línea San Joaquín. Condición Actual .....	87
5.2.3.4	Análisis Dinámico de la Línea Santa Lucía. Condición Actual .....	87
5.2.3.5	Análisis Dinámico de la Línea Torres 4. Condición Actual.....	88
5.2.3.6	Análisis Dinámico de la Línea Aeroclub. Condición Futura.....	88
5.2.3.7	Análisis Dinámico de la Línea Dolores. Condición Futura.....	95
5.2.3.8	Análisis Dinámico de la Línea Santa Lucía. Condición Futura .....	95
5.2.3.9	Análisis Dinámico de la Línea Torres 4. Condición Futura.....	96
5.3	MEJORAS PROPUESTAS .....	96
5.3.1	Selección de Líneas para Conducción .....	96
5.3.2	Líneas Primarias futuras propuestas .....	98
5.3.3	Análisis hidráulico de las líneas primarias de proyecto.....	100
5.3.3.1	Análisis de la línea Primavera-Canal Nacional-Tanque Cerro de la Estrella.....	100
5.3.3.2	Análisis de la línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanque Cerro de la Estrella .....	101
5.3.3.3	Análisis de la línea Primavera-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec .....	101
5.3.3.4	Análisis de la línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec .....	101

## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 109**

# **1. INTRODUCCIÓN**

Las grandes civilizaciones se han situado cerca de las márgenes de los ríos y lagunas, siempre cerca de donde había suficiente agua, para cubrir las necesidades del hombre.

## **1.1. ANTECEDENTES**

Desde su fundación, la Ciudad de México ha concentrado las actividades políticas, económicas y sociales del país; lo que ha generado un incremento paulatino en la demanda de servicios, fundamentalmente el del agua potable.

En el año de 1325 el pueblo Azteca fundó la Gran Tenochtitlán, sobre un llano a 2,240 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), rodeada por lagos y montañas de más de 3,500 metros de altura. En ese entonces el Valle de México poseía una gran riqueza hidráulica y las aguas fluían en abundantes manantiales.

En esta primera etapa, el abastecimiento de agua a la población, se caracterizó por el aprovechamiento de manantiales y el uso de acueductos. Conforme se fue consolidando la ciudad, la población presentó un incremento continuo, por lo que el gasto fue insuficiente y debió ser aumentado en el año de 1495, aprovechando los manantiales de Coyoacán y la construcción del acueducto de Chapultepec.

Después de la conquista de Tenochtitlán, en 1521, las autoridades españolas continuaron con el sistema de los Aztecas para el abastecimiento de agua potable. Ante el desarrollo de la capital de la Nueva España, en 1576 se inició el aprovechamiento de los manantiales de Chapultepec y en 1687 se ampliaron las obras hidráulicas al construirse el nuevo acueducto de Chapultepec.

En la etapa del México independiente el crecimiento de la ciudad fue significativo, aumentando la demanda del servicio de agua potable. Lo anterior marcó el inicio

de la perforación de pozos someros, que complementaron junto con los manantiales el abastecimiento de agua potable, existiendo casi 500 pozos en 1847 y más de 1,000 en 1886. Posteriormente, debido a que se detectaron por primera vez hundimientos en la ciudad, en el año de 1903 se realizaron estudios para aprovechar los manantiales de Xochimilco, que entraron en operación en 1913. Dos años antes se había iniciado la construcción de la nueva red de distribución de agua potable, la cual culminó en 1913. De 1936 a 1944 se tuvieron deficiencias en el abastecimiento de agua potable, debido a una tasa de crecimiento de la población muy alta, estimulada por las corrientes migratorias del interior del país, dada la industrialización y expansión económica.

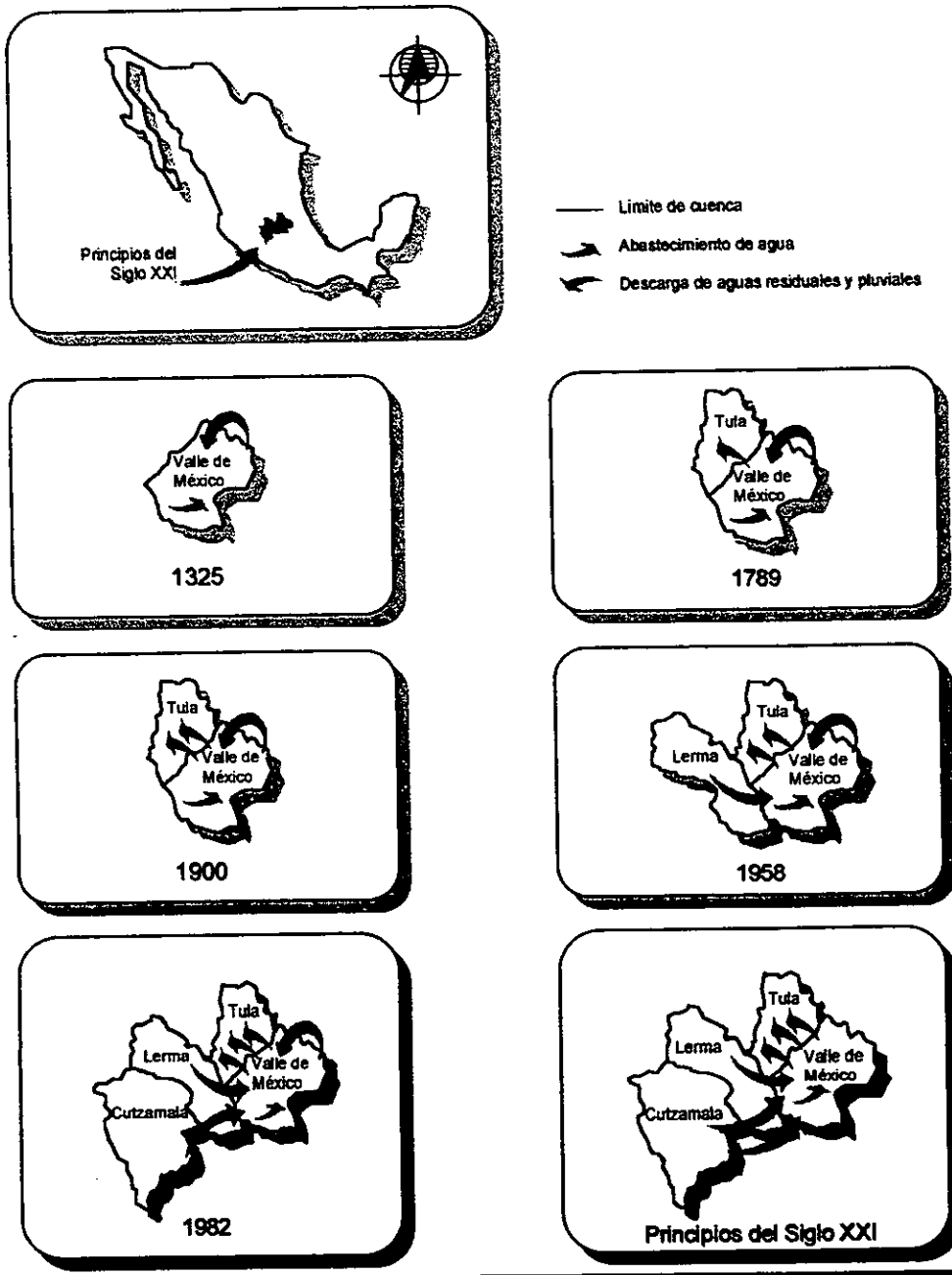
Todos estos factores fueron decisivos para que las autoridades determinaran la perforación de 93 pozos profundos; acción que inevitablemente trajo consecuencias colaterales, como el hundimiento del centro de la ciudad.

La casi nula disponibilidad de agua superficial y la sobreexplotación del acuífero, orillaron a las autoridades a la importación de agua de cuencas vecinas a la del Valle de México y regiones aledañas al Distrito Federal (D.F.). Por lo que, en 1942, se iniciaron las obras para captar el agua de los manantiales localizados dentro de la cuenca del río Lerma en el Valle de Toluca; en 1955 se iniciaron las obras para traer agua de Chiconautla que finalizaron en 1957, y en 1976 comenzó la construcción del Sistema Cutzamala. Esta evolución se presenta en la Figura 1.1.

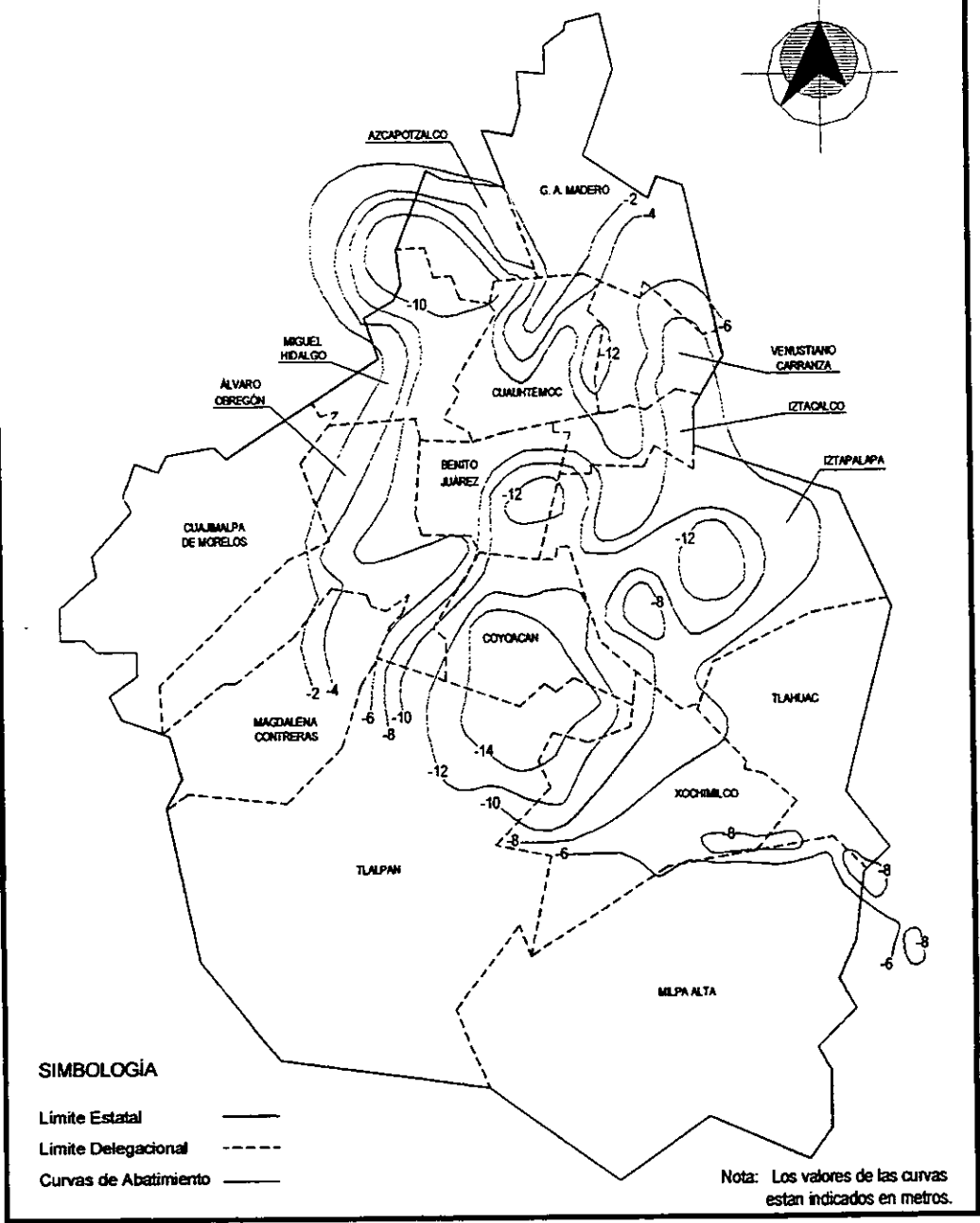
Por otra parte, el incremento en la demanda de agua y las inversiones cada vez mayores para satisfacerla, hicieron atractivo evitar el empleo de agua potable en actividades que no la requieren. Así, en 1956 se inició la operación de la primera planta de tratamiento de aguas residuales como alternativa complementaria a los problemas del abastecimiento de agua.

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) ha tenido un crecimiento de los más altos del mundo en las últimas décadas. Cuando la Ciudad de México ocupaba solamente el territorio del D.F., sus autoridades se encargaron del suministro de agua a su población, pero cuando ésta se extendió hacia el Estado

**Figura.1.1 Evolución del Sistema Hidrológico Asociado al Sistema Hidráulico del D.F.**



**Figura 1.2.**  
**Abatimiento de los Niveles de Agua**  
**Subterránea**  
**(1986-1994)**

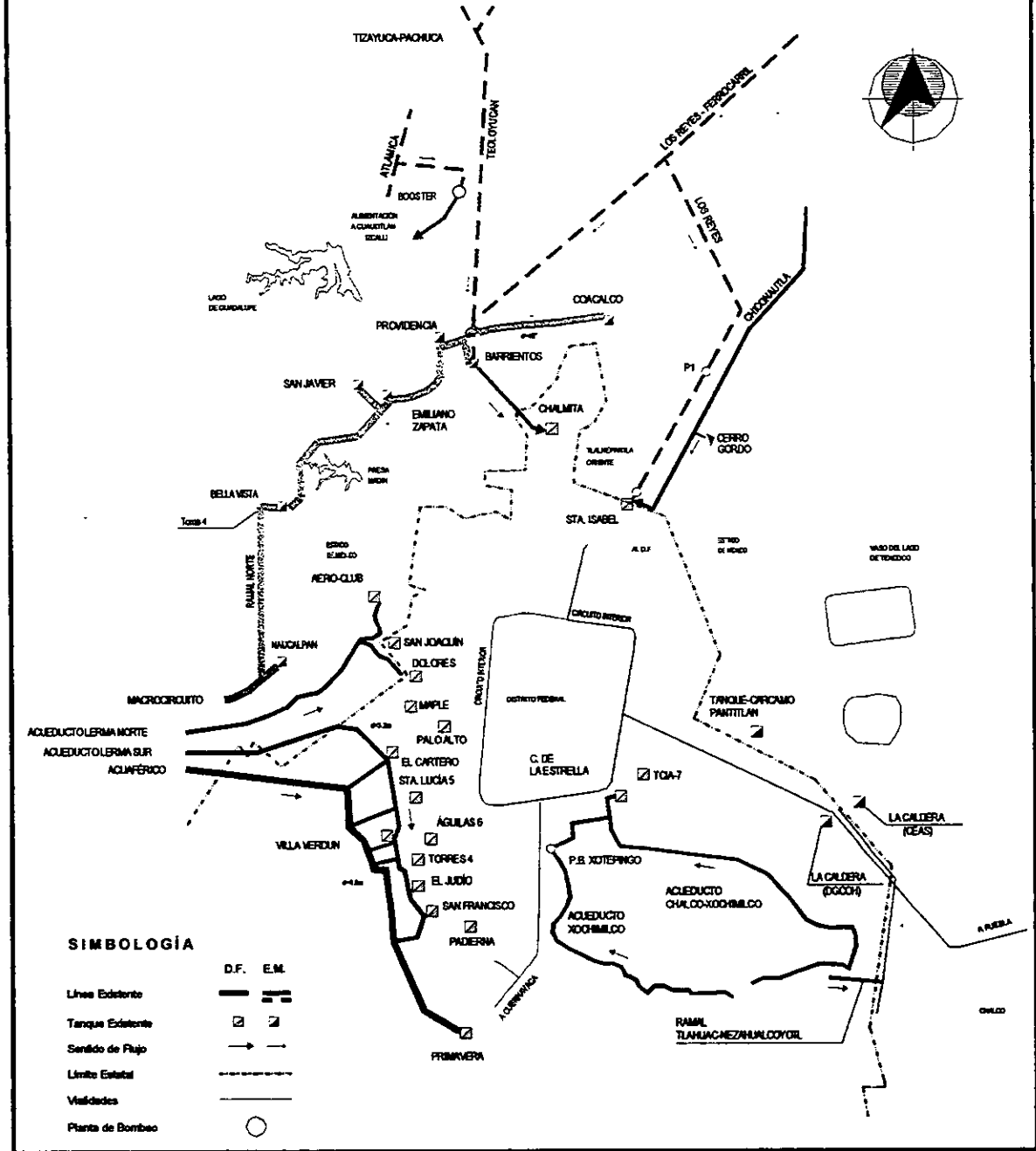


## 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Los organismos responsables de la infraestructura de suministro y distribución de agua potable de la ZMVM son: la DGCOH de la Secretaría General de Obras y Servicios del Gobierno del Distrito Federal, la cual se encarga de operar y mantener los sistemas Lerma y Chiconautla. Por otra parte, existe un organismo de tipo federal que es GRAVAMEX la cual depende de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP), ésta es la responsable de entregar agua en bloque procedente de los Sistemas Aguas del Norte, Aguas del Sur y Cutzamala. La CEAS del Gobierno del Estado de México, se encarga de la operación de la Rama Norte del Sistema Cutzamala (Macrocircuito). En la Figura 2.1 se puede observar el Sistema de Abastecimiento de Agua Potable que actualmente opera en la ZMVM.

Hasta la fecha, para dotar y distribuir el agua a los 8.3 millones de habitantes del D.F., se han realizado una gran cantidad de obras e instalaciones que hacen posible la captación del líquido de fuentes subterráneas por medio de 856 pozos que aportan aproximadamente el 58.2% del caudal total (ubicados dentro y fuera de la Cuenca del Valle de México), mientras que del 41.8% restante el 37.3% es proporcionado por el Sistema Cutzamala y 4.5% por fuentes superficiales del Valle de México.

**Figura 2.1**  
**Sistema de Abastecimiento Actual en la Zona**  
**Metropolitana de la Ciudad de México**



En la Tabla 2.1 se muestra la infraestructura total con que cuenta el Sistema de Agua Potable de la Ciudad de México y Área Metropolitana.

**Tabla 2.1**  
**INFRAESTRUCTURA DE AGUA POTABLE EN OPERACIÓN (1995)**

856	Pozos
514	Kilómetros de líneas de conducción (*)
279	Tanques de almacenamiento y Regulación (a)
227	Plantas de bombeo
659	Kilómetros de red primaria (b)
10,035	Kilómetros de red secundaria (c)
47	Manantiales
16	Plantas potabilizadoras
356	Dispositivos de desinfección
24	Estaciones instrumentadas para la medición en tiempo real de agua en bloque

(a): La capacidad conjunta de los tanques es de 1.70 millones de metros cúbicos.  
 (b): Se considera como red primaria aquella cuyo diámetro varía de 0.50 a 1.83 metros.  
 (c): Se considera como red secundaria aquella cuyo diámetro es menor a 0.50 metros.  
 (\*): Son líneas que conducen el agua potable desde la zona de captación hasta los tanques de almacenamiento y red primaria y su diámetro oscila entre 0.15m y 1.83m.

FUENTE: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

De acuerdo a la operación que se hace del sistema de suministro de agua potable de la Ciudad de México en el D.F. se ha dividido éste en cinco zonas que corresponden a los sistemas operativos Norte, Poniente, Centro, Oriente y Sur. Esta regionalización está basada en las áreas de influencia de los tanques de almacenamiento más importantes del sistema, y en la división política del D.F.

Para conocer los sistemas de regulación y distribución del abastecimiento de agua potable y su funcionamiento, se propuso una nueva zonificación cuyo planteamiento se basó en los sistemas operativos de la DGCOH pero tomando en cuenta los aspectos de su funcionamiento hidráulico. Esta nueva zonificación agrupa las grandes zonas de distribución y las de tanques para tener un mayor control del abastecimiento de toda el Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), evitando así la falta de suministro de agua potable.



La primera zonificación, está formada por fuentes de abastecimiento y entregas de agua en bloque, que corresponde a las fuentes de suministro conectadas directamente a los tanques de regulación, y/o a las áreas servidas a través de tuberías conectadas a las líneas de alimentación a tanques de regulación. La segunda zona está formada por la red de tanques de regulación y las líneas que los unen. De esta subdivisión se definen los sistemas de simulación de la siguiente manera:

- Tanques Zona Norte.
- Tanques Zona Poniente.
- Tanques Zona Sur - Oriente.
- Distribución Zona Norte.
- Distribución Zona Centro.
- Distribución Zona Oriente.

En la Figura 2.2 se muestran los nuevos límites que se proponen en este trabajo para el Plan Maestro de Agua Potable de la Ciudad de México (1995-2010) y los límites manejados por la DGCOH actualmente. En la Tabla 2.2 se presentan las equivalencias entre ambas zonificaciones.

Los nuevos límites de zonificación fueron trazados tratando de hacer que el sistema funcione con mayor eficiencia utilizando el sistema de válvulas que opera en la red de Agua Potable del D.F.

**Figura 2.2**  
**Límites Actuales y Propuestos**

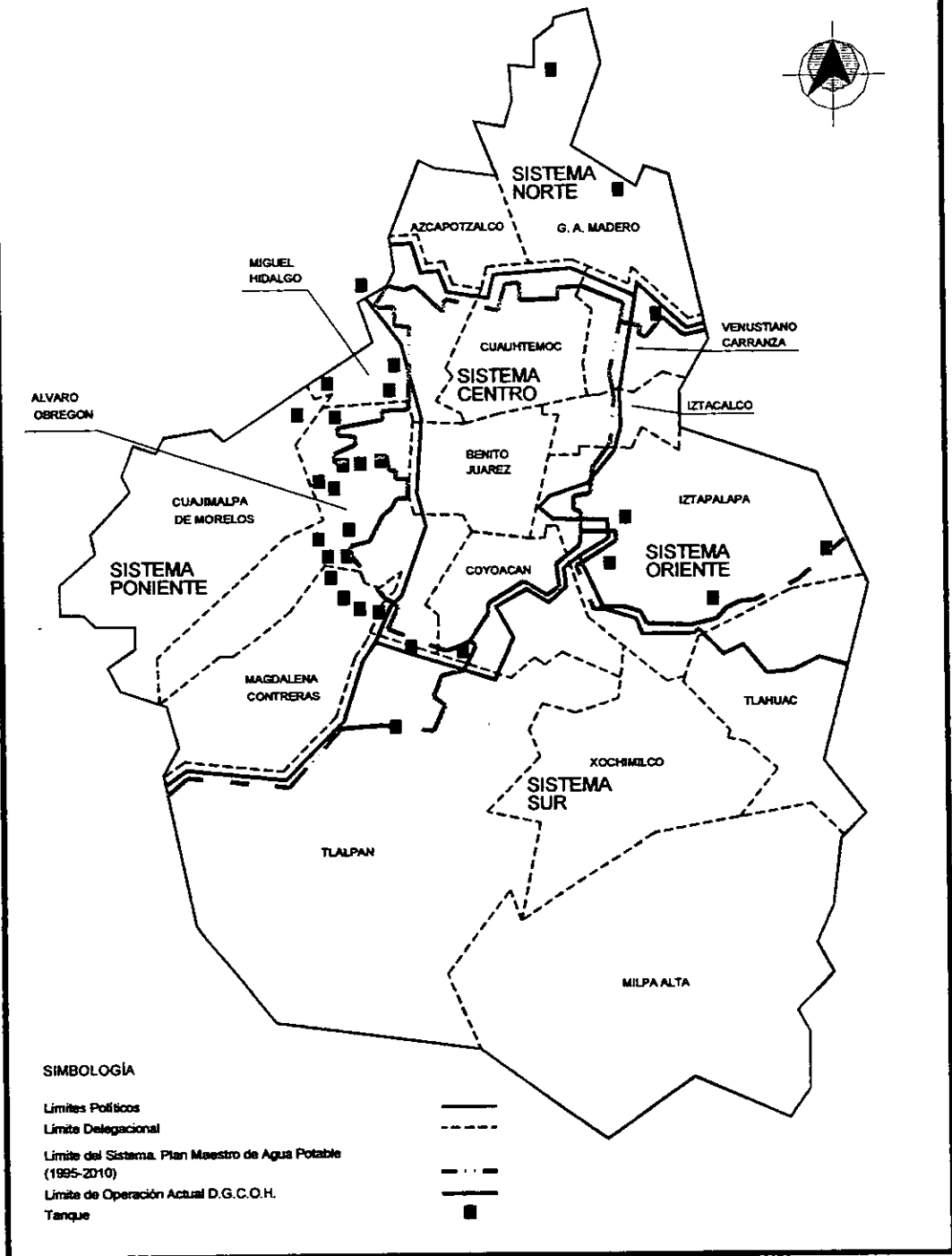


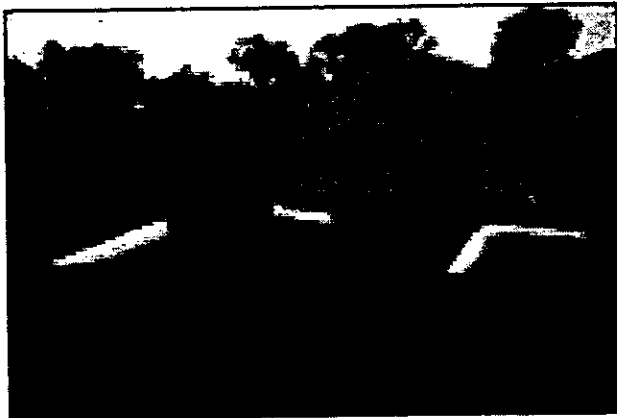
Tabla 2.2

**EQUIVALENCIAS ENTRE LÍMITES DEL PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE (1995-2010) Y LÍMITES DE OPERACIÓN ACTUALES D.G.C.O.H.**

<b>PLAN MAESTRO DE AGUA POTABLE (1995-2010)</b>	<b>LIMITES DE OPERACIÓN ACTUALES</b>
Tanques Zona Norte	Sistema Norte
Tanques Zona Poniente	Sistema Poniente
Tanques Zona Sur - Oriente	Sistemas Sur y Oriente
Distribución Zona Norte	Sistema Norte
Distribución Zona Centro	Sistema Centro
Distribución Zona Oriente	Sistema Oriente

Este trabajo, se enfocará al estudio del Sistema Poniente.

Sistema Lerma

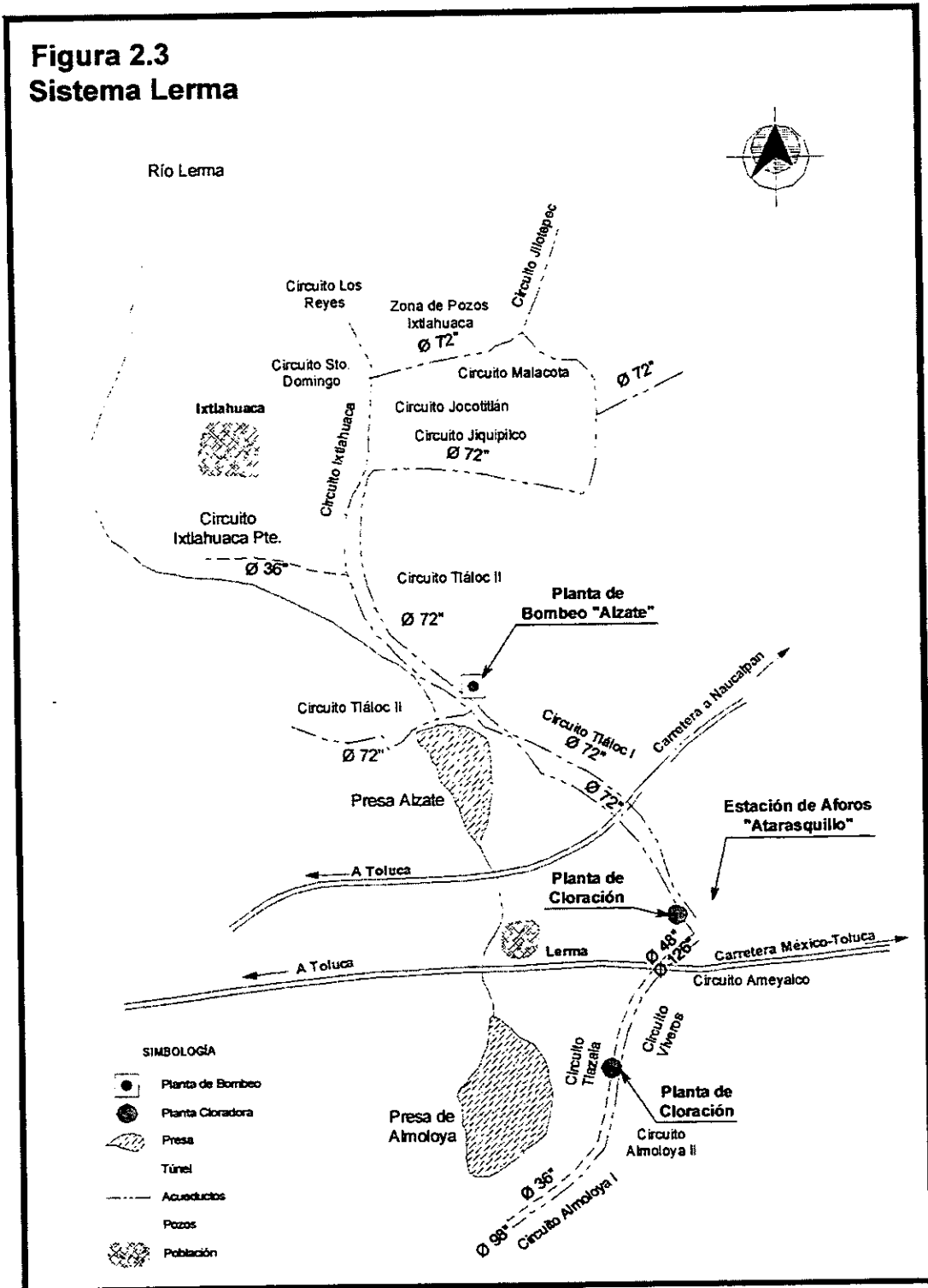


Se proyectó en 1937 recurrir al acuífero del Lerma en el Valle de Toluca, cuya altura permitía que por gravedad se abasteciera a todas las regiones del D.F. Para ello se calculó un caudal inicial de 6 m<sup>3</sup>/s para llegar a un total de 14 m<sup>3</sup>/s, lo suficiente para cubrir una población de

2,800,000 habitantes, con una dotación diaria de 430 l/hab.

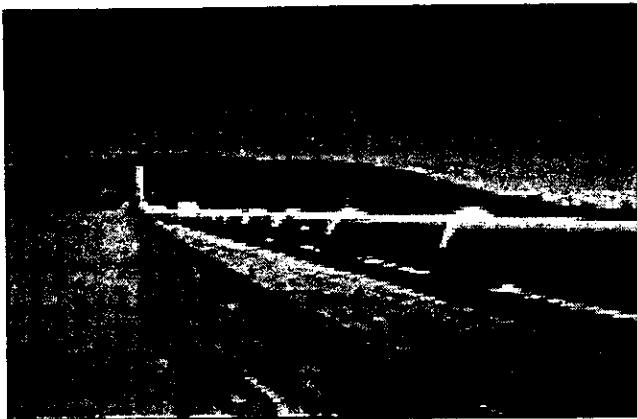
El Sistema Lerma se ubica en el Estado de México, en el Valle de Toluca, al poniente de la Ciudad de México, ocupa aproximadamente un área de 2,236 km<sup>2</sup>. El agua es captada por 267 pozos profundos divididos en 16 ramales que alimentan a cuatro acueductos, que conducen el líquido hasta el inicio del túnel denominado Atarasquillo - Dos Ríos; el cual cruza la Sierra de las Cruces para introducir el agua al Valle de México. En la Figura 2.3 se muestra este sistema.

**Figura 2.3**  
**Sistema Lerma**



El sistema del río Lerma empezó a funcionar en 1951 y consta de 234 pozos ubicados en el Estado de México. De 1974 a 1975 se extrajeron los máximos caudales, alrededor de 14 m<sup>3</sup>/s; pero a partir de 1972 una parte se empezó a derivar a la ZMCM ubicada en el Estado de México, hasta llegar a poco más de 1 m<sup>3</sup>/s, cifra que se ha conservado hasta la fecha. En cambio, por los abatimientos de los niveles freáticos y la consecuente disminución en los volúmenes extraídos, el gasto suministrado al D.F. se ha reducido a 4.9 m<sup>3</sup>/s. En los meses de febrero a mayo, éste caudal se reduce para realizar el riego agrícola de punteo en el Valle de Lerma, que es la zona de extracción. Como parte de los mecanismos de compensación, el DDF se ha hecho cargo de la construcción y operación de los sistemas de abastecimiento de agua de los pueblos de la región, sin costo alguno para el Estado de México.

### Sistema Cutzamala

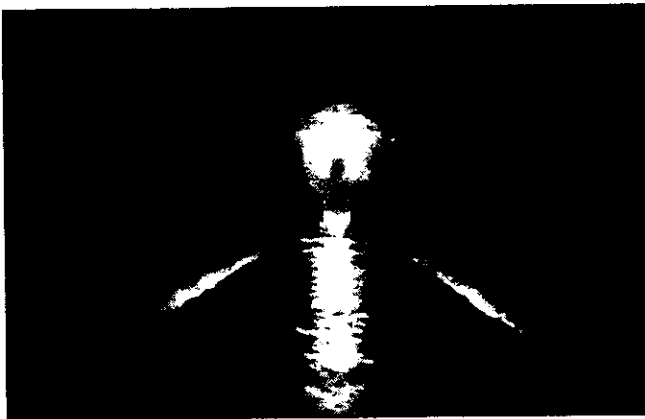


El sistema Cutzamala comenzó a construirse en 1976 y consiste en: aprovechamiento de 7 presas de almacenamiento pertenecientes a la cuenca alta del Río Cutzamala; construcción de un vaso regulador y un acueducto de 127 km, que incluye 19 km de túneles y 7.5 km

de canales; construcción de una planta potabilizadora con capacidad instalada de 24 m<sup>3</sup>/s; 6 plantas de bombeo para vencer un desnivel de 1200 m. También se construyeron 24.5 km de túneles en su primera etapa dentro de la ZMCM que corresponden a los ramales Norte y Sur de 12.5 y 12 km, respectivamente. El ramal norte esta a cargo de la CNA y de la CEAS del Estado de México, el ramal Sur es responsabilidad del Departamento del D.F. y de la Secretaría de Obras y Servicios, a través de la DGCOH.

Como parte del sistema Cutzamala se construyó el túnel Analco - San José, entre los pueblos de San Mateos Atarasquillo y Dos Ríos, ambos situados en el Estado de México, con una longitud de 12 Km. El sistema Cutzamala tiene como captaciones las presas de almacenamiento de Villa Victoria, Valle de Bravo y Colorines. Esta última es alimentada por un sistema de presas interconectadas que comprende a Tuxpan, El Bosque e Ixtapan del Oro. En las figuras 2.4 y 2.5 se presentan la planta y el perfil, respectivamente, de este sistema.

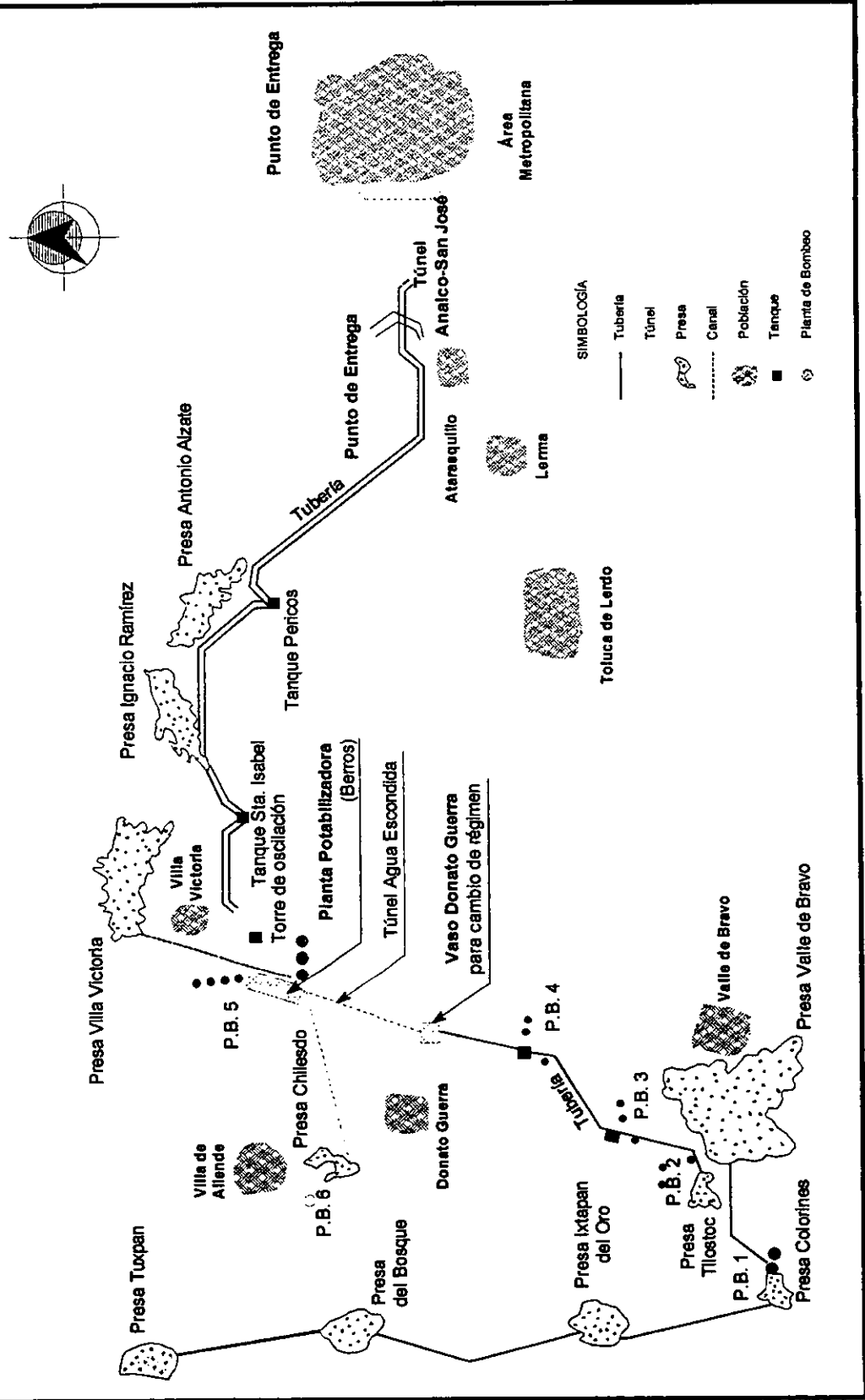
### Acuaférico



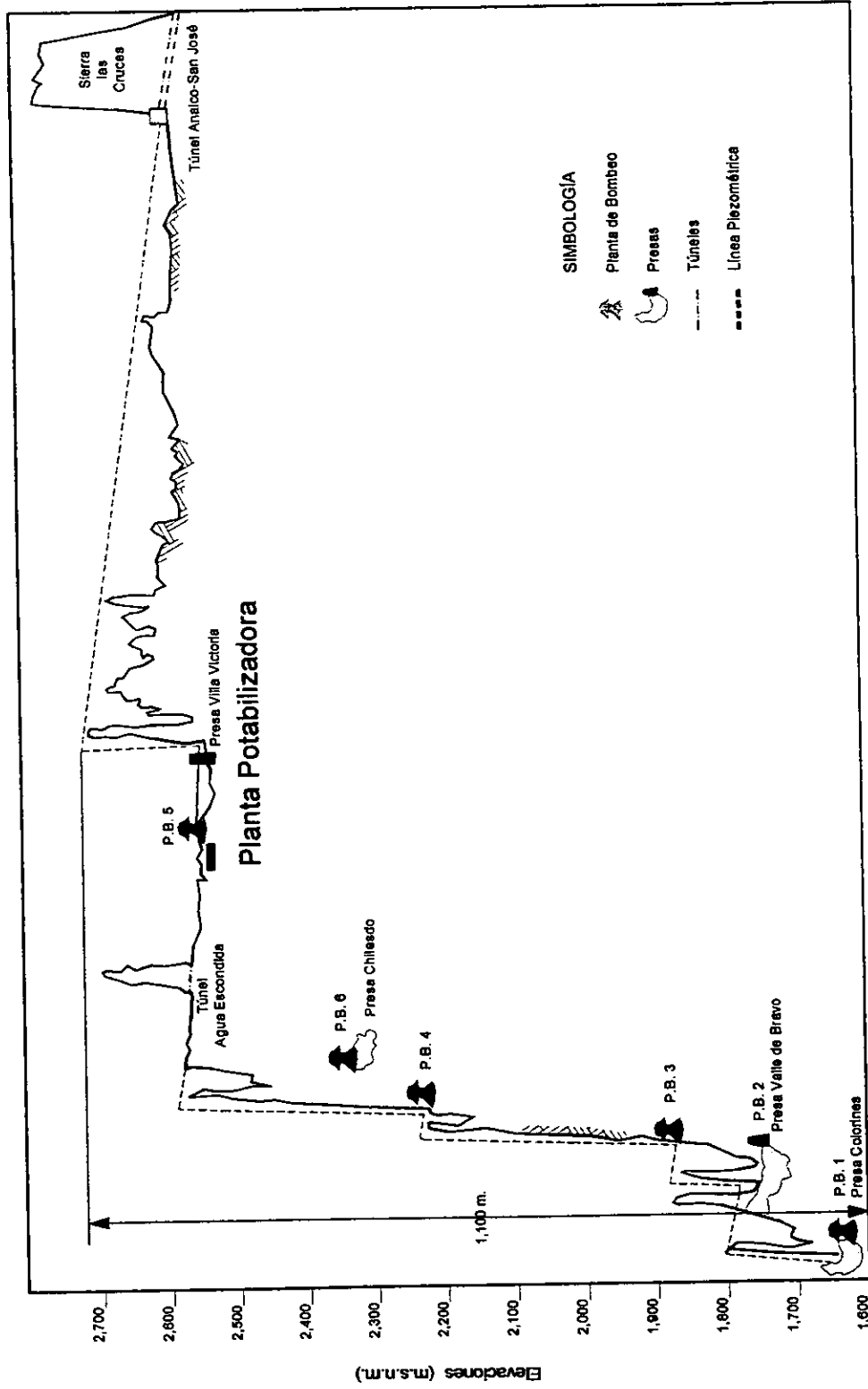
Para lograr una mejor distribución de los caudales, provenientes del sistema Cutzamala que ingresan por el poniente de la ciudad hacia la zona oriente, donde se presenta el mayor déficit y así obtener, a su conclusión, una mejor distribución de agua en la ciudad, en 1983 dio

inicio la construcción del Acueducto Perimetral de la Ciudad de México. El Acuaférico, tiene su inicio en la salida del túnel Analco – San José, funciona por gravedad eliminando en gran medida los costos por concepto de bombeo; además de constituir la opción más favorable para suministrar agua para consumo humano en el D.F., sobre todo a las zonas más alejadas, como es el oriente de la ciudad. El Acueducto Perimetral se caracteriza por ser una obra metropolitana, puesto que dará servicio tanto al D.F., como a una parte del Estado de México.

**Figura 2.4**  
**Croquis del Sistema Cutzamala**



**Figura 2.5**  
**Perfil del Sistema Cutzamala**





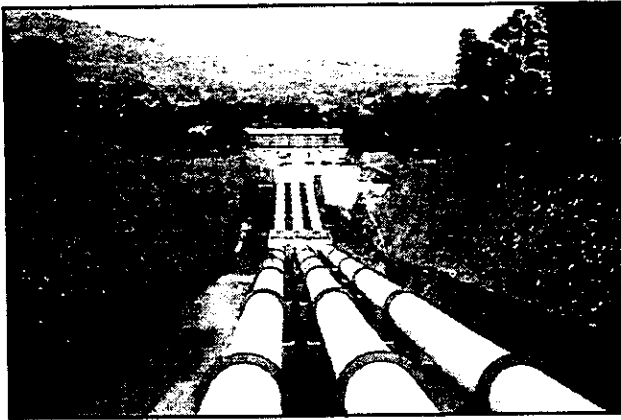
En virtud de la magnitud de la obra del Acueducto Perimetral se optó por dividir su diseño, construcción y operación en cuatro etapas. La primera etapa se conoce con el nombre de Ramal Sur e inicia en el portal de salida del túnel Analco - San José en el Estado de México, entra por el poniente del D.F. en las delegaciones Cuajimalpa y Alvaro Obregón, y concluye en la trifurcación Cerro del Judío en la Delegación Alvaro Obregón. El túnel tiene un diámetro de 4 m, una capacidad de conducción de 25 m<sup>3</sup>/seg y una longitud de 12 km. Su desarrollo es prácticamente paralelo al llamado Ramal Sur del Acueducto Lerma, disponiendo de cuatro líneas de derivación que son el Cartero, Santa Lucía, Villa Verdún y el Judío.

La segunda etapa del Acueducto Perimetral comprende el tramo de la trifurcación el Judío, en la delegación Alvaro Obregón, hasta el portal de salida del Ajusco en Tlalpan. Esta etapa tiene un desarrollo de 10.5 km con un diámetro de 4 m.

La tercera etapa con una longitud de 12 km, inicia en la zona del Ajusco para terminar en la cuarta derivación ubicada en San Francisco Tlalnepantla, delegación Xochimilco, el túnel terminado tendrá un diámetro de 3.20 m.

La cuarta etapa está contemplada para mediano plazo, en un tramo de 16 km iniciará en San Francisco Tlalnepantla hasta el Cerro del Tehutli en la delegación Milpa Alta. Con esta etapa se proporcionará el servicio a algunos municipios conurbados del Estado de México, partiendo de la derivación del Tehutli con nuevos acueductos, que deberán ser construidos con tuberías.

## Macrocircuito



El Macrocircuito constituye el planteamiento principal sobre el que se basa el abastecimiento de un amplio sector de la población que se asienta en los municipios conurbados del Estado de México, este sector representa un porcentaje importante en la población estatal y por lo tanto

sus requerimientos de servicios son elevados, incluyendo los demandados por la industria asentada en la zona. La distribución del caudal es a través de los tanques del sistema y algunas derivaciones.

Por otra parte, cuando se ponga en operación todas las etapas del sistema se puede estar en posibilidad de cancelar o disminuir la extracción de agua potable en pozos profundos y casi todos los rebombes de la zona en estudio.

Cuando funcione todo el sistema se tiene proyectado abastecer a los 18 municipios considerados conurbados del Estado de México, en la actualidad son 8 municipios los que se benefician con el caudal proveniente del Sistema Cutzamala: Huixquilucan, Atizapán de Zaragoza, Naucalpan, Nicolás Romero, Tlalnepantla Poniente, Cuautitlán Izcalli, Coacalco y Tultitlán, sin embargo para los fines del estudio, Huixquilucan no se consideró debido a que se abastece de la Toma La Mina, ubicada aguas arriba de la Toma 4, inicio del Macrocircuito, razón por la cual el gasto derivado al municipio no influye en el funcionamiento del sistema.

Con la infraestructura existente se han beneficiado alrededor 1,300,164 habitantes que representan el 23.6% de la población de la zona abastecida actualmente, y de acuerdo a la Dirección de Estudios y Proyectos de la CEAS, la población total estimada de estos municipios para el año 2010 incluyendo a los 9 municipios restantes será de 12,371,947 habitantes de los cuales el 23% se espera sean

abastecidos a través del Macrocircuito, lo que da idea de la magnitud e importancia de esta obra.

Actualmente el Macrocircuito de Distribución está formado por un conducto de 1.22 m (48") de diámetro que corresponde a la Línea 1, el material de la misma es de concreto presforzado utilizándose acero en los cruces especiales y cuenta con casi 41 km de longitud. En su trazo interconecta a los tanques Bellavista, Emiliano Zapata, La Providencia, Barrientos (N.Z.T) y Coacalco, hasta éste último se encuentra construida y operando la línea.

El Macrocircuito es un proyecto planteado basado en líneas para llevar agua del Sistema Cutzamala, desde la Toma 4 hasta el Tanque La Caldera de CEAS. Se tiene construida la Línea 1, desde la Toma 4 hasta el Tanque Coacalco; la Línea 1 está proyectada con un diámetro de 1.22 m (48"), interconectando a partir del tanque Coacalco al Tanque Cerro Gordo, actualmente en construcción y finalmente La Caldera, con longitudes de 13.82 y 30.29 km. respectivamente.

La segunda de estas líneas consiste en una tubería de diámetro de 1.52 m (60") también desde la Toma 4 y hasta el Tanque La Providencia, con una longitud de 5.19 km. en una primera etapa.

La prolongación de la Línea 2 se hará hasta el Tanque La Caldera, en una longitud de 73.721 km. y diámetro de 60" intercomunicando los tanques existentes Emiliano Zapata, La Providencia, Barrientos y Coacalco. El desnivel final entre la Toma 4 y el Tanque La Caldera es de 226 m.

## **2.1 TANQUES DE REGULARIZACIÓN**

La Zona Poniente corresponde a la de mayor capacidad instalada con 103 almacenamientos. Destacan por su capacidad los tanques Aero-Club, Dolores, El Maple, El Cartero, Palo Alto, Zaragoza, Santa Lucia (1 al 5), Villa Verdún, Águilas

6, Torres 4, Mimosa, El Lienzo, El Judío, San Francisco, Padierna, Zacatepetl, Cuicuilco y Primavera.

La capacidad instalada de los almacenamientos principales es de 901,700 m<sup>3</sup>, que corresponden al 53.04% del total del volumen que se regulariza en la red de tanques de la ciudad.

La zona de tanques Poniente cuenta entre su infraestructura hidráulica con 24 plantas de bombeo, con una capacidad conjunta de 1.71 m<sup>3</sup>/s, misma que sirve para elevar el agua hacia las partes altas. La capacidad de las plantas de rebombeo de la Zona Poniente de tanques sólo representa el 7.63% del total del sistema.

En cuanto a niveles de operación sólo se contó con la información de los tanques Aero-Club y Dolores, en ambos casos el nivel mínimo corresponde al 75% de la capacidad total.

Los tanques se alimentan principalmente de los sistemas Lerma y Cutzamala, los cuales distribuyen agua al Norte de la ciudad a través del Ramal Norte del Sistema Lerma, de 12.5 km. de longitud, y al sur por medio del Ramal Sur del Sistema Lerma de 11.5 km., y del Acuaférico.

Los tanques de la Zona Poniente abastecen de agua principalmente a la zona Centro de distribución, y en menor medida hacia la zona Norte a través del tanque Aero-Club.

En la Tabla 2.3 se presentan las características más significativas de los principales tanques de la zona.

La mayor parte de los tanques de regulación son superficiales, de concreto armado y mampostería, y de forma rectangular. Durante los últimos tres años las condiciones de estos tanques se mejoraron parcialmente al sellar las uniones de losas y construir cercas de protección; pero aún hace falta darles mantenimiento y

limpieza en forma periódica e instalar sistemas adecuados de medición para conocer con certeza la regulación que efectúa cada tanque.

## **2.2 LÍNEAS DE INTERCOMUNICACIÓN**

El Acuaférico se extiende, en su tramo actual, desde la salida del túnel Atarasquillo-Dos Ríos hasta el tanque Primavera, dentro de la zona ecológica de la delegación Tlalpan, en la colonia La Primavera. El Acuaférico tiene actualmente una longitud aproximada de 13 km con diámetro 4 m, y en su trazo hacia el tanque Primavera cruza con sifones las barrancas El Borracho, Santa Lucía y Plateros. Este sistema deriva a las líneas El Cartero, Santa Lucía, El Judío, actualmente no opera la Trifurcación Plateros por lo que el gasto derivado a la línea Las Águilas es nulo. Se tiene proyectado prolongar el Acueducto Perimetral hasta el tanque La Caldera operado por la DGCOH. La ampliación del acueducto contempla dos tipos de funcionamiento, a superficie libre, desde el tanque Primavera hasta el pueblo de Santa Ana Tlacotenco en la delegación Milpa Alta, con una longitud de 12.5 km y diámetro de 4 m, y a presión desde Tlacotenco hasta el tanque La Caldera, con una longitud aproximada de 22.38 km, con diámetros variables de 2.13 y 1.83 m.

El Ramal Sur del Sistema Lerma, en su trazo hacia la Trifurcación El Judío cruza con sifones las barrancas El Borracho, El Cartero y Santa Lucía. De la salida El Venado en su recorrido empieza a derivar para alimentar a las siguientes líneas: El Cartero, Santa Lucía, Las Águilas, Torres y finalmente El Judío.

Tabla 2.3

## CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS TANQUES DE LA ZONA PONIENTE

SISTEMA	TANQUE	CAPACIDAD		COTA (msnm)	GASTO (lps)	ENTRADA		SALIDA	
		Tanques	Sistema			#	d (")	#	d (")
AERO-CLUB	AERO CLUB 1	75,000	175,000	2,288	750	1	42	1	48
	AERO-CLUB 2	50,000		2,288	400	1	48	1	48
	AERO-CLUB 3	50,000		2,288	600	1	48	1	48
ÁGUILAS 6	ÁGUILAS 6	5,000	5,000	2,513	350	1	20	1 2	12 20
CUICUILCO	CUICUILCO	20,000	20,000	2,285	—	1	36	1	36
DOLORES	DOLORES 1	50,000	200,000	2,285	1,200	1	60	1	48
	DOLORES 2	50,000		2,285	1,200	1	60	1	48
	DOLORES 3	50,000		2,285	1,200	1	60	1	48
	DOLORES 4	50,000		2,285	1,200	1	60	1	48
EL CARTERO	EL CARTERO	20,000	20,000	2,550	2,100	1	98	1	48
EL JUDÍO	EL JUDÍO	27,000	27,000	2,532	640	1	48	1 2	12 48
EL LIENZO	EL LIENZO	18,700	18,700	2,405	300	1	48	1 2	20 48
EL MAPLE	EL MAPLE	19,000	19,000	2,465	230	1	36	1 2	12 36
MIMOSA	MIMOSA	18,700	18,700	2,465	—	1	48	1	48
PADIERNA	PADIERNA	27,000	27,000	2,425	300	1	48	1	36
PALO ALTO	PALO ALTO	27,800	27,800	2,459	variable	1	48	1	48
PRIMAVERA	PRIMAVERA	50,000	50,000	2,548		1	48	1	48
SAN FRANCISCO	SAN FRANCISCO	19,000	19,000	2,485	—	1	12	1 2	20 48
SANTA LUCÍA	SANTA LUCÍA 1	17,000	117,900	2,301	1,200	1	48	1 2	20 48
	SANTA LUCÍA 2	43,400		2,360	1,100	1	48	1 2	20 48
	SANTA LUCÍA 3	30,000		2,438	1,300	1	48	1 2	20 48
	SANTA LUCÍA 4	20,000		2,486	1,320	1	48	1 2	20 48
	SANTA LUCÍA 5	7,500		2,514	1,600	1	48	1 2	20 48
TORRES 4	TORRES 4	36,600	36,600	2,528	—	1	48	1	48
VILLA VERDUN	VILLA VERDUN	50,000	50,000	2,541	—	1	12	1	6
ZACATEPÉTL	ZACATEPÉTL	5,000	5,000	2,325	—	1	36	1	36
ZARAGOZA	ZARAGOZA	65,000	65,000	2,410	variable	1	48	1	48

FUENTE: Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

### **2.3 REDES DE DISTRIBUCIÓN**

De los 35.44 m<sup>3</sup>/s que se suministran al D.F., el 63% proviene de sistemas que opera la DGCOH y el 37% restante es proporcionado por la GRAVAMEX como agua en bloque. Este último organismo, dependiente de la CNA, fue creado en 1972 con el objeto de suministrar el agua requerida para satisfacer los incrementos en la demanda de la ZMCM. La GRAVAMEX opera cinco sistemas de pozos ubicados en el sur del D.F. y en las zonas aledañas situadas en el Norte de la ZMCM, y se encarga de entregar agua tanto al Estado de México como al D.F.

Por su parte, la DGCOH tiene a su cargo los sistemas de pozos de Xochimilco-Mixquic-Xotepingo, Lerma y Chiconautla, además de los pozos municipales que se encuentran diseminados en toda la ciudad; igualmente, se encarga de controlar todos los pozos particulares.

Las dos únicas captaciones de agua superficial que se encuentran a cargo de la DGCOH, son las correspondientes al Río Magdalena, del que se extraen 210 l/s, y un pequeño conjunto de manantiales que aporta 863 l/s.

El agua proveniente de los pozos municipales y del Río Magdalena es introducida directamente a la red de distribución, lo mismo que el agua de los 27 pozos particulares; el resto del agua que proviene de los demás pozos particulares, es captada directamente por sus usuarios. Las líneas de conducción y de alimentación están formadas por diversos tipos de conductos, desde los túneles del sistema Lerma de 3.20 m de diámetro, hasta tuberías de 0.51 m a 1.83 m de diámetro.

En cuanto a las líneas que conducen agua a los tanques y a las P.B. durante los últimos años se han detectado en diversos tramos problemas estructurales, condiciones sanitarias inadecuadas e invasiones de los derechos de vía.

Antes de ingresar a las redes de distribución, el agua se sujeta a diversos procesos para asegurar que su calidad sea potable.

La red primaria de distribución se define convencionalmente como la formada por tubería de 0.51 m a 1.83 m de diámetro tiene una longitud total de 514 km., incluyendo los conductos de alimentación que la ligan con los tanques de regulación.

La red secundaria formada por 10,035 km. de tubería con diámetro de 10 a 40 cm distribuye el agua que circula por la red primaria. Su operación y mantenimiento está a cargo de las delegaciones, con el apoyo de la DGCOH. Además de que es necesario ampliarla continuamente, se requiere sustituir muchos tramos por causa de su antigüedad y de las frecuentes fugas y fallas que en consecuencia se presentan, lo cual provoca la suspensión y propicia el desperdicio del agua aumentando con esto los riesgos de contaminación.



### **3 MODELOS DE SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE CONDUCCIONES**

La idea inicial en esta tesis, fue utilizar únicamente un modelo pero al hacer la implementación del modelo de simulación del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se obtuvieron resultados erróneos por lo que, posteriormente, se hizo una revisión del funcionamiento hidráulico de los conductos del sistema, detectándose que varios de ellos tienen un funcionamiento a superficie libre, diferente a las ecuaciones resueltas por el modelo matemático que resuelve el flujo a presión.

El escurrimiento a superficie libre se caracteriza por la presencia de una superficie líquida en contacto con la atmósfera. La fuerza dominante en el movimiento, es en general, debida a la gravedad.

Una de las clasificaciones del flujo a superficie libre, en cuanto a su comportamiento en el tiempo se refiere, si el flujo es Permanente o No Permanente. El flujo es permanente si el tirante permanece constante en cualquier instante o en un lapso especificado; es no permanente si las características del flujo varían en el tiempo.

Por otra parte, cuando en un conducto cerrado el flujo que circula por él no está en contacto con la presión atmosférica, se dice que es un flujo a presión.

#### **3.1 FLUJO A SUPERFICIE LIBRE**

La necesidad de contar con políticas de operación de un sistema tan complejo como el del D.F., favoreció el desarrollo de un modelo de simulación más elaborado que los métodos tradicionales de diseño o revisión de sistemas. Tal es el caso del modelo dinámico de simulación TUAVE, el cual resuelve las ecuaciones de conservación de masa y de cantidad de movimiento para flujos

transitorios a superficie libre, con lo cual se logra simular los efectos que no se toman en cuenta en el análisis a flujo permanente.

El programa TUAVE simula el tránsito de avenidas por sistemas de colectores circulares y tuvo su origen en un programa de computadora para simular el tránsito de avenidas en cauces naturales con áreas de inundación.

El TUAVE se emplea para el diseño y revisión de conductos para drenaje, los cuales funcionan a superficie libre pero cuando es insuficiente su capacidad trabajan a presión. El programa permite el manejo de los dos funcionamientos en conductos cerrados, sin embargo no maneja la curva de demanda.

### 3.1.1 Ecuaciones Básicas

El procedimiento de cálculo empleado para el funcionamiento hidráulico de colectores, consiste en la integración simultánea por diferencias finitas, de las Ecuaciones de Conservación de Masa que conduce a la Ecuación de Continuidad y la de Conservación del Momento o de Cantidad de Movimiento, que conduce a su vez a la Ecuación Dinámica.

En un canal de ancho unitario y de tirante "y", las ecuaciones de continuidad y dinámica pueden expresarse respectivamente de la siguiente manera:

$$v \frac{\delta y}{\delta x} - y \frac{\delta v}{\delta x} - q + \frac{\delta y}{\delta t} = 0$$

$$\frac{\delta v}{\delta t} + v \frac{\delta v}{\delta x} + \frac{g \delta (cy^2)}{y \delta x} + q \frac{\delta v}{\delta y} + g(s_f - s) = 0$$

donde:

v	velocidad en la dirección (x) del flujo
y	tirante en la dirección considerada
g	aceleración de la gravedad
s <sub>f</sub>	pendiente de fricción
s	pendiente del canal
c	celeridad que es igual a (gy)
q	gasto unitario

Las expresiones anteriores forman un sistema de ecuaciones diferenciales de tipo hiperbólico para el que no existe una solución general con la que pueda llegarse a soluciones de problemas particulares, aún cuando se conozcan las condiciones iniciales y las condiciones de frontera del problema; por lo que es necesario utilizar un método numérico de integración que considere hipótesis simplificadoras para linealizar las ecuaciones de segundo grado.

Debido a que los alcances de esta tesis se limitan a la aplicación del modelo matemático no se realiza la explicación detallada de los métodos numéricos empleados, propios de otro enfoque más especializado, por lo que se describe con más detalle el uso práctico del modelo.

### ***3.1.2 Recomendaciones Prácticas para el Uso del Programa***

Con base en un gran número de simulaciones realizadas a través del tiempo, se han encontrado recomendaciones prácticas que sirven para el mejor funcionamiento del modelo.

Se debe definir claramente el área de estudio y los alcances esperados, teniendo en cuenta la cantidad y la calidad de los datos disponibles del proyecto, ya que la confiabilidad de los resultados dependerá directamente de esto. En general, conviene simular inicialmente un esquema simplificado y posteriormente incrementar la información en la medida que sea necesario y posible.

Una vez dimensionado el problema, se trazará un esquema de la red, indicando los diámetros y cambios de sección, incluyendo además las cotas de la plantilla del tubo y del terreno. Con esto se procederá a generar los datos geométricos de la red. Para ello, es necesario considerar las siguientes recomendaciones:

- La red quedará separada en dos subsistemas, el primero de ellos denominado de ríos pares y el segundo de ríos impares. Se debe cuidar que dos o más ríos de un mismo subsistema (por ejemplo par) no puede ser afluente de otro subsistema de la misma categoría (par en este caso).

- Cada río debe ser numerado en forma creciente, de tal manera que al primer río del segundo subsistema le corresponde siempre un número mayor de orden que al último río del primer subsistema
  
- Cada río debe ser subdividido en tramos lo más largos posibles; ya que mientras menor longitud de los tramos menor es el intervalo de cálculo que se debe manejar en el modelo. Para la subdivisión de cada río en tramos debe cuidarse lo siguiente:
  - a) El número de tramos en cada río deberá ser al menos de dos.
  - b) Cada vez que exista un cambio de diámetro, se cambiará de tramo.
  - c) La longitud del tramo más largo no debe exceder en más de seis veces al de menor longitud.
  - d) Conviene contar con información topográfica al inicio y al final de cada tramo. Sin embargo, como esto no siempre es posible, se recomienda tomar como punto de inicio de cada tramo, el punto donde se tenga la información requerida.
  - e) Es recomendable cambiar de tramo cada vez que exista un cambio importante de pendiente.
  - f) Se procurará que la frontera aguas abajo del sistema no sea un tirante crítico. De no ser posible esto, se incluirá un tramo ficticio de pendiente alta y se simulará una frontera de tirante constante igual al diámetro del tramo adicionado.
  - g) En lo posible, se tratará de que un tramo no tenga más de una confluencia, evitándose que lleguen más de dos.
  - h) El número de los tramos antecesor y sucesor, se designan de acuerdo con el sentido del flujo; los tramos iniciales en el extremo aguas arribas de un río tienen antecesor cero y los tramos extremos aguas abajo tienen sucesor cero.
  - i) Los tramos que tengan entradas o salidas de otros subsistemas, no podrán ser tramos con condición de frontera de hidrograma.
  - j) La conexión de un tramo que confluye en otro río se hace en el centro del tramo al que llega.

Para el tratamiento de las condiciones de frontera se definen dos tipos genéricos según se trate de los extremos aguas arriba o aguas abajo de un río.

- La frontera aguas arriba de un río siempre es un hidrograma pudiéndose definir un hidrograma con gasto constante, pudiendo ser cero, en caso necesario.
- La frontera aguas abajo se puede definir de acuerdo con los tres tipos siguientes:
  - a) De gasto constante. Se utiliza cuando el río descarga un gasto conocido.
  - b) De tirante constante. Se utiliza cuando el río descarga en un cuerpo de agua con un tirante constante y conocido. En general, este tipo de frontera se utiliza en todos los ríos que descargan en un río del otro subsistema.
  - c) Con una planta de bombeo. En este caso, se considera que la descarga es libre hasta que el agua en el cárcamo de la planta alcanza un nivel mayor que la descarga del río. Para este caso, se proporcionará al programa la relación elevaciones – volúmenes - gastos de descarga hacia el cárcamo de bombeo.

Aún cuando en teoría se pueden calcular en forma exacta condiciones iniciales de un problema determinado, con un gasto base conocido; se recomienda calcular las condiciones iniciales en forma aproximada y dar al esquema un determinado tiempo de calentamiento, de tal forma que el propio programa fije las condiciones iniciales de tirantes y velocidades que correspondan a dicho gasto base.

Es necesario contar con la curva elevaciones - capacidades de las áreas de inundación si se quiere tomar en cuenta este aspecto de cálculo del programa.

Los gastos laterales, si existen, se definen como hidrogramas, indicándose el número del tramo donde se simulará el gasto lateral.

### **3.2 FLUJO A PRESIÓN**

La implementación del modelo de simulación, se llevó a cabo con la revisión del Instituto de Ingeniería. El planteamiento inicial fue el analizar tres modelos de simulación formados anteriormente, los cuales fueron: un modelo norteamericano seleccionado por la DGCOH, el Sistema de Cómputo para Análisis y Diseño de Redes de Agua Potable (SCADRED) del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el último modelo formulado por el Instituto de Ingeniería.

El primer modelo fue analizado por el Instituto en unión de la Unidad Departamental de Planes Maestros de la DGCOH, ya que esta oficina contaba anteriormente con el programa. Por su parte, el Instituto de Ingeniería efectuó aplicaciones preliminares de su modelo.

En este trabajo se ha utilizado el modelo de simulación implementado por el Instituto de Ingeniería, principalmente por las siguientes razones:

- a) Los modelos de simulación consideran la extracción de los gastos demandados en los nudos, independientemente de la carga disponible en el mismo, lo cual en la realidad no sucede así, ya que cuando la carga disponible es pequeña (menor de 10 m) el suministro se reduce por falta de presión del agua en su entrega. Esta situación se tomó en cuenta relevantemente en el modelo del Instituto, ya que es uno de los principales problemas que aquejan a la Ciudad de México.
- b) El tamaño y problemática de la red de distribución de agua potable de la Ciudad de México, requiere de la hechura de un modelo para ella y no el uso de uno ya implementado.

El análisis del funcionamiento hidráulico de los tanques y la red primaria de distribución se realizó con apoyo de los modelos matemáticos de simulación ESTADEF y REDINA. El primero resuelve la red estática y el segundo la dinámica.

El método en ellos planteado, es aplicable a redes de agua potable donde los gastos de demanda son variables en el tiempo. Se considera que la red es

abastecida por tanques de almacenamiento y bombas, y que el gasto suministrado a los usuarios es tomado de almacenamientos que son alimentados por la red. El método es aplicable a redes cerradas y abiertas.

El modelo dinámico, programa REDINA, se basa en la solución de las ecuaciones de continuidad, en las uniones de tuberías (nudos) y de conservación de cantidad de movimiento, en cada una de sus tuberías.

Para los nudos y tubos asociados a tanques, tinacos, válvulas y bombas se proponen ecuaciones que tratan de incluir los elementos necesarios para simular su funcionamiento hidráulico.

### 3.2.1 Entrada de Datos

Los datos se proporcionan a los programas a través de un archivo de caracteres ASCII, con la siguiente estructura y en formato libre.

N° REGLÓN	DATOS	COMENTARIOS
Primer Reglón	Comentario para identificar la simulación, (máximo 80 caracteres).	
Segundo Reglón	Número de tubos de la red	
Tercer Reglón en Adelante	Número de tubo, nudo inicial, nudo final, longitud (m), diámetro (pulgadas), coeficiente de rugosidad de los tubos (f).	Se darán tantos renglones de este tipo como tubos tenga la red.
Siguiente Reglón	Número de tanques.	
Siguientes Reglones	Número de tanque, elevación del fondo del tanque (m), área del tanque (m <sup>2</sup> ), altura del tanque (m), relación de llenado, gasto de entrada (m <sup>3</sup> /s).	La relación de llenado es igual al volumen inicial de agua en el tanque entre la capacidad del tanque. Se darán tantos renglones de este tipo como tanques tenga la red.
Siguiente Reglón	Indicador para grabar los datos del armado de la red. "SI" o "NO".	
Siguientes Reglones	Nudo, cota del terreno (m).	
Siguiente Reglón	Número de gastos de demanda.	
Siguientes Reglones	Nudo, gasto de demanda (m <sup>3</sup> /s).	Se darán tantos renglones de este tipo como nudos de demanda.

N° REGLÓN	DATOS	COMENTARIOS
Siguiete Reglón	Número de bombas.	Si el número de bombas es distinto de cero, los siguientes renglones deben incluir: número de bomba, carga de la bomba, $b_0$ , $b_1$ , $b_2$ . $b_0$ , $b_1$ , $b_2$ . Son coeficientes obtenidos a partir de la curva característica de la bomba. Se darán tantos renglones de este tipo como bombas tenga la red.
Siguietes Reglones	Número de gastos constantes de ingreso.	Si el número de gastos constantes de ingreso es distinto de cero, los renglones siguientes deben incluir: número de nudo con gasto constante de ingreso, gasto constante de ingreso ( $m^3/s$ ).
Siguiete Reglón	Factor que afecta el gasto medio.	
Siguiete Reglón	Indicador para grabar resultados de la simulación.	Cuando interesa grabar el indicador es "SI", de otro modo es "NO".
Siguiete Reglón	Indicador para realizar simulación Estática tradicional o que considere déficit.	"T", para tradicional y cualquier otra letra para considerar déficit.

El archivo generado con esta estructura puede ser utilizado para simular la red de manera estática con el programa ESTADEF o dinámica con el programa REDINA.

### 3.2.2 Salida de Resultados

En cuanto a los resultados asociados a nudos se tienen los niveles piezométricos, las cargas sobre el terreno, los gastos suministrados y demandados y el déficit de gasto en cada nudo.

Con respecto a los resultados asociados a tubos se tienen los gastos y sentidos del flujo, las velocidades del agua en el conducto y la pérdida de carga en el mismo.



### **3.3 MODELO PROPUESTO**

Para poder tomar en cuenta el tipo de escurrimiento en el sistema de tanques e interconexiones de la Zona Poniente, ya sea a presión o a superficie libre, se implementó un modelo matemático formado con el modelo dinámico del Instituto de Ingeniería para conductos a presión, REDINA, y el modelo TUAVE descritos anteriormente.

De la revisión de los conductos en esta zona, se propuso la aplicación del TUAVE en los ramales Norte y Sur del Lerma y en el Acuaférico; mientras que en el resto de los conductos se implementó el programa REDINA, formulado exprofeso para este análisis. Estos conductos proporcionan el agua en bloque al sistema de abastecimiento de agua potable del D.F.

Al aplicar el REDINA se presentaron problemas en su funcionamiento debido a que la mayoría del sistema del Macrocircuito funciona con las tuberías como canales, lo que complica la modelación numérica. La operación que se realiza en la actualidad corresponde a un funcionamiento combinado de tramos con funcionamiento a superficie libre y otros a presión; aún cuando el diseño del acueducto (a gato máximo) fue realizado para trabajar a presión en toda su longitud, correspondiendo a una operación sin válvulas, por lo que el agua "escurre" en las tuberías hasta que entra en carga, obligada por el nivel del agua en los tanques de entrega. El funcionamiento como canal se presenta en todos los casos a la salida de los tanques.

De acuerdo al proyecto original de funcionamiento con el que se concibieron tanto el Macrocircuito como las demás líneas de interconexión entre tanques, los conductos deben trabajar como tubo lleno utilizando la carga disponible en cada tramo, ésta carga esta dada por el desnivel existente entre dos sitios en los cuales el caudal transportado inicia y finaliza descargando a superficie libre. El gasto máximo que se puede transportar está en función de la carga disponible ya que es un sistema que trabaja a gravedad.

Existen condiciones en las cuales el conducto trabaja parcialmente lleno, es decir como canal, fundamentalmente a la salida de los tanques o cajas rompedoras, éste funcionamiento no es eficiente y debe de tratar de evitarse con un manejo de válvulas adecuado. Algunos de los inconvenientes que se presentan son:

- Motiva que la carga disponible se vea disminuida por lo tanto el gasto a transportar también;
- Al verse disminuido el gradiente hidráulico del tramo, en las derivaciones ubicadas en este mismo tramo disminuye también, llegando además a no poder transportar el caudal derivado hasta el sitio determinado por falta de carga, inclusive se puede dar el fenómeno de que se invierta el sentido del flujo es decir que de un sitio por abastecer salga agua hacia el sistema, situación que no se debe presentar;
- Cuando el conducto trabaja como canal, la presión exterior a la que se ve sometida tiende a ser mayor a la existente dentro del tubo y puede motivar que penetre agua del exterior y llegue a contaminar la que transporta el sistema.

De acuerdo a lo anterior se pueden diferenciar dos tipos de funcionamiento, el libre, es decir sin manejar válvulas y cuyos inconvenientes se mencionaron anteriormente y el funcionamiento con manejo de válvulas, éste último es el que debe de tratar de ser utilizado ya que es el que obliga a elevar la línea piezométrica y a través de la válvula instalada a la llegada se controla el gasto suministrado y se elimina la carga sobrante del tramo en estudio.

Por lo anterior se desarrolló un programa basado en las ecuaciones de continuidad y de la energía especialmente para el Macrocircuito, este programa denominado MACRO toma en cuenta el funcionamiento como canal de las tuberías.

Este programa está sustentado en las ecuaciones básicas de la hidráulica:

La ecuación de continuidad:

$$Q = v * A$$

y la ecuación de la energía:

$$E_2 = Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + hf$$

Ambas ecuaciones relacionan el gasto o cantidad de flujo que pasa a través de un conducto de área transversal conocida en un tiempo determinado y la cantidad de energía que pierde el flujo por efecto de la fricción contra las paredes del conducto.

Basándose en la ecuación de Manning,

$$v = \frac{1}{n} * (Rh)^{2/3} * (S_0)^{1/2}$$

tenemos que:

$$S_0 = \left( \frac{hf}{L} \right)$$

entonces:

$$hf = \left[ \frac{v * n}{Rh^{2/3}} \right]^2 * L$$

y de la ecuación de continuidad:

$$v = \frac{Q}{A}$$

por lo tanto se cuenta con los elementos necesarios para aplicar la ecuación de Conservación de la Energía.

Para determinar el punto a partir del cual el conducto deja de funcionar como canal, se tiene que cumplir:

$$Q = Q'$$

donde: *Q es el gasto que pasa por el conducto*

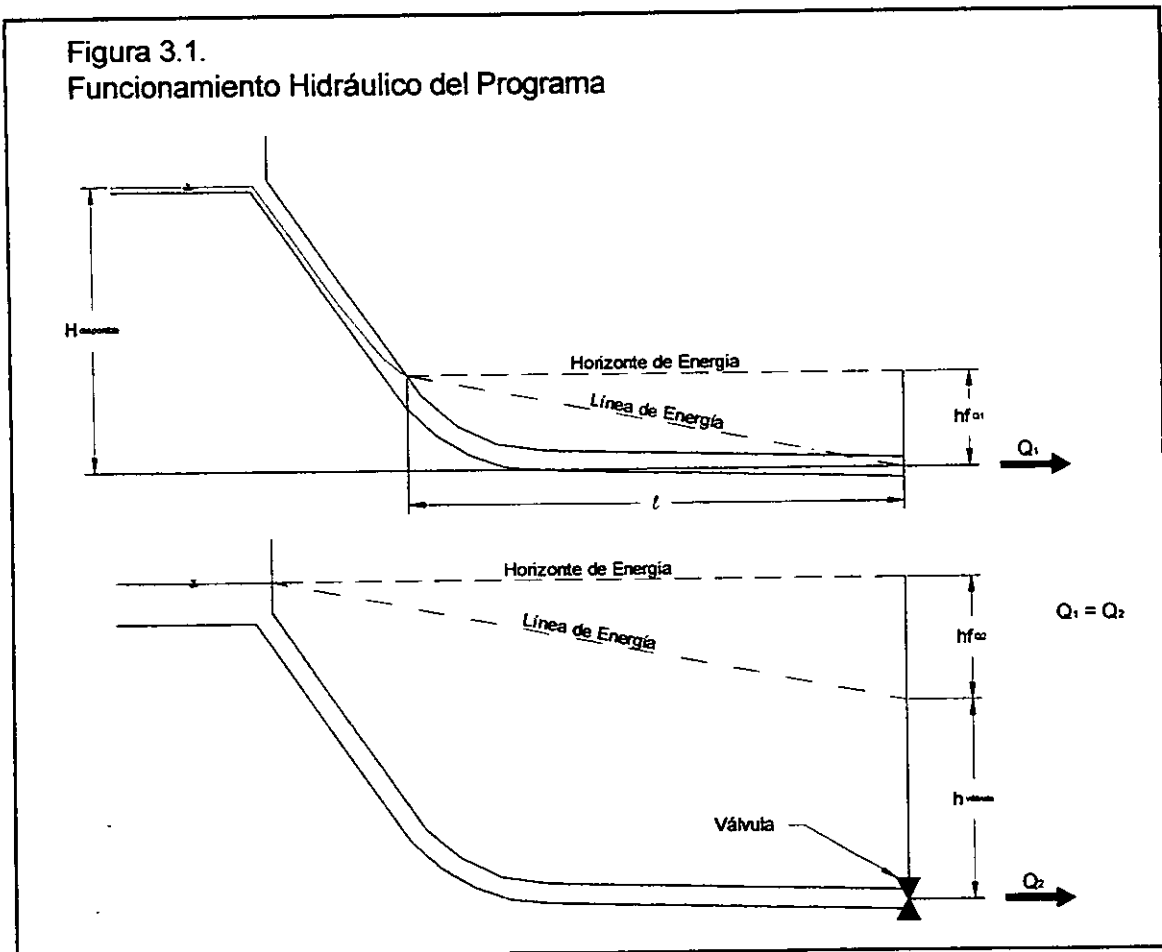
por lo que el gasto en función de la carga  $hf_{Q1}$

$$Q' = \frac{A}{n} * (Rh)^{2/3} * \left( \frac{hf_{Q1}}{l} \right)^{1/2}$$

a medida que va incrementando la carga  $hf_{Q1}$ , el gasto va de igual manera aumentando hasta que se igualan el gasto teórico  $Q'$  con el gasto conducido  $Q$ .

Figura 3.1.

Figura 3.1.  
Funcionamiento Hidráulico del Programa



Además puede calcular el funcionamiento de los tanques del sistema, para la condición actual y para la futura, calculando la variación del gasto suministrado y del demandado. El programa despliega los resultados en forma tabular y a través de gráficas de manera dinámica

En cuanto a los resultados asociados a los nudos se tienen los niveles piezométricos, las cargas sobre el terreno, los gastos suministrados y demandados.

Con respecto a los resultados asociados a los tubos se tienen los gastos y sentidos del flujo, las velocidades del agua en el conducto y la pérdida de carga en el mismo.

## **4 IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO**

Para poder efectuar una propuesta consistente de posibles tuberías a utilizar como líneas primarias, es necesario considerar los gastos que se pretenden transportar a través de tales líneas primarias, una vez definidas y establecida la geometría o trazo de las mismas se procederá a efectuar la simulación. Las etapas de operación de las líneas consideradas que se analizaron son las correspondientes a la condición actual (año 1998) y la condición futura (año 2010), que es el mismo estipulado en el Plan Maestro de Agua Potable.

### **4.1 ARMADO**

Conforme a los requerimientos del estudio se hace necesaria una descripción más detallada de los sistemas de conducción de Agua en Bloque, debido a la relevancia que adquiere el conocer las características de los sistemas involucrados, como son su funcionamiento y operación actual, sus características geométricas y deficiencias que presenten. Los sistemas que distribuyen el Agua en Bloque al D.F. son Lerma Norte, Lerma Sur y Cutzamala Sur, los que a continuación se describen.

El Sistema Lerma a la salida del Túnel Atarasquillo-Dos Ríos se bifurca en el sitio denominado del Venado, aquí inicia la rama Norte con 20.675 km de longitud y diámetro de 2.20 m, que conduce el agua hasta la Cámara de Distribución Dolores, de igual manera inicia la rama Sur con 12.854 km de longitud y diámetro de 3.20 m, que conduce agua hasta la Trifurcación El Judío.

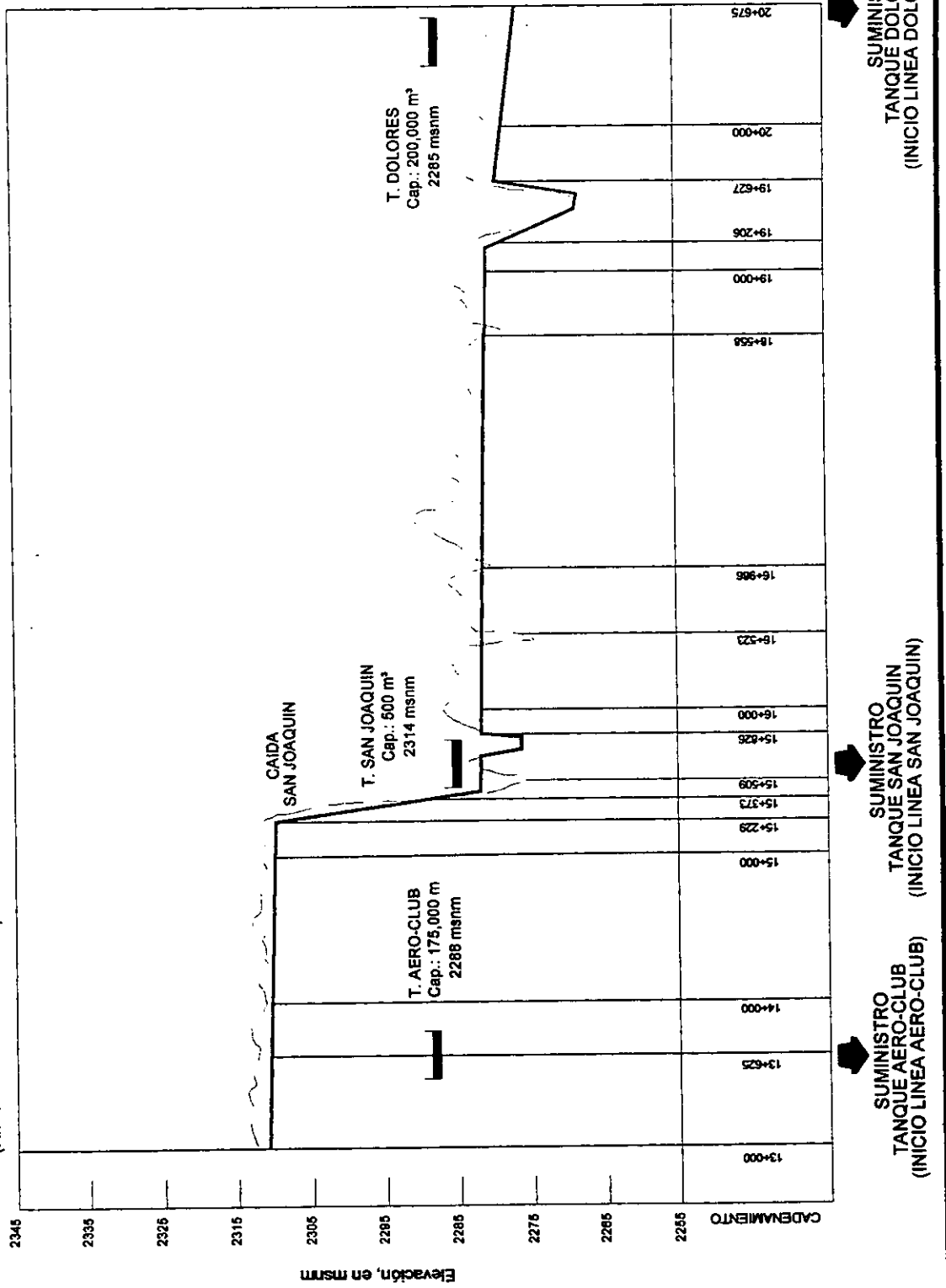
El Ramal Norte del Lerma, en su trazo hacia la Cámara de Distribución Dolores libra una serie de accidentes topográficos por medio de sifones y caídas, destacando por sus características geométricas el sifón San Joaquín y las caídas

San Bartolito, El Borracho, Las Palmas y San Joaquín. La forma de distribución es la siguiente: inicia distribuyendo al municipio de Huixquilucan, posteriormente a los municipios de Naucalpan, Atizapán y Tlalnepantla, distribuye al Huizachal, a los tanques Aeroclub, deriva a Polanco y recibe aportación de la Línea El Cartero-Palo Alto-Zaragoza para finalmente llegar a los Tanques Dolores. En la Figura 4.1 se muestra el perfil del sistema.

El Ramal Sur del Lerma, en su trazo hacia la Trifurcación El Judío cruza con sifones las barrancas El Borracho, El Cartero y Santa Lucía. De la salida El Venado en su recorrido empieza a derivar para alimentar a las siguientes líneas: El Cartero, Santa Lucía, Las Águilas, Torres y finalmente El Judío. En la Figura 4.2 se muestra el perfil del sistema.

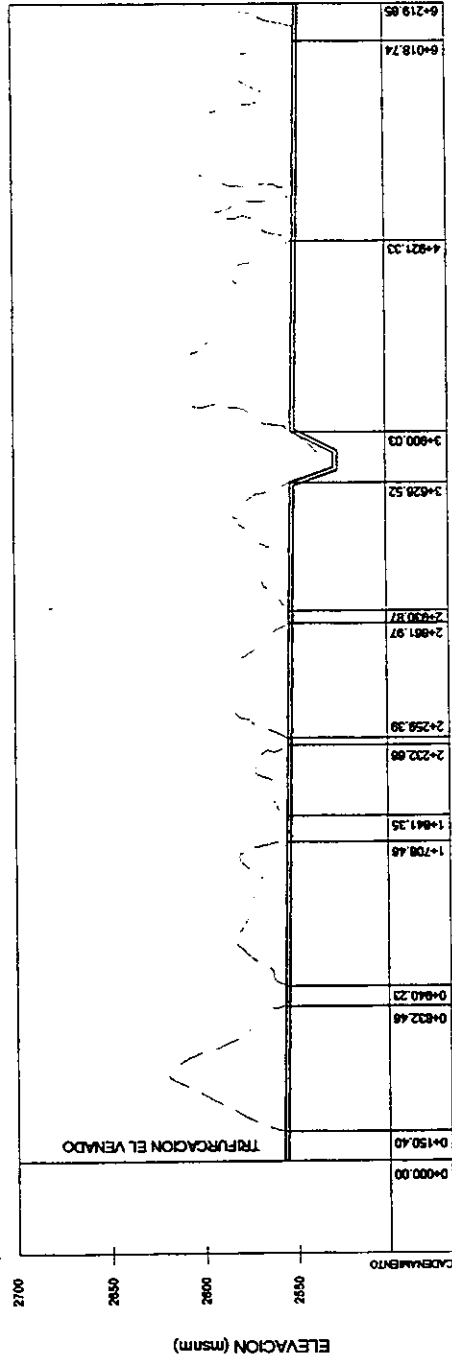
El Ramal Sur del Sistema Cutzamala o Acueducto Perimetral se extiende, en su tramo actual, desde la salida del túnel Atarasquillo-Dos Ríos hasta el tanque Primavera, dentro de la zona ecológica de la delegación Tlalpan, en la colonia La Primavera. El Acueducto Perimetral tiene actualmente una longitud aproximada de 13 km con diámetro 4 m, y en su trazo hacia el tanque Primavera cruza con sifones las barrancas El Borracho, Santa Lucía y Plateros. Este sistema deriva a las líneas El Cartero, Santa Lucía, El Judío, actualmente no opera la Trifurcación Plateros por lo que el gasto derivado a la línea Las Águilas es nulo. Se tiene proyectado prolongar el Acueducto Perimetral hasta el tanque La Caldera operado por la DGCOH. La ampliación del acueducto contempla dos tipos de funcionamiento, a superficie libre, desde el tanque Primavera hasta el pueblo de Santa Ana Tlacotenco en la delegación Milpa Alta, con una longitud de 12.5 km y diámetro de 4 m, y a presión desde Tlacotenco hasta el tanque La Caldera, con una longitud aproximada de 22.38 km, con diámetros variables de 2.13 y 1.83 m. En la Figura 4.3 se muestra el perfil del sistema.

**Figura 4.1.**  
**Líneas Abastecidas por el Ramal Lerma Norte**  
 (Km del 13+000 al 20+675)

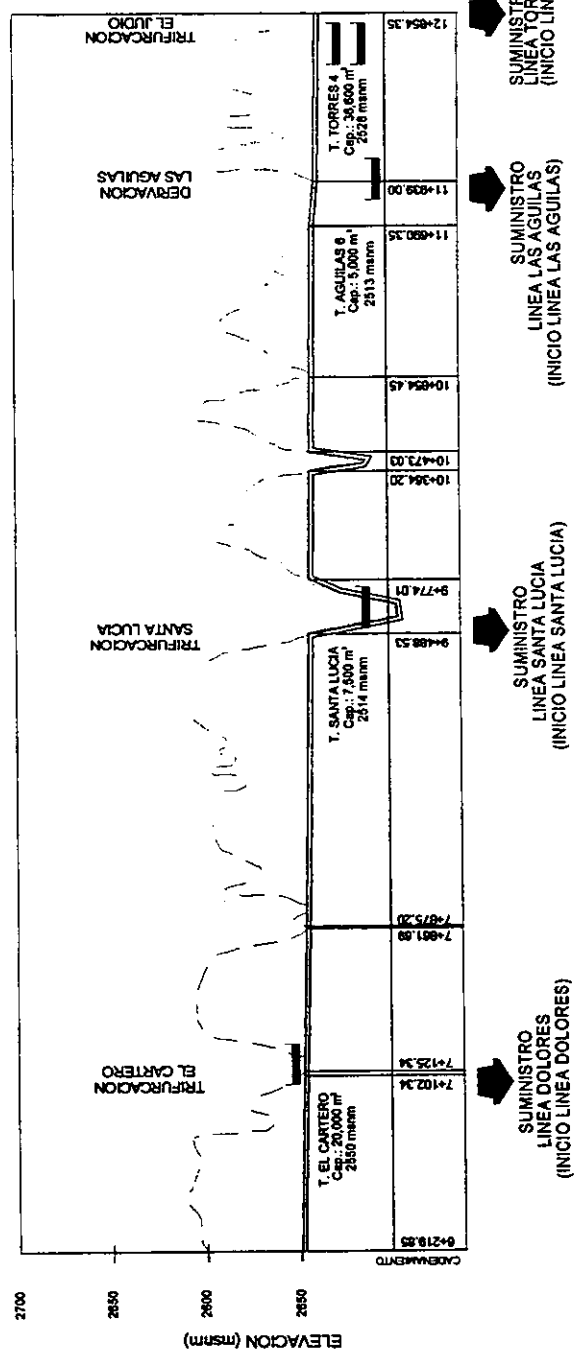


**Figura 4.2.**  
**Líneas Abastecidas por el Ramal Lerma Sur**

(Km del 0+000 al 6+219.85)

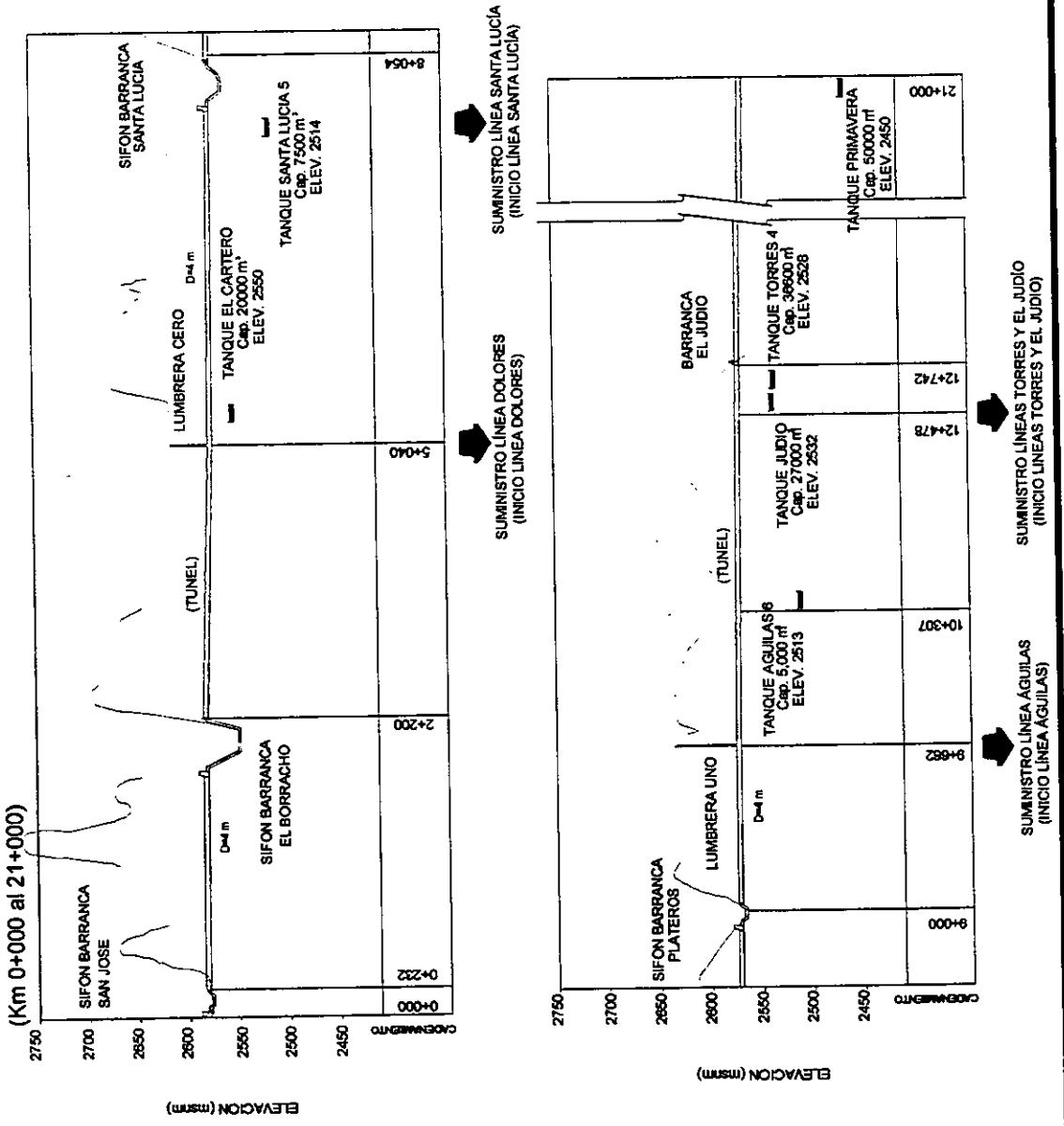


(Km DEL 6+219.85 AL 12+854.35)





**Figura 4.3.**  
**Líneas Abastecidas por el Acueducto Perimetral**  
 (Km 0+000 al 21+000)



#### ***4.1.1 Líneas de distribución del Poniente del Distrito Federal.***

Posterior a la distribución efectuada por los tres anteriores sistemas, se tienen las estructuras de derivación de caudal y las líneas que son alimentadas por las estructuras, las líneas abastecen inicialmente a la Zona Poniente y posteriormente el caudal suministrado se conduce hacia la red de distribución de la zona plana del D.F., a continuación se describen las líneas a las cuales derivan los sistemas mencionados. La derivación de caudales se lleva a cabo en las estructuras llamadas trifurcaciones, de las Figuras 4.4 a 4.6 se muestra la geometría tipo de las estructuras del sistema Cutzamala Sur.

##### **4.1.1.1 Línea Aero-Club.**

El área de influencia de ésta línea en la Zona Poniente limita al sur con la barranca Tecamachalco y al norte con la Zona Norte de los sistemas de distribución propuestos por la DGCOH. Con la zona Norte comparte los tanques Aero-Club 1, 2 y 3 que suman una capacidad de almacenamiento de 175,000 m<sup>3</sup>. La tubería cuenta con un diámetro de 1.22 m.

##### **4.1.1.2 Línea Dolores**

La zona que regula ésta línea limita al sur con el río Becerra extendiéndose hacia el norte hasta cruzar la zona de las Lomas de Chapultepec ubicada en la delegación Miguel Hidalgo y limitada por la barranca Tecamachalco al oeste; los tanques que integran la línea son: El Cartero, Palo Alto, Zaragoza, El Zapote y Dolores, el diámetro de la línea es de 1.22 m, en conjunto los tanques de la línea cuentan con una capacidad de 314,100 m<sup>3</sup>.

##### **4.1.1.3 Línea Santa Lucía.**

El área abastecida por ésta línea esta limitada al sur por la barranca Atzoyapan y el río Mixcoac y al norte con el cauce del río Becerra. Los tanques que se localizan a lo largo de la línea son Santa Lucía 5, 4, 3, 2 y 1, la capacidad de regulación de estos tanques es de 117,900 m<sup>3</sup> y el diámetro de la línea es de 1.22 m.

Figura 4.4.  
Planta Tipo de las Trifurcaciones del  
Sistema Cutzamala

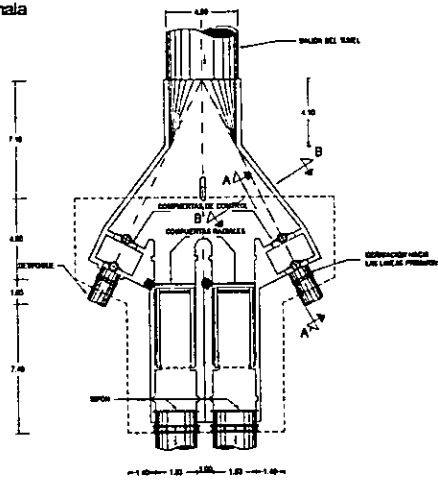


Figura 4.5.  
Vista Lateral del Control hacia las Derivaciones  
del Sistema Cutzamala Sur  
(Corte A-A)

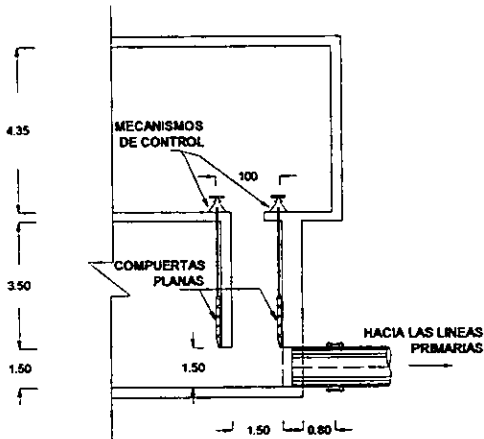
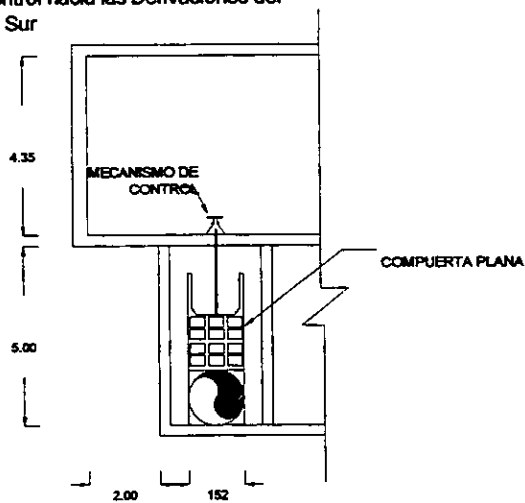


Figura 4.6.  
Vista Frontal del Control hacia las Derivaciones del  
Sistema Cutzamala Sur  
(Corte B-B')



#### **4.1.1.4 Línea Águilas.**

El área de influencia de ésta línea está ubicada entre las barrancas de Atzoyapan y el cauce del río Mixcoac al norte y al sur con la Calzada Desierto de los Leones y el cauce del arroyo Puente Colorado que desemboca a la Presa Tarango. El diámetro de la línea es de 0.50 m y los tanques que integran ésta línea son: Villa Verdún y los 6 Águilas que en conjunto tienen una capacidad de 55,000 m<sup>3</sup>.

#### **4.1.1.5 Línea Torres 4.**

Ésta línea se ubica en la zona comprendida entre el arroyo Puente Colorado y la Calzada Desierto de los Leones al norte, la barranca La Malinche al sur y la barranca El Moral al este; a lo largo del trazo de esta línea se ubican los tanques Torres 4, Mimosa, El Lienzo y CAO, que suman una capacidad de almacenamiento de 75,570 m<sup>3</sup>, siendo el diámetro de la línea de 1.22 m.

#### **4.1.1.6 Línea El Judío.**

La zona de influencia de ésta línea se encuentra limitada al norte por la barranca La Malinche y al sur con el límite de la zona Sur de los sistemas de distribución propuestos, definida por el cauce del río Magdalena. Los tanques de la zona son: El Judío, San Francisco, Padierna, Picacho, Zacatepetl y Cuicuilco, los cuales tienen una capacidad conjunta de almacenamiento de 101,000 m<sup>3</sup>, la línea cuenta con diámetros de 1.22 m y 0.91 m.

## **4.2 CAUDALES SUMINISTRADOS AL SISTEMA**

En la Tabla 4.1 se muestran todos los gastos suministrados en el Distrito Federal para el año de 1997 y los que se esperan suministrar para el año 2010, en dicha tabla se tienen los gastos correspondientes a la zona oriente, donde se observa que a futuro, al igual que el resto de las zonas, se tendrá una disminución del agua

proveniente de pozos la que tendrá que ser sustituida por agua en bloque, haciéndose imperioso que ésta agua llegue de alguna manera a la zona oriente.

**Tabla 4.1**  
**Caudales Suministrados al Distrito Federal (l/s)**

		1997	2010
<b>DGCOH</b>			
REGIÓN NORTE	Chiconautla	1,598	1,218
	Pozos a la red	840	640
	<b>TOTAL</b>	<b>2,438</b>	<b>1,858</b>
REGIÓN CENTRO	Pozos a la red	1,922	1,465
	<b>TOTAL</b>	<b>1,922</b>	<b>1,465</b>
	Pozos a la red	7,343	5,596
	Auxiliares de Xotepingo	547	417
REGIÓN SUR	P.A. de la GRAVAMEX	176	134
	Tulyehualco	975	743
	<b>TOTAL</b>	<b>9,041</b>	<b>6,890</b>
	Pozos a la red	1,360	1,036
REGIÓN ORIENTE	Pta. Sta. Cruz Meyehualco	39	30
	Ampliación Tláhuac	451	344
	<b>TOTAL</b>	<b>1,850</b>	<b>1,410</b>
REGIÓN PONIENTE	Pozos a la red	213	162
	Planta Potabilizadora Magdalena	183	183
	<b>TOTAL</b>	<b>396</b>	<b>345</b>
MANANTIALES Y POZOS PARTICULARES	Manantiales	809	809
	Pozos particulares	485	370
	<b>TOTAL</b>	<b>1,294</b>	<b>1,179</b>
<b>SUMA</b>		<b>16,941</b>	<b>13,147</b>
<b>GRAVAMEX</b>			
AGUAS DEL NORTE	Chalmita	2,457	2,284
	<b>TOTAL</b>	<b>2,457</b>	<b>2,284</b>
AGUAS DEL SUR	La Caldera	555	516
	<b>TOTAL</b>	<b>555</b>	<b>516</b>
<b>SUMA</b>		<b>3,012</b>	<b>2,800</b>
<b>FUENTES EXTERNAS DEL VALLE</b>			
LERMA	Venado	4,889	4,800
	<b>TOTAL</b>	<b>4,889</b>	<b>4,800</b>
CUTZAMALA	Cruz de la Misión	5,516	-
	Dos Ríos-R. Sur	4,427	-
	<b>TOTAL</b>	<b>9,943</b>	<b>12,000</b>
<b>SUMA</b>		<b>14,832</b>	<b>16,800</b>
<b>TOTAL</b>		<b>34,785</b>	<b>32,747</b>

Con base a las demandas que presentará la zona a futuro, en la Tabla 4.2 se realizó un balance de gastos, con la finalidad de determinar los gastos que se requieren manejar a través de las líneas primarias, que como se ve es de vital importancia conducir agua hacia la zona debido a la dependencia del agua en bloque.

**Tabla 4.2**  
**Balance de Demanda vs. Oferta**

CONDICIÓN FUTURA (2010)				
DELEGACIÓN	ZONA ORIENTE			
	DEMANDA (m <sup>3</sup> /s)	SUMINISTRO (m <sup>3</sup> /s)	REQUERIDO (m <sup>3</sup> /s)	
8 IZTACALCO	1.003	0.255	0.748	
9 IZTAPALAPA	5.075	1.292	3.783	
15 VENUSTIANO CARRANZA	1.486	0.378	1.107	
<b>TOTAL ZONA ORIENTE</b>	<b>7.563</b>	<b>1.926</b>	<b>5.638</b>	

### 4.3 GASTOS DEMANDADOS

De los informes del Plan Maestro de Agua Potable se tomaron los valores correspondientes al área manejada como Zona Oriente del D.F. para fines de abastecimiento de agua potable como se observa en la Tabla 4.3, ésta zona involucra a las delegaciones Iztacalco, Venustiano Carranza e Iztapalapa casi en su totalidad, también en la tabla se ve el porcentaje de influencia de cada delegación en la Zona Oriente.

**Tabla 4.3**  
**Análisis de Consumos y Demandas**  
(escenario si se mantuvieran las condiciones actuales de consumo y pérdidas)

Condición Futura (2010)												
DELEGACIÓN	POBLACION TOTAL (hab.)	CONSUMO DOMÉSTICO		CONSUMO TOTAL		PÉRDIDAS		DEMANDA TOTAL		INFILTRACION Z. OTE		DEMANDA Z. OTE
		(Mts/día)	(m <sup>3</sup> /s)	(Mts/día)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(Mts/día)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	
8 Iztacalco	437,100	133	0.671	195	0.987	0.556	36	305	1.543	65.0%	1.003	
9 Iztapalapa	1,864,200	127	2.732	163	3.517	1.825	34	248	5.342	95.0%	5.075	
15 Venustiano Carranza	506,400	129	0.759	214	1.255	0.602	32	317	1.857	80.0%	1.486	
<b>TOTAL</b>	<b>2,807,700</b>		<b>4.16</b>		<b>5.76</b>	<b>2.98</b>	<b>34</b>		<b>8.742</b>		<b>7.563</b>	

#### 4.3.1 Determinación de los Gastos Intermedios ( Zonas Poniente y Centro)

En el análisis estático sólo se ha considerado que el gasto inicial se transporta integro hasta los sitios de entrega sin derivaciones intermedias, y como las líneas

propuestas actualmente se encuentran comprometidas para abastecer a las zonas de la ciudad por las que atraviesan no es posible desligar éstas entregas a lo largo de la conducción, entonces el suministro calculado originalmente se verá disminuido. Para la utilización del modelo dinámico se requiere conocer la magnitud de los gasto intermedios para así poder establecer los gastos que se irán extrayendo de acuerdo a la variación horaria que se ha definido de acuerdo a la curva de demanda para el Distrito Federal propuesta por Instituto de Ingeniería.

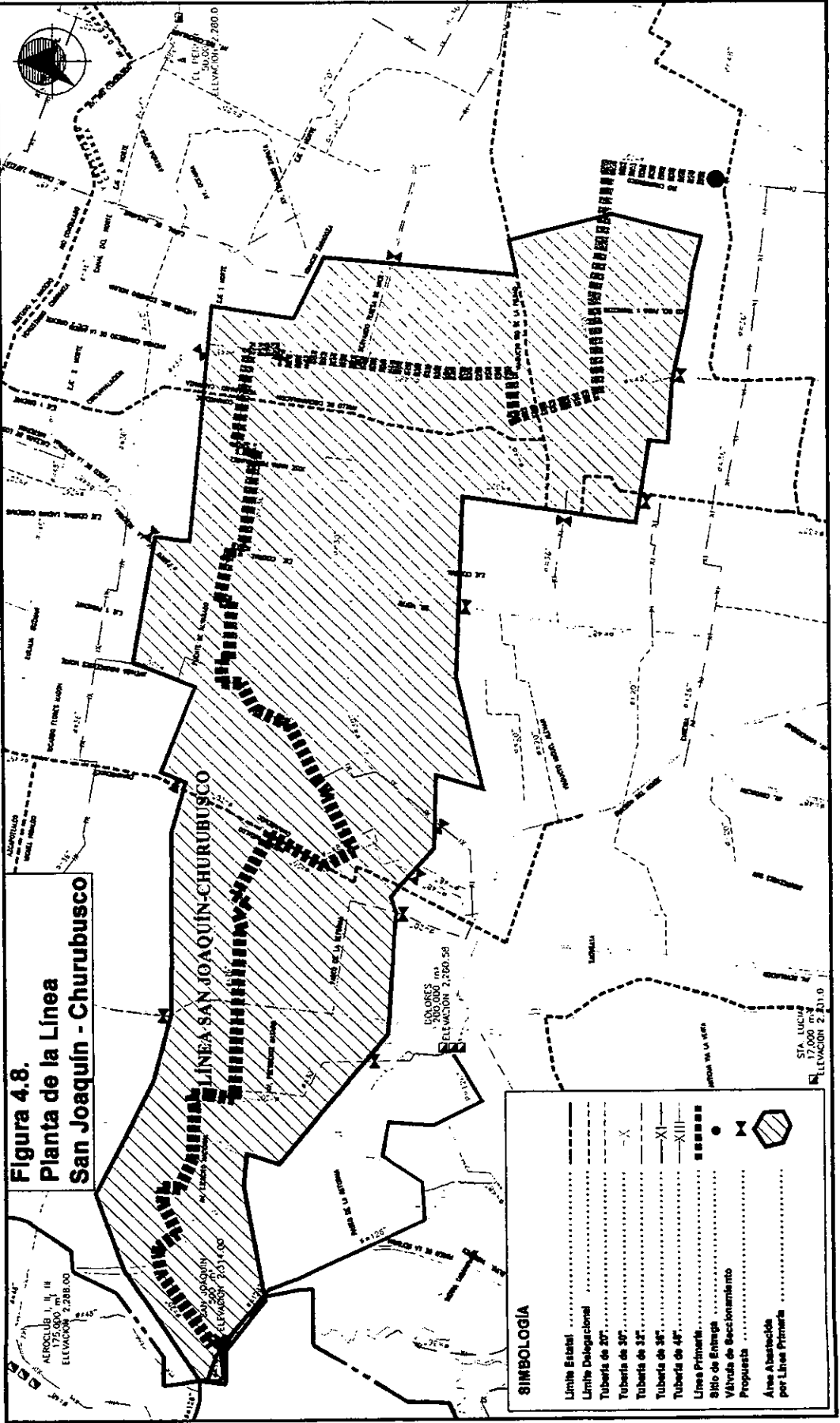
Para definir los gastos que se requieren a lo largo de las conducciones, se ha propuesto el área de influencia de las líneas Aeroclub, San Joaquín, Dolores, Santa Lucía y Torres 4, como se muestra en las figuras 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 y 4.11 respectivamente, donde además se tienen los seccionamientos necesarios a base de válvulas para delimitar las áreas antes mencionadas.

Una vez definidas las áreas se calculó su población de acuerdo a la densidad en cada delegación de acuerdo al documento "Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010", posteriormente con la dotación que se estipula en el mismo documento (cuadro 2.11) se definieron los gastos de cada área de influencia para el año de 1998, como se muestra en la tabla 4.4 y en la tabla 4.5 se observa la distribución de gasto para cada extracción identificada y son estos valores los que se introducen al modelo, cabe aclarar que cada extracción corresponde al punto donde cruza la línea con otra tubería de la red primaria (diámetros mayores a 20").

Para el año 2010 se aplicó la densidad definida para ese año y la dotación manejada fue de 265 l/hab/día, que es considerando la media que se espera suministrar conforme a las medidas de reducción implementadas de acuerdo al cuadro 2.12 del documento referido, con lo que se obtienen los gastos para cada línea, cuya magnitud del gasto total para cada línea se tiene en la tabla 4.6 y el valor de cada extracción que se introduce al modelo se muestra en la tabla 4.7.



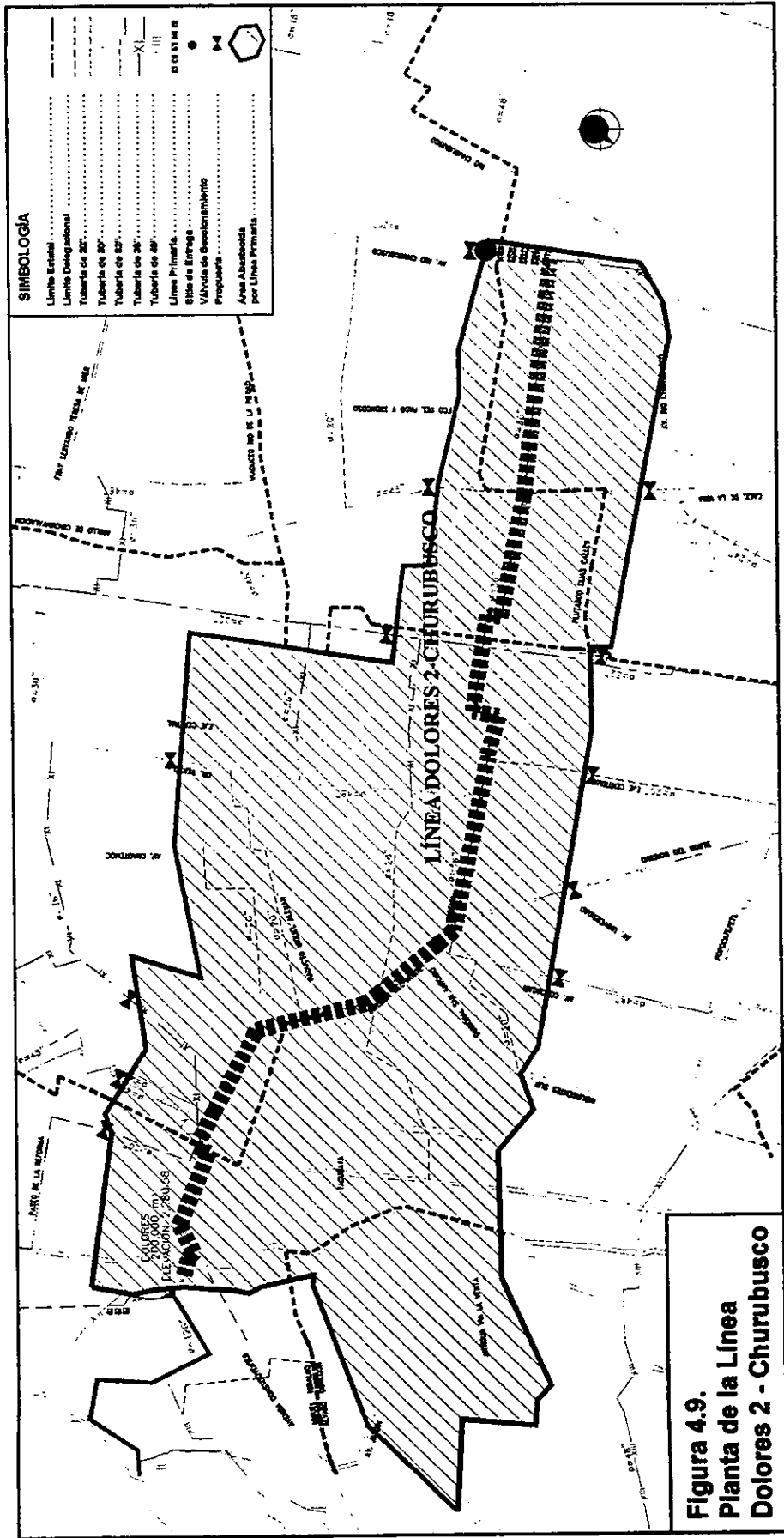


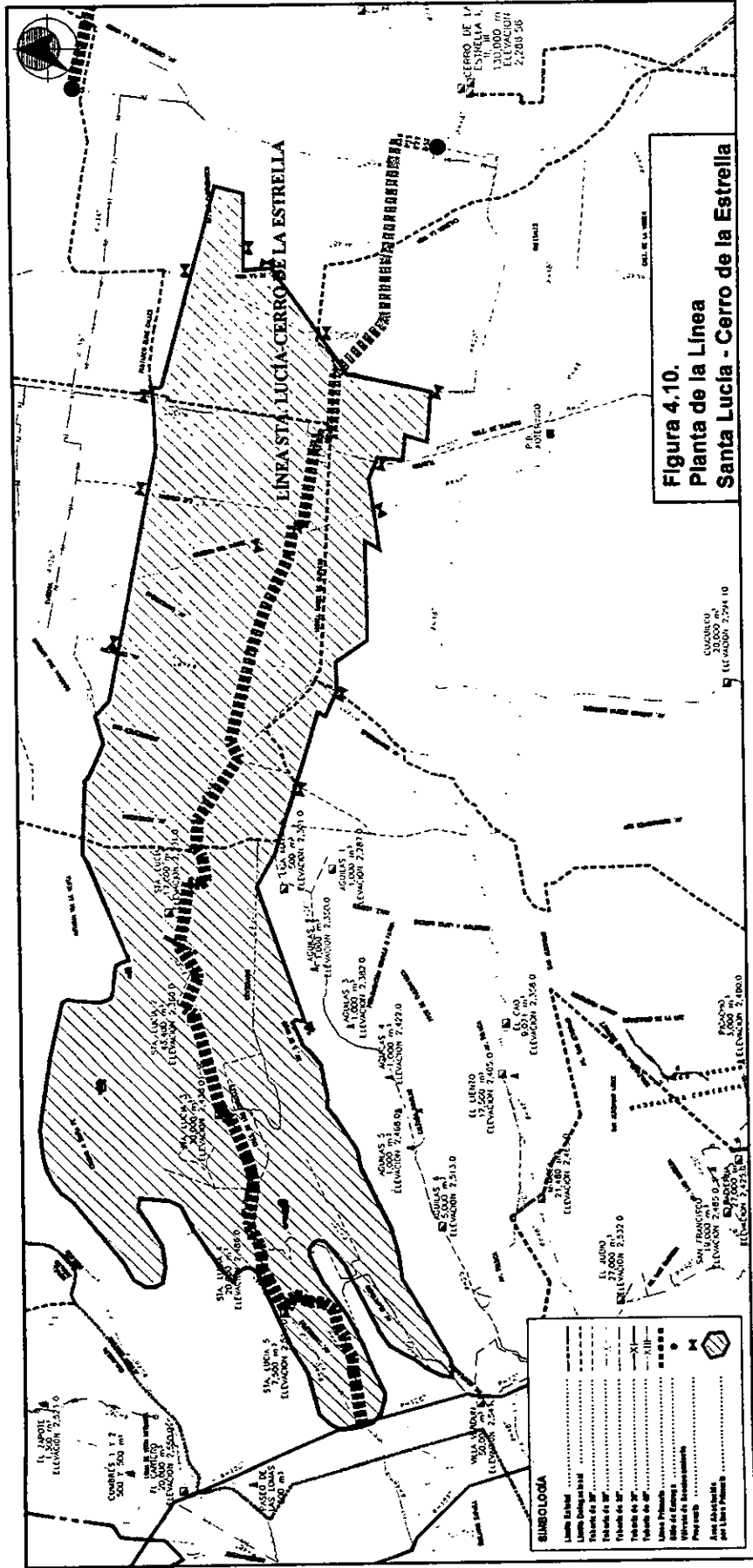


**Figura 4.8.**  
**Planta de la Línea**  
**San Joaquín - Churubusco**

**SIMBOLOGIA**

.....	Límite Estatal
-----	Límite Delegacional
.....-X	Tubería de 20"
.....-X-	Tubería de 30"
.....-X-	Tubería de 35"
.....-X-	Tubería de 40"
.....-X-	Tubería de 45"
.....	Línea Primera
.....	SBo de Bóveda
.....	Válvula de Seccionamiento
.....	Propuesta
.....	Área Abastecida por Línea Primera





**Figura 4.10.**  
**Planta de la Línea**  
**Santa Lucía - Cerro de la Estrella**



Tabla 4.4

## Gastos suministrados a las Zonas Poniente y Centro por las Líneas Primarias (Año 1998)

Línea	Delegación	Área Urbana (Ha)	Densidad* (hab/Ha)	Población por línea (hab)	Dotación* (l/hab/día)	Demanda (l/s)	% de Sum.	Suministro por Pozos (l/s)	Suministro por AEB (l/s)	Suministro por Línea (l/s)
Aero-Club	Miguel Hidalgo	1063.21	79.42	84,440	491	479.9	0.05	316.8	163.10	
	Cuauhtémoc	973.41	171.94	167,368	491	951.1	0.05	290.0	661.12	
	Venustiano Carranza	767.22	146.91	112,711	329	429.2	0.04	228.6	200.61	
	Iztacalco	213.01	180.88	38,530	318	141.8	0.01	63.5	78.35	
	Azcapotzalco		138.65	-	323	-	-	-	920.00	2,023.18
San Joaquín	Miguel Hidalgo	1166.64	79.42	92,654	491	526.5	0.06	347.6	178.97	
	Cuauhtémoc	1688.89	171.94	290,388	491	1,650.2	0.08	870.3	779.92	
	Benito Juárez	26.82	141.78	3,803	463	20.4	0.00	8.0	12.39	
	Venustiano Carranza	571.95	146.91	84,024	329	320.0	0.03	170.4	149.55	
	Iztacalco	491.44	180.88	88,891	318	327.2	0.02	146.4	180.75	1,301.57
Dolores	Miguel Hidalgo	425.72	79.42	33,810	491	192.1	0.02	126.8	65.31	
	Álvaro Obregón	385.29	137.00	52,785	431	263.3	0.02	114.8	148.52	
	Cuauhtémoc	539.97	171.94	92,843	491	527.6	0.03	160.9	366.74	
	Benito Juárez	1297.62	141.78	183,977	463	985.9	0.06	386.6	599.29	
	Iztacalco	320.66	180.88	58,001	318	213.5	0.02	95.5	117.94	
	Iztapalapa	407.96	159.62	65,118	269	202.7	0.02	121.5	81.20	1,379.00
Santa Lucía	Álvaro Obregón	1754.62	137.00	240,383	431	1,199.1	0.08	522.8	676.38	
	Benito Juárez	1263.90	141.78	179,196	463	960.3	0.06	376.6	583.72	
	Álvaro Obregón	38.53	137.00	5,279	431	26.3	0.00	11.5	14.85	
	Coyoacán	278.65	131.04	36,514	317	134.0	0.01	83.0	50.95	
	Iztapalapa	346.03	159.62	55,234	269	172.0	0.02	103.1	68.87	1,394.78
Torres 4	Magdalena Contreras	130.96	79.20	10,372	460	55.2	0.01	39.0	16.21	
	Álvaro Obregón	952.07	137.00	130,433	431	650.7	0.05	283.6	367.01	
	Coyoacán	978.07	131.04	128,166	317	470.2	0.05	291.4	178.84	562.05
Aguilas	Álvaro Obregón	874.71	137.00	119,836	431	597.8	0.04	260.6	337.19	337.19
Cuicuilco	Álvaro Obregón	368.13	137.00	50,434	431	251.6	0.02	109.7	141.91	
	Magdalena Contreras	1174.50	79.20	93,020	460	495.2	0.06	349.9	145.33	
	Álvaro Obregón	758.58	137.00	103,925	431	518.4	0.04	226.0	292.42	
	Tlatpan	407.30	120.78	49,193	286	162.8	0.02	121.3	41.49	
	Coyoacán	1028.54	131.04	134,780	317	494.5	0.05	306.4	188.07	809.22
<b>Suministro Parcial</b>								6,533	7,806.99	
<b>Suministro Total</b>										14,339.64

\* Fuente: Plan Maestro de Agua Potable 1995-2010. DGCOH

**Tabla 4.5**  
**Gastos introducidos al Modelo Año (1998)**

<b>Línea Aeroclub</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	1.22	1.169	Azcapotzalco	920.0	59.9
2	0.91	0.650	Miguel Hidalgo	163.1	58.3
3	0.91	0.650	Azcapotzalco		200.2
4	1.22	1.169	Azcapotzalco		359.9
5	1.22	1.169	Miguel Hidalgo		104.8
6	0.61	0.292	Cuauhtémoc	661.1	132.2
7	1.22	1.169	Cuauhtémoc		528.9
8	1.22	1.169	Venustiano Carranza	200.6	171.8
9	0.50	0.196	Venustiano Carranza		28.8
10	0.91	0.650	Iztacalco	78.3	78.3
				2,023.2	
<b>Línea San Joaquín</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Miguel Hidalgo	179.0	22.5
2	0.50	0.196	Miguel Hidalgo		22.5
3	1.22	1.169	Miguel Hidalgo		134.0
4	1.22	1.169	Cuauhtémoc	779.9	209.4
5	0.91	0.650	Cuauhtémoc		116.5
6	1.22	1.169	Cuauhtémoc		209.4
7	0.50	0.196	Cuauhtémoc		35.2
8	1.22	1.169	Venustiano	149.6	128.0
9	0.50	0.196	Venustiano		21.5
10	1.22	1.169	Cuauhtémoc		209.4
11	1.22	1.169	Iztacalco	193.1	139.1
12	0.76	0.454	Iztacalco		54.0
				1,301.6	
<b>Línea Dolores</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	1.22	1.169	Álvaro, Miguel	213.8	213.8
2	0.50	0.196	Cuauhtémoc	366.7	366.7
3	1.22	1.169	Benito Juárez	599.3	245.5
4	1.22	1.169	Benito Juárez		245.5
5	0.81	0.515	Benito Juárez		108.2
6	1.22	1.169	Iztacal, Iztapal	199.1	199.1
				1,379.0	

Tabla 4.5 (continuación)

Gastos introducidos al Modelo Año (1998)

<b>Línea Santa Lucía</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Álvaro Obregón	691.2	83.2
2	0.50	0.196	Álvaro Obregón		83.2
3	0.50	0.196	Álvaro Obregón		83.2
4	0.50	0.196	Álvaro Obregón		83.2
5	0.50	0.196	Álvaro Obregón		83.2
6	0.91	0.650	Álvaro Obregón		275.4
7	1.22	1.169	Benito Juárez	583.7	291.9
8	1.22	1.169	Benito Juárez		291.9
9	0.81	0.515	Coyoacan	51.0	22.5
10	0.91	0.650	Coyoacan		28.4
11	1.22	1.169	Iztapalapa	68.9	34.4
12	1.22	1.169	Iztapalapa		34.4
				1,394.8	
<b>Línea Torres 4</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación(l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Obregón, Contreras	383.2	42.8
2	0.50	0.196	Álvaro Obregón		42.8
3	0.50	0.196	Álvaro Obregón		42.8
4	1.22	1.169	Álvaro Obregón		254.8
5	1.22	1.169	Coyoacan	178.8	32.2
6	1.22	1.169	Coyoacan		32.2
7	1.22	1.169	Coyoacan		32.2
8	1.22	1.169	Coyoacan		32.2
9	1.22	1.169	Coyoacan		32.2
10	0.91	0.650	Coyoacan		17.9
				562.1	

Tabla 4.6

## Gastos Suministrados a las Zonas Poniente y Centro por las Líneas Primarias (Año 2010)

Línea	Delegación	Área Urbana (Ha) 2	Densidad* (hab/Ha)	Población por línea (2010)	Dotación* (l/hab/día)	Demanda (l/s)	% de Sum.	Suministro por Pozos	Suministro por AEB	Suministro por Línea A
Aero-Club	Miguel Hidalgo	1063.21	82.60	87,821.347	265	269.36	0.05	214.88	54.48	
	Cuauhtémoc	973.41	176.00	171,319.851	265	525.46	0.05	196.73	328.73	
	Venustiano Carranza	767.22	152.50	117,000.976	265	358.86	0.04	155.06	203.80	
	Iztacalco	213.01	188.60	40,174.448	265	123.22	0.01	43.05	80.17	
	Azcapotzalco		143.00	0.000	265	0.00	0.00	0.00	920.00	1587.18
San Joaquín	Miguel Hidalgo	1166.64	82.60	96,364.055	265	295.56	0.06	235.78	59.78	
	Cuauhtémoc	1688.89	176.00	297,245.398	265	911.69	0.08	341.33	570.36	
	Benito Juárez	26.82	146.50	3,929.494	265	12.05	0.00	5.42	6.63	
	Venustiano Carranza	571.95	152.50	87,221.897	265	267.52	0.03	115.59	151.93	
	Iztacalco	491.44	188.60	92,684.911	265	284.28	0.02	99.32	184.96	973.66
Dolores	Miguel Hidalgo	425.72	82.60	35,164.158	265	107.85	0.02	86.04	21.81	
	Alvaro Obregón	385.29	144.80	55,790.705	265	171.12	0.02	77.87	93.25	
	Cuauhtémoc	539.97	176.00	95,035.048	265	291.48	0.03	109.13	182.35	
	Benito Juárez	1297.62	146.50	190,101.906	265	583.07	0.06	262.25	320.81	
	Iztacalco	320.66	188.60	60,476.020	265	185.49	0.02	64.81	120.68	
	Iztapalapa	407.96	172.70	70,454.261	265	216.09	0.02	82.45	133.64	872.56
Santa Lucía	Alvaro Obregón	1754.62	144.80	254,068.829	265	779.26	0.08	354.61	424.65	
	Benito Juárez	1263.90	146.50	185,162.077	265	567.92	0.06	255.44	312.48	
	Alvaro Obregón	38.53	144.80	5,579.828	265	17.11	0.00	7.79	9.33	
	Coyoacán	278.65	140.10	39,038.862	265	119.74	0.01	56.32	63.42	
	Iztapalapa	346.03	172.70	59,760.193	265	183.29	0.02	69.93	113.36	923.23
Torres 4	Magdalena Contreras	130.96	86.40	11,315.338	265	34.71	0.01	26.47	8.24	
	Alvaro Obregón	952.07	144.80	137,859.165	265	422.83	0.05	192.42	230.42	
	Coyoacán	978.07	140.10	137,027.036	265	420.28	0.05	197.67	222.61	461.26
Aguilas	Alvaro Obregón	874.71	144.80	126,658.552	265	388.48	0.04	176.78	211.70	211.70
Cuicuilco	Alvaro Obregón	368.13	144.80	53,305.253	265	163.49	0.02	74.40	89.09	
	Magdalena Contreras	1174.50	86.40	101,476.850	265	311.24	0.06	237.37	73.87	
	Alvaro Obregón	758.58	144.80	109,842.117	265	336.90	0.04	153.31	183.59	
	Tlalpan	407.30	136.20	55,473.854	265	170.15	0.02	82.32	87.83	
	Coyoacán	1028.54	140.10	144,098.885	265	441.97	0.05	207.87	234.10	668.48
Suministro Parcial								4,182	5,698.07	
Suministro Total										9,880.47

\* Fuente: Plan Maestro de Agua Potable 1995-2010. DGCOR



**Tabla 4.7**  
**Gastos introducidos al Modelo (año 2010)**

<b>Línea Aeroclub</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	1.22	1.169	Azcapotzalco	920.0	359.9
2	0.91	0.650	Miguel Hidalgo	54.5	19.5
3	0.91	0.650	Azcapotzalco		200.2
4	1.22	1.169	Azcapotzalco		359.9
5	1.22	1.169	Miguel Hidalgo		35.0
6	0.61	0.292	Cuauhtémoc	328.7	65.7
7	1.22	1.169	Cuauhtémoc		263.0
8	1.22	1.169	Venustiano Carranza	203.8	174.5
9	0.50	0.196	Venustiano Carranza		29.3
10	0.91	0.650	Iztacalco	80.2	80.2
				1,587.2	
<b>Línea San Joaquín</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Miguel Hidalgo	59.8	7.5
2	0.50	0.196	Miguel Hidaigo		7.5
3	1.22	1.169	Miguel Hidalgo		44.7
4	1.22	1.169	Cuauhtémoc	570.4	153.1
5	0.91	0.650	Cuauhtémoc		85.2
6	1.22	1.169	Cuauhtémoc		153.1
7	0.50	0.196	Cuauhtémoc		25.7
8	1.22	1.169	Venustiano	151.9	130.1
9	0.50	0.196	Venustiano		21.8
10	1.22	1.169	Cuauhtémoc		153.1
11	1.22	1.169	Iztacalco	191.6	138.0
12	0.76	0.454	Iztacalco		53.6
				973.7	
<b>Línea Dolores</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	1.22	1.169	Álvaro, Miguel	115.1	115.1
2	0.50	0.196	Cuauhtémoc	182.4	182.4
3	1.22	1.169	Benito Juárez	320.8	131.4
4	1.22	1.169	Benito Juárez		131.4
5	0.81	0.515	Benito Juárez		57.9
6	1.22	1.169	Iztacal, Iztapal	254.3	254.3
				872.6	

**Tabla 4.7 (continuación)**  
**Gastos introducidos al Modelo (año 2010)**

<b>Línea Santa Lucía</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Álvaro Obregón	434.0	52.2
2	0.50	0.196	Álvaro Obregón		52.2
3	0.50	0.196	Álvaro Obregón		52.2
4	0.50	0.196	Álvaro Obregón		52.2
5	0.50	0.196	Álvaro Obregón		52.2
6	0.91	0.650	Álvaro Obregón		172.9
7	1.22	1.169	Benito Juárez	312.5	156.2
8	1.22	1.169	Benito Juárez		156.2
9	0.81	0.515	Coyoacan	63.4	28.0
10	0.91	0.650	Coyoacan		35.4
11	1.22	1.169	Iztapalapa	113.4	56.7
12	1.22	1.169	Iztapalapa		56.7
				923.2	
<b>Línea Torres 4</b>					
<b>Extracción</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Área del Tubo</b>	<b>Delegación</b>	<b>Gasto por Delegación (l/s)</b>	<b>Gasto por Extracción (l/s)</b>
1	0.50	0.196	Obregón, Contreras	238.7	26.7
2	0.50	0.196	Álvaro Obregón		26.7
3	0.50	0.196	Álvaro Obregón		26.7
4	1.22	1.169	Álvaro Obregón		158.7
5	1.22	1.169	Coyoacan	222.6	40.1
6	1.22	1.169	Coyoacan		40.1
7	1.22	1.169	Coyoacan		40.1
8	1.22	1.169	Coyoacan		40.1
9	1.22	1.169	Coyoacan		40.1
10	0.91	0.650	Coyoacan		22.3
				461.3	

#### **4.4 CONDICIÓN ACTUAL DE FUNCIONAMIENTO**

Conforme al diagnóstico efectuado al sistema se observó, en lo relativo a la distribución de caudales, que la zona del poniente se queda prácticamente con toda el agua en bloque, por lo que en las zonas restantes se debe complementar el caudal demandado con otras fuentes. Mientras que en la zona del poniente se tiene un panorama con un suministro satisfactorio, en los del oriente la situación es completamente contraria, generando que se tengan déficit en cuanto al suministro y que se presenten problemas de hundimientos y sobre explotación de pozos.

Actualmente el gasto suministrado a las líneas de conducción no es el mismo que el gasto de proyecto. Al ser menor este gasto, el funcionamiento de las líneas es a superficie libre en su inicio hasta que el tubo entra en carga. Esta situación provoca que la carga hidráulica en la tubería sea menor a la considerada en el proyecto, lo cual disminuye también el gasto en las líneas secundarias al considerado de proyecto.

La anterior, es una de las razones por las cuales no se presente el gasto requerido en tanques o poblaciones que son abastecidas por derivaciones a la red principal o hasta aquellas que se encuentran dentro de la red principal.

Una posible solución que se propone a este problema, es la colocación de válvulas de compuerta en sitios estratégicos, las cuales permitan elevar la carga hidráulica en la línea principal y por consiguiente el gasto en las líneas secundarias.

Es decir, la gran dimensión de la red provoca que el suministro sea cada vez menos eficiente y más escaso, esto se agudiza en las áreas de rápida urbanización y en áreas de condiciones topográficas adversas como las prevalecientes en la Delegación Iztapalapa al oriente de la ciudad.

Por otra parte, se han estudiado los volúmenes de agua que se extraen y entran al D.F. así como su forma de distribución y se ha llegado a la conclusión que

## **5 APLICACIÓN DEL MODELO OPERATIVO PARA MEJORAR EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA**

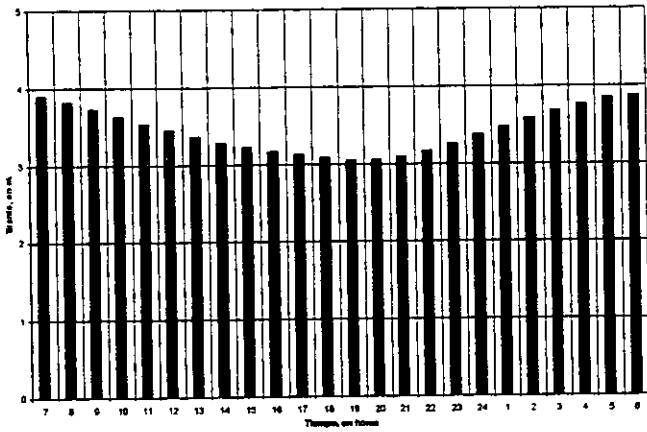
### **5.1 ANÁLISIS DE TANQUES**

El comportamiento de los tanques Aeroclub se puede observar en la figura 5.1 en la que se observa que a pesar del gasto que deben manejar, la variación del tirante se da entre 3 y 4 metros que indica una regulación adecuada por lo que no existe problema alguno con estos tanques.

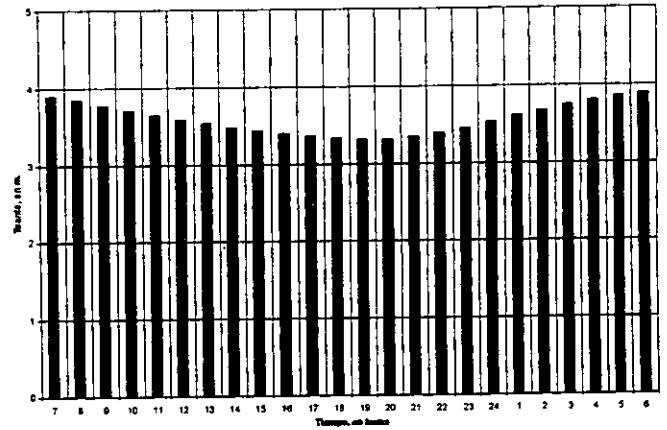
Con respecto a los tanques Dolores se observa la variación de sus niveles en la figura 5.2, que muestra un comportamiento similar a los tanques Aeroclub siendo todavía un poco menor la variación de tirantes, reflejo de una mayor capacidad de almacenamiento de los tanques Dolores ya que es similar el gasto que deben conducir ambas líneas.

Como anteriormente se mencionó la línea Torres 4, cuenta con tres tanques en operación: Mimosa, El Lienzo y CAO cuyo comportamiento se observa en las figuras 5.3, 5.4 y 5.5 respectivamente. Por ser el tanque CAO el último de la zona de tanques le corresponde regular la zona plana, motivo por el cual tiene el comportamiento que se observa en la figura 5.5 donde desde el inicio de la simulación se tiene un descenso acelerado del tirante hasta vaciarse entre la 17 y las 19 horas que es indicio de la necesidad de contar con mayor capacidad de regulación, pero por ser ésta la línea que manejaría el menor de los gastos y que sólo son tres horas que el tanque permanece vacío siendo apoyado por el tanque El Lienzo en ese intervalo, se puede considerar aceptable el comportamiento del tanque, sin embargo para que no se vacíe totalmente como es deseable y en virtud de que no hay una variación de niveles notable en el tanque El Lienzo, es factible aprovechar la capacidad conjunta de ambos tanques para mejorar el comportamiento del tanque CAO.

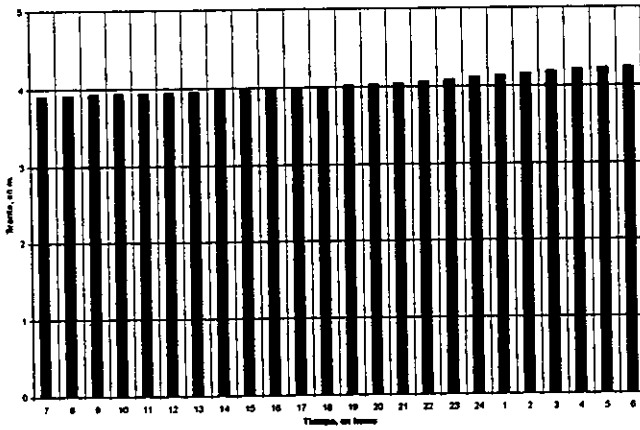
**Figura 5.1 Variación de Tirantes del Tanque "AEROCLUB"  
Condición Actual**



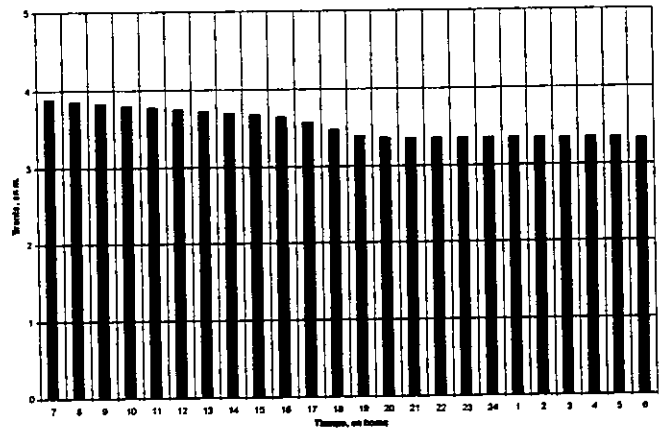
**Figura 5.2 Variación de Tirantes del Tanque "DOLORES"  
Condición Actual**



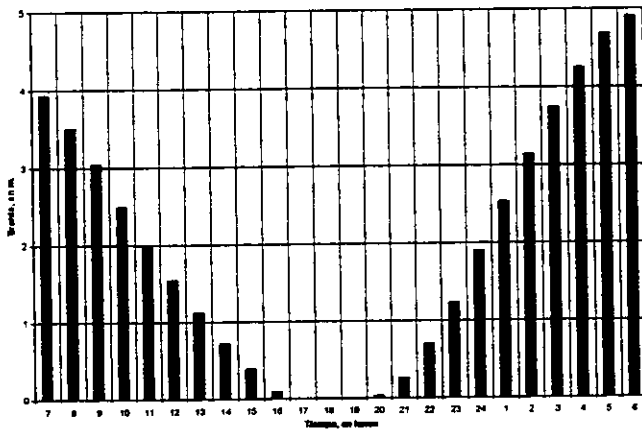
**Figura 5.3 Variación de Tirantes del Tanque "MIMOSA"  
Condición Actual**



**Figura 5.4 Variación de Tirantes del Tanque "LIENZO"  
Condición Actual**



**Figura 5.5 Variación de Tirantes del Tanque "CAO"  
Condición Actual**

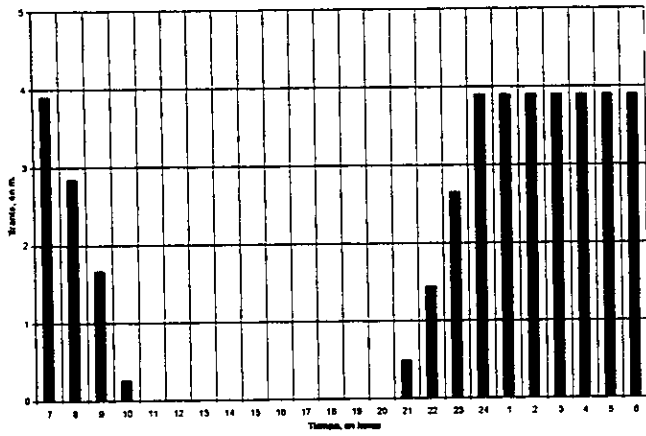


Con respecto al comportamiento de los tanques en la línea Santa Lucía, se graficó la variación horaria de los tirantes que se presentan en los mismos, como se muestra en las figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, y 5.10. Sobresale el comportamiento del último tanque antes de llegar a la zona plana, el Santa Lucía 1 (figura 5.6) que empieza a vaciarse gradualmente desde al inicio de la simulación y se vacía totalmente entre las 10 y las 20 hrs., y posteriormente recupera su nivel, éste fenómeno tiene la siguiente explicación, como el tanque Santa Lucía 1 es el último de la zona de tanques es el que debe regular la extensa zona plana y debido a su capacidad de  $17,000 \text{ m}^3$ , pequeña con respecto a la zona que abastece es normal que tienda a vaciarse, pero no por ello disminuye el abastecimiento a la zona plana ya que aumenta el gasto proveniente del tanque Santa Lucía 2 con capacidad de  $43,500 \text{ m}^3$ , que se ve reflejado en el tirante del mismo con una disminución acelerada de su nivel a partir de las 11 horas hasta llegar a un tirante mínimo de un metro (figura 5.7), una vez que el tanque 1 termina su recuperación a las 24 horas empieza la recuperación del tanque 2 a partir de las 2 de la mañana.

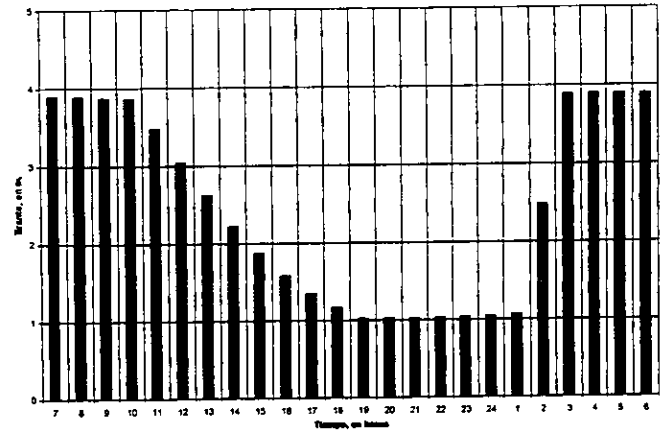
En el resto de los tres tanques no se observa una disminución notoria de sus niveles sólo la generada por sus propias zonas de influencia, que indica que la regulación de la zona plana fue proporcionada exclusivamente por los tanques 1 y 2. Si se desea que el tanque 1 no se vacíe totalmente, entonces la regulación se notará hasta los tanques 3 y 4 que cuentan con una capacidad de almacenamiento de  $30,000 \text{ m}^3$  y  $20,000 \text{ m}^3$  respectivamente, que indica que la capacidad de regulación conjunta de los tanques Santa Lucía es adecuada para la zona que deberán regular, lo que conlleva a implementar una operación sincronizada en el funcionamiento de los tanques para evitar que se vacíe alguno de ellos.

En la figura 5.11 se muestra el comportamiento de los niveles del tanque Primavera, como se ve la variación de niveles es menor a un metro ya que el tirante fluctúa entre los 3.8 y los 2.9 m, por lo que se considera que el tanque tiene un comportamiento adecuado.

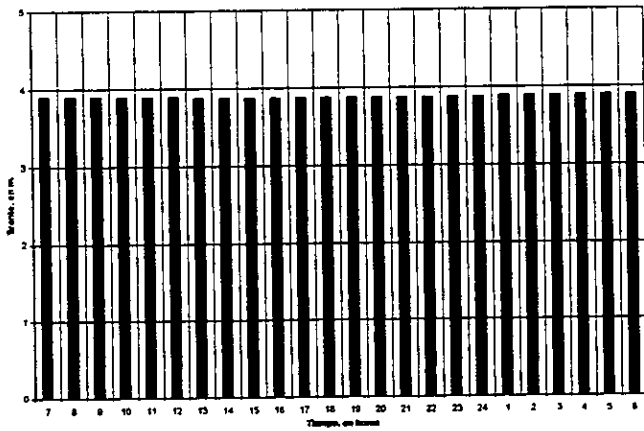
**Figura 5.6 Variación de Tirantes del Tanque "SANTA LUCÍA 1" Condición Actual**



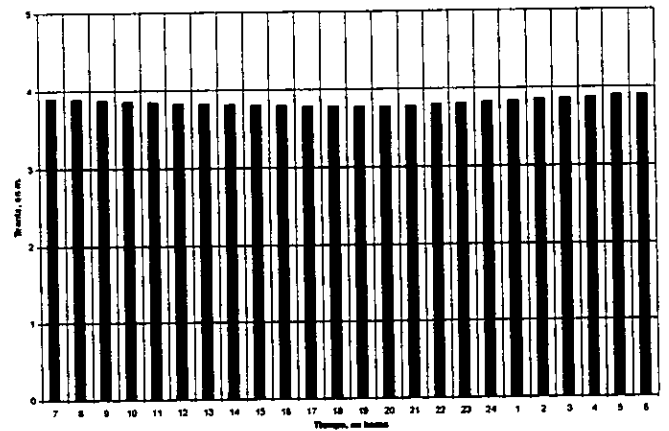
**Figura 5.7 Variación de Tirantes del Tanque "SANTA LUCÍA 2" Condición Actual**



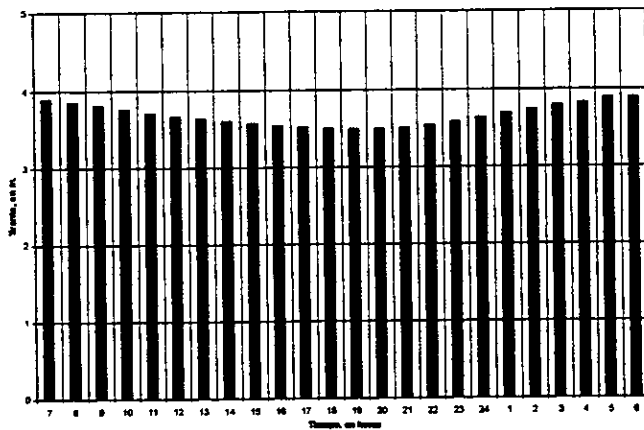
**Figura 5.8 Variación de Tirantes del Tanque "SANTA LUCÍA 3" Condición Actual**



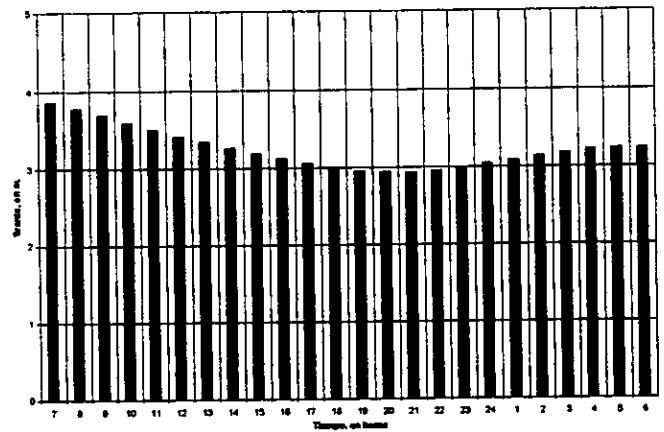
**Figura 5.9 Variación de Tirantes del Tanque "SANTA LUCÍA 4" Condición Actual**



**Figura 5.10 Variación de Tirantes del Tanque "SANTA LUCÍA 5" Condición Actual**



**Figura 5.11 Variación de Tirantes del Tanque "PRIMAVERA" Condición Actual**



## **5.2 ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN**

### ***5.2.1 Análisis Hidráulico de las Estructuras de Derivación***

Las estructuras de derivación de los sistemas Lerma y Cutzamala son capaces de manejar satisfactoriamente los caudales que se requerirán a futuro; las estructuras de derivación involucradas son:

Del Sistema Lerma: Trifurcación El Cartero, Trifurcación Santa Lucía, Derivación Portal 29 y Trifurcación El Judío.

Del Sistema Cutzamala: Trifurcación El Cartero, Trifurcación Santa Lucía, Derivación a Villa Verdún y Trifurcación El Judío.

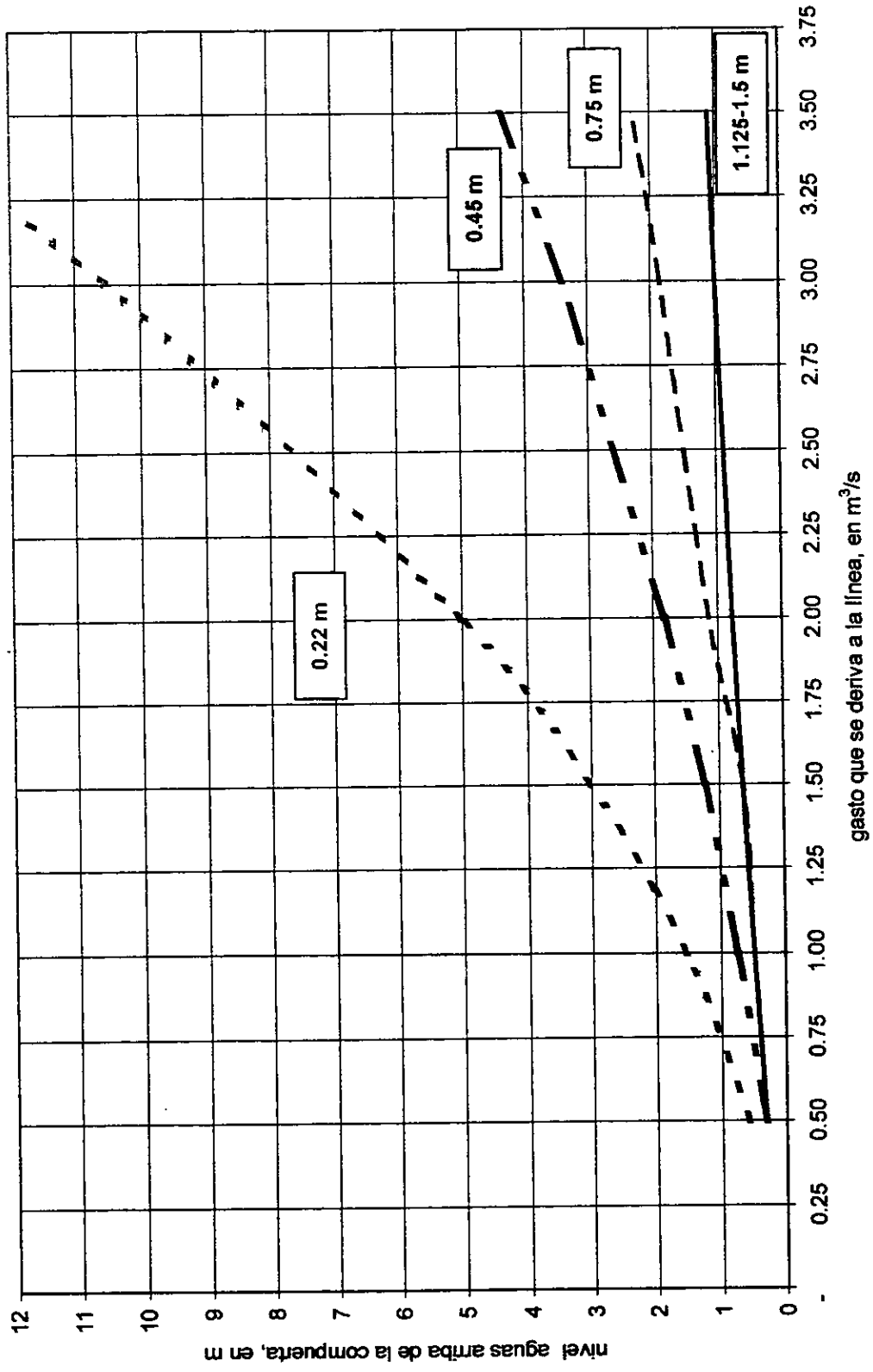
En las figuras 4.4, 4.5 y 4.6 del capítulo anterior se muestra la trifurcación tipo, también se tienen las siguientes capacidades máximas para los medidores de gasto Parshall para las trifurcaciones del Sistema Cutzamala, San José 28.317 m<sup>3</sup>/s, El borracho 5.663 m<sup>3</sup>/s, El Cartero 9.911 m<sup>3</sup>/s, Santa Lucía 9.911 m<sup>3</sup>/s, Plateros 9.911 m<sup>3</sup>/s, Villa Verdún 9.911 m<sup>3</sup>/s y El Judío 9.911 m<sup>3</sup>/s, con lo que se establece la capacidad del manejo de caudal posible.

Se realizó el análisis hidráulico para el funcionamiento en las trifurcaciones Plateros y Santa Lucía, como se muestra en las figuras 5.12 y 5.13 respectivamente, en las cuales se tiene la operación de las compuertas planas que controlan el flujo hacia las líneas primarias. Para la utilización de las gráficas se entra en el eje de las ordenadas con el tirante que se tiene aguas arriba de la compuerta, es decir con el tirante que se trae en el túnel y en el eje de las abscisas con el gasto que se pretende derivar, de esta forma en la intersección de ambas coordenadas se obtiene la apertura necesaria en las compuertas.



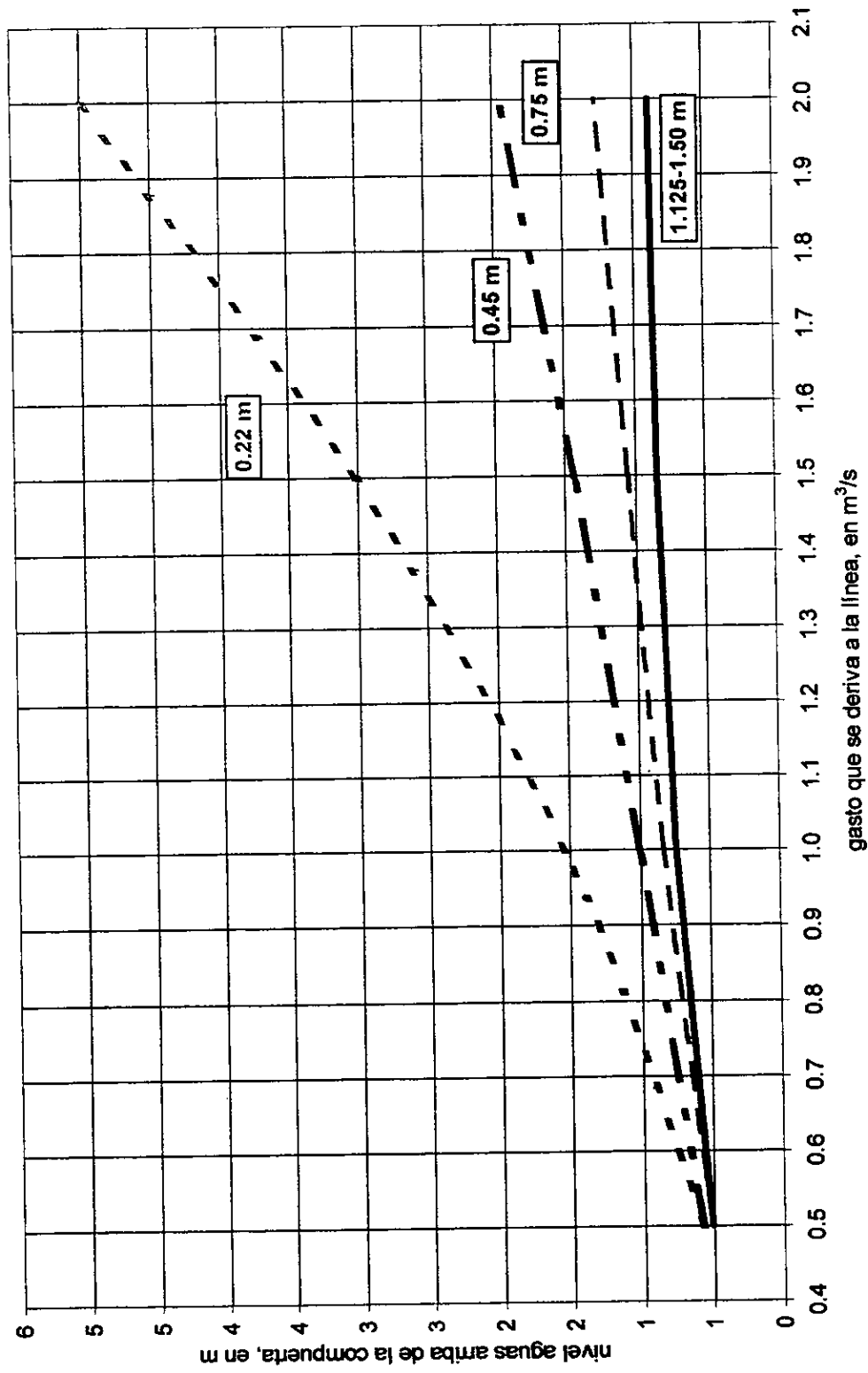
**Figura 5.12 Apertura de Compuertas de la Trifurcación SANTA LUCÍA**

Acuaférico



**Figura 5.13 Apertura de Compuertas de la Trifurcación PLATEROS**

Acuaaférico



### **5.2.2 *Análisis Estático de las Líneas Primarias Actualmente en Operación***

Para efectuar el análisis hidráulico estático se aplicó la fórmula de Manning para cada alternativa, cuyos resultados se muestran de las tablas 5.1 a la 5.7, de los resultados generados se obtuvieron las velocidades y las pérdidas por fricción ( $h_f$ ) con lo cual se obtuvo el comportamiento hidráulico para cada una de las alternativas estudiadas, el análisis efectuado corresponde a los gastos que se requieren a futuro (año 2010).

Al inicio de cada tabla aparece el porcentaje máximo que puede llevar la línea, de manera que al final de la misma no se tenga una carga negativa, de forma de aprovechar al máximo la carga disponible que al final del recorrido debe ser muy cercana a cero. Entre las consideraciones tomadas se tienen: la tubería trabaja a presión, no hay extracciones intermedias de caudal y el coeficiente de rugosidad para el concreto es de 0.014.

Como se muestra en las tablas generadas, no es posible manejar la totalidad del gasto demandado por una sola línea, por lo que es necesario transportar el gasto requerido por más de una línea o alternativa. A continuación se describe el funcionamiento de cada línea.

#### **5.2.2.1 Alternativa Aeroclub - Churubusco**

En la tabla 5.1 se tiene el análisis hidráulico, por ésta línea sólo se puede manejar el 60% del gasto requerido por las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco, y de acuerdo a su comportamiento, al final de la línea sólo se tiene una carga de 1.48 m

#### **5.2.2.2 Alternativa San Joaquín - Churubusco**

El caudal suministrado por ésta línea corresponde sólo al 15% del gasto necesario por las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco, quedando una carga remanente de 8.59 m. El bajo porcentaje de la línea obedece básicamente al bajo

rango de los diámetros que la integran, con lo que se genera una menor capacidad de conducción. Los resultados se tienen en la tabla 5.2.

**Tabla 5.1 Línea Aeroclub-Churubusco**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 60%		Gasto suministrado = 1.113					Elev inicial = 2288.0				
Gasto Total Demandado 1.855											
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q suministrado al sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdida (m)	Elev. Piez. (m)	Carga (m)	
Aeroclub-1	2231	0.014	4,300	1.22	0.000	0.000	1.113	3.721	2284.28	53.28	
1-2	2231	0.014	800	0.91	0.000	0.000	1.113	3.306	2280.97	49.97	
2-3	2231	0.014	14,850	1.22	0.000	0.000	1.113	12.851	2268.12	37.12	
3-4	2231	0.014	3,300	0.76	1.855	1.113	1.113	35.644	2232.48	1.48	

**Tabla 5.2 Línea San Joaquín-Churubusco**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 15%		Gasto suministrado = 0.278					Elev inicial = 2314.0				
Gasto Total Demandado 1.855											
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q suministrado al sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdida (m)	Elev. Piez. (m)	Carga (m)	
San Joaquín-1	2237	0.014	9,050	0.5	0.000	0.000	0.278	56.995	2257.01	20.01	
1-2	2231	0.014	3,920	1.22	0.000	0.000	0.278	0.212	2256.79	25.79	
2-3	2231	0.014	3,150	0.91	0.000	0.000	0.278	0.814	2255.98	24.98	
3-4	2231	0.014	3,750	1.22	0.000	0.000	0.278	0.203	2255.78	24.78	
4-Churubusco	2231	0.014	2,570	0.5	1.855	0.278	0.278	16.185	2239.59	8.59	

### 5.2.2.3 Alternativa Dolores 1-Churubusco

Del análisis efectuado para la primera opción de las alternativas Dolores, se tiene que satisface el 18% de la demanda asignada, quedando una carga final de 0.28 m, como se observa en la tabla 5.3.

### 5.2.2.4 Alternativa Dolores 2-Churubusco

Con respecto a la segunda opción de las alternativas Dolores, representa la alternativa con mejor capacidad de conducción hacia las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco, pudiendo transportar hasta el 65% de la demanda asignada, quedando una carga final de 1.97 m, como se observa en la tabla 5.4. El motivo de su comportamiento se debe principalmente al tamaño de sus diámetros que le confieren mayor capacidad.

**Tabla 5.3 Línea Dolores 1-Churubusco**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 18% Gasto Total Demandado 1.855		Gasto suministrado = 0.334					Elev inicial = 2280.5			
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m³/s)	Q suministrado al sitio (m³/s)	Q Tubo (m³/s)	Pérdida (m)	Elev. Piez. (m)	Carga (m)
Dolores-1	2243.30	0.014	3,280	1.22	0.000	0.000	0.334	0.255	2280.24	36.94
1-2	2232.50	0.014	2,660	0.5	0.000	0.000	0.334	24.123	2256.12	23.62
2-3	2232.25	0.014	680	1.22	0.000	0.000	0.334	0.053	2256.07	23.82
3-4	2232.00	0.014	460	0.91	0.000	0.000	0.334	0.171	2255.90	23.90
4-5	2231.85	0.014	245	0.81	0.000	0.000	0.334	0.170	2255.73	23.88
5-6	2231.50	0.014	1,880	1.22	0.000	0.000	0.334	0.146	2255.58	24.08
6-Churubusco	2231.50	0.014	2,625	0.5	1.855	0.334	0.334	23.805	2231.78	0.28

**Tabla 5.4 Línea Dolores 2-Churubusco**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 65% Gasto Total Demandado 1.855		Gasto suministrado = 1.206					Elev inicial = 2280.5			
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m³/s)	Q suministrado al sitio (m³/s)	Q Tubo (m³/s)	Pérdida (m)	Elev. Piez. (m)	Carga (m)
Dolores-1	2242.00	0.014	5,000	1.22	0.000	0.000	1.206	5.078	2275.42	33.42
1-Churubusco	2231.50	0.014	8,650	0.91	1.855	1.206	1.206	41.956	2233.47	1.97

### 5.2.2.5 Alternativa Santa Lucía-Cerro de la Estrella

Esta alternativa representa la mejor opción para manejar el caudal hacia la delegación Iztapalapa, ya que como se tiene en la tabla 5.5, es posible transportar el 70% de la demanda total requerida por la delegación que asciende a 3.783 m<sup>3</sup>/s, quedando como carga final 0.54 m.

### 5.2.2.6 Alternativa Línea Torres 4-Cerro de la Estrella

El porcentaje de suministro que se alcanza con esta alternativa es de 17%, que representa 0.643 m<sup>3</sup>/s y se llega al final con una carga de 8.46 m, su análisis se tiene en la tabla 5.6.

### 5.2.2.7 Alternativa Línea el Judío-Cerro de la Estrella

Como se muestra en la tabla 5.7 el porcentaje de cobertura para ésta alternativa es de 11%, y la carga final es de 6.31 m.

**Tabla 5.5 Línea Santa Lucía-Cerro de la Estrella (se rompe la carga en los tanques)**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 70%		Gasto suministrado = 2.648					Elev inicial = 2545.0				
Gasto Total Demandado 3.783											
Trazo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q suministrado al sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdida (m)	Elev. Final (m)	Carga (m)	
Trifurcación- Sta Lucía 5	2514.00	0.014	1,490	1.22	0.000	0.000	2.648	7.299	2537.70	23.70	
Sta. Lucía 5- Sta. Lucía 4	2486.00	0.014	940	1.22	0.000	0.000	2.648	4.605	2509.39	23.39	
Sta. Lucía 4- Sta. Lucía 3	2438.00	0.014	1,770	1.22	0.000	0.000	2.648	8.671	2477.33	39.33	
Sta. Lucía 3- Sta. Lucía 2	2360.00	0.014	1,280	1.22	0.000	0.000	2.648	6.271	2431.73	71.73	
Sta. Lucía 2- Sta. Lucía 1	2301.00	0.014	1,320	1.22	0.000	0.000	2.648	6.467	2353.53	52.53	
Sta. Lucía 1- Cerro de la Estrella	2245.00	0.014	11,320	1.22	3.783	2.648	2.648	55.456	2245.54	0.54	

**Tabla 5.6 Línea Torres 4-Cerro de la Estrella (se rompe la carga en los tanques)**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 17%		Gasto suministrado = 0.643					Elev inicial = 2528.0			
Gasto Total Demandado 3.783										
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m³/s)	Q suministrado al sitio (m³/s)	Q Tubo (m³/s)	Pérdida (m)	Elev. Plaz. (m)	Carga (m)
Torres -Mimosa	2465.00	0.014	2,000	1.22	0.000	0.000	0.643	0.578	2527.42	62.42
Mimosa-El Lienzo	2405.00	0.014	1,750	1.22	0.000	0.000	0.643	0.506	2464.49	59.49
El Lienzo-El CAO	2356.00	0.014	480	1.22	0.000	0.000	0.643	0.139	2404.86	48.86
El CAO-1	2238.45	0.014	10,510	1.22	0.000	0.000	0.643	3.037	2352.96	114.51
1-2	2243.06	0.014	2,920	0.50	0.000	0.000	0.643	98.235	2254.73	11.67
2-Cerro de la Estrella	2245.00	0.014	920	0.91	3.783	0.643	0.643	1.269	2253.46	8.46

**Tabla 5.7 Línea El Judío-Cerro de la Estrella (se rompe la carga en los tanques)**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 11%		Gasto suministrado = 0.416					Elev inicial = 2533.0			
Gasto Total Demandado 3.783										
Tramo	Elevación Sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q demandado por sitio (m³/s)	Q suministrado al sitio (m³/s)	Q Tubo (m³/s)	Pérdida (m)	Elev. Plaz. (m)	Carga (m)
Torres-El Judío	2532.00	0.014	800	1.22	0.000	0.000	0.416	0.097	2532.90	0.90
El Judío-1	2489.00	0.014	2,925	1.22	0.000	0.000	0.416	0.354	2531.65	42.65
1-San Francisco	2485.00	0.014	275	0.91	0.000	0.000	0.416	0.159	2531.49	46.49
San Francisco-Padierna	2425.00	0.014	1,300	0.91	0.000	0.000	0.416	0.751	2484.25	59.25
Padierna-2	2406.70	0.014	885	0.91	0.000	0.000	0.416	0.511	2424.49	17.79
2-Picacho	2400.00	0.014	315	1.22	0.000	0.000	0.416	0.038	2424.45	24.45
Picacho-Zacatepetl	2325.00	0.014	2,600	1.22	0.000	0.000	0.416	0.315	2399.69	74.69
Zacatepetl-Cuicuilco	2294.10	0.014	3,000	1.22	0.000	0.000	0.416	0.363	2324.64	30.54
Cuicuilco-3	2240.30	0.014	9,305	1.22	0.000	0.000	0.416	1.126	2292.97	52.67
3-4	2241.20	0.014	2,920	0.5	0.000	0.000	0.416	41.130	2251.84	10.64
4-Cerro de la Estrella	2245.00	0.014	920	0.91	3.783	0.416	0.416	0.532	2251.31	6.31

De los anteriores resultados se desprende lo siguiente con respecto a las líneas existentes:

Para llevar agua a las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco, es posible utilizar las alternativas de las líneas Dolores 2, Aeroclub y San Joaquín, con lo que se tiene la posibilidad de ofrecer un acumulado de 96% de cobertura, desechando la alternativa Dolores 1 debido a que en un tramo es común a la línea Dolores 2, que repercute en la capacidad de conducción de ambas alternativas.

Con respecto al suministro a la delegación Iztapalapa, es recomendable utilizar la línea Santa Lucía y Torres 4 con lo cual se tiene una cobertura de 87% y queda descartada la alternativa El Judío debido a su baja capacidad de conducción.

### ***5.2.3 Análisis Dinámico de las Líneas Primarias Actualmente en Operación***

Para realizar el análisis dinámico de las líneas primarias elegidas del análisis estático, se elaboró un modelo matemático que analiza el funcionamiento de tuberías que inician en un almacenamiento de agua, ya que de acuerdo a estudios anteriores, con respecto al funcionamiento hidráulico de las líneas de conducción pueden existir dos tipos de operación, una operación combinada de tramos con funcionamiento a superficie libre y otros a presión, correspondiendo a una operación sin válvulas o libre, por lo que el agua "escurre" al inicio de las tuberías hasta que entra en carga, obligada por el nivel del agua en los sitios de entrega. El funcionamiento como canal generalmente se presenta en todos los casos al inicio de la conducción.

En el otro tipo de operación, el conducto trabaja como tubo lleno desde el inicio utilizando la carga disponible en cada tramo, ésta carga esta dada por el desnivel existente entre dos sitios en los cuales el caudal transportado inicia y finaliza descargando a superficie libre regulado en su extremo final con una válvula. El gasto máximo que se puede transportar está en función de la carga disponible ya que es un sistema que trabaja a gravedad, éste funcionamiento es el que se debe tratar de utilizar ya que es el que obliga a elevar la línea piezométrica y a través de



la válvula instalada a la llegada se controla el gasto suministrado y se elimina la carga sobrante del tramo en estudio.

Cuando el conducto trabaja parcialmente lleno como es el caso del primer tipo de operación o funcionamiento, es decir como canal, fundamentalmente al inicio de la conducción o a la salida de los tanques o cajas rompedoras, el funcionamiento no es eficiente y debe de tratar de evitarse con un manejo de válvulas adecuado.

El análisis dinámico se efectuó para la condición actual (año 1998) y para la condición futura (año 2010), y dentro de cada condición se analizaron las variantes de funcionamiento libre (sin válvulas), funcionamiento controlado (con válvulas) y funcionamiento máximo (con válvulas). Los dos primeros funcionamientos son los mencionados anteriormente y suministran sólo el gasto requerido por el área de influencia de cada línea y el tercer funcionamiento es aprovechando al máximo la carga disponible con un funcionamiento con válvulas para suministrar agua hacia el oriente, a continuación se presenta el análisis para cada línea.

#### **5.2.3.1 Análisis Dinámico de la Línea Aeroclub. Condición Actual**

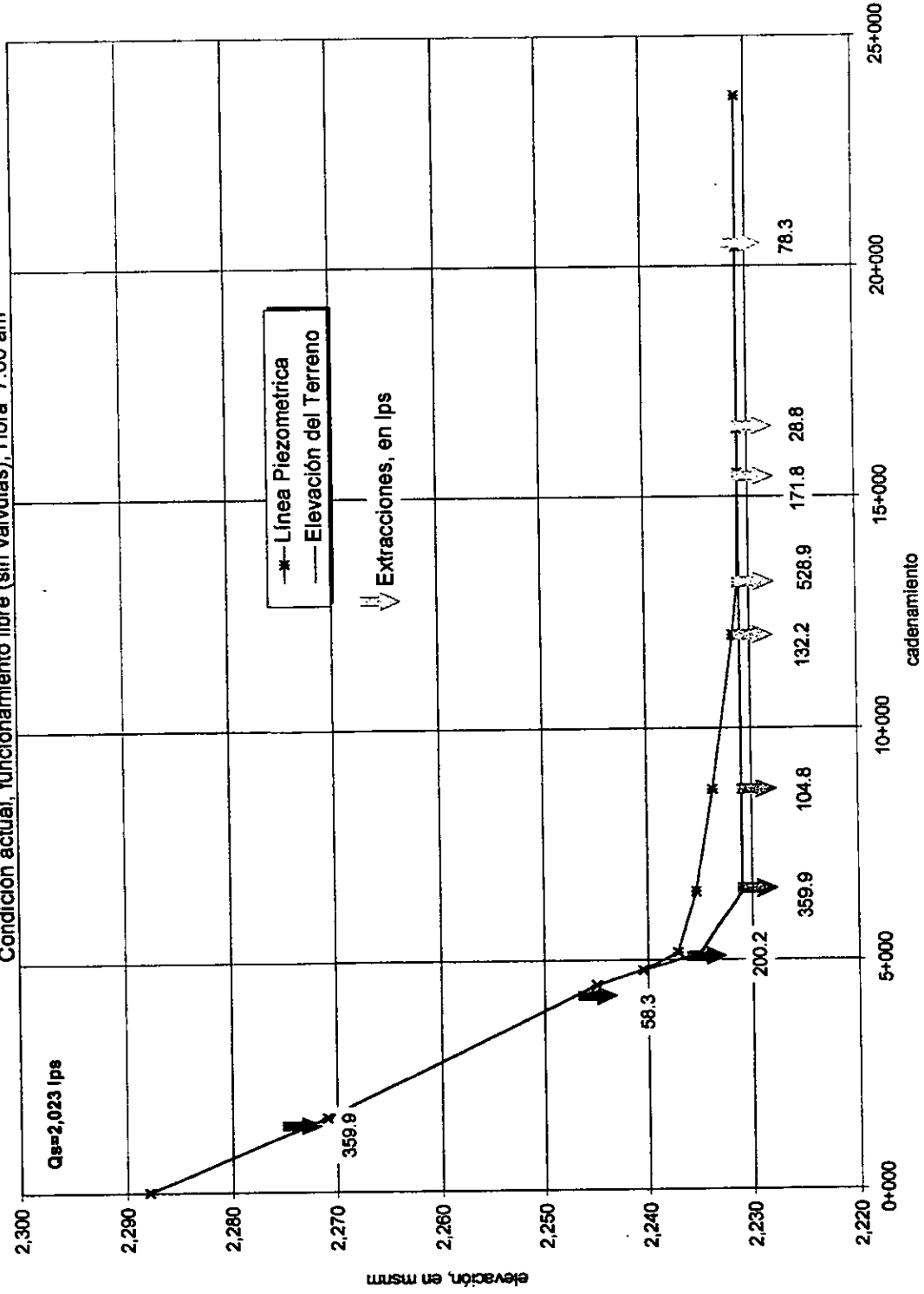
En las figuras 5.14 y 5.15 se muestra el perfil piezométrico obtenido para los funcionamientos libre y controlado respectivamente, en el primero se muestra como para las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 8.9 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a un metro en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 5,832 m. En el segundo perfil se observa la carga disponible en el extremo de la línea que tiene un mínimo de 15.12 m y un máximo de 48.9 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente en la figura 5.16 se muestra el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 260 l/s al oriente y cuenta con una carga máxima en el extremo de 41.0 m y una carga mínima de 0.83 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 46.82 m en los puntos intermedios.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

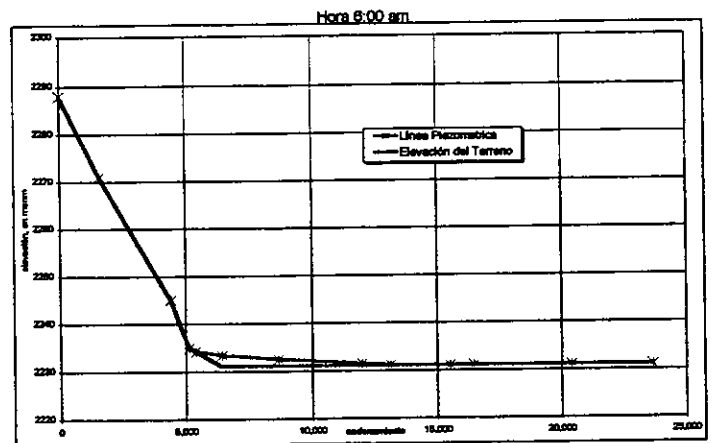
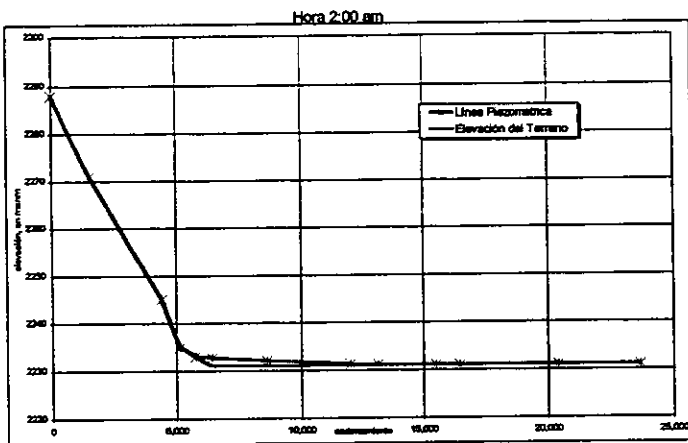
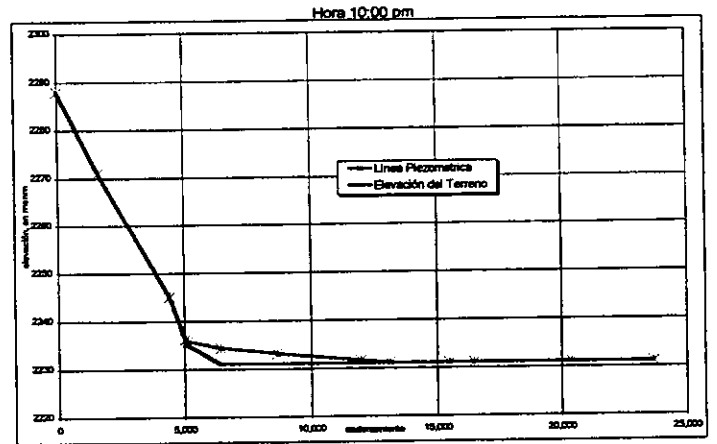
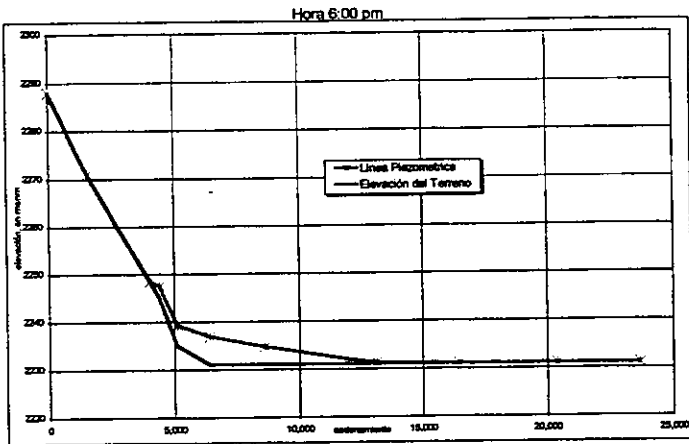
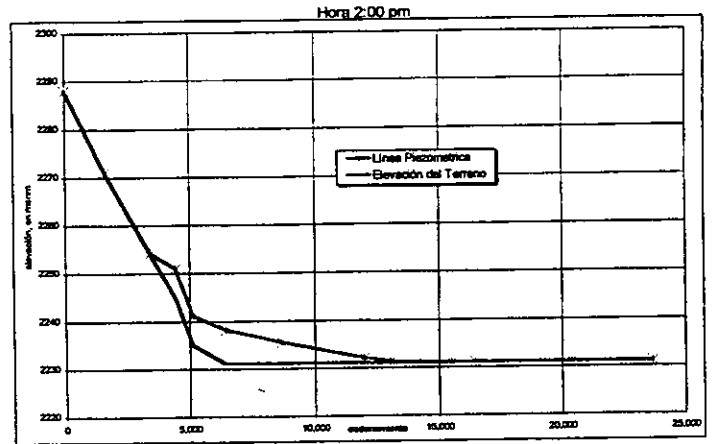
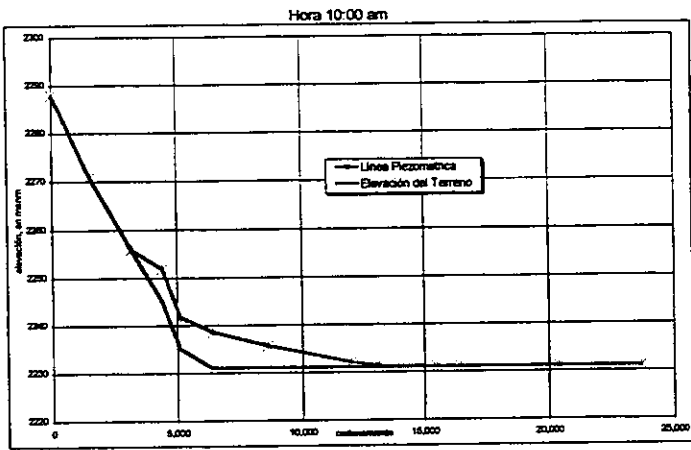
### **5.2.3.2 Análisis Dinámico de la Línea Dolores. Condición Actual**

Para las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 13.59 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a 6 metros en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 9,713 m. En el perfil piezométrico del funcionamiento controlado donde la carga disponible en el extremo de la línea tiene un mínimo de 36.28 m y un máximo de 46.38 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. En el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 730 l/s al oriente y se tiene una carga máxima en el extremo de 21.62 m y una carga mínima de 1.29 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 51.81 m en los puntos intermedios.

**Figura 5.14 Línea AEROCLUB**  
 Condición actual, funcionamiento libre (sin válvulas), Hora 7:00 am

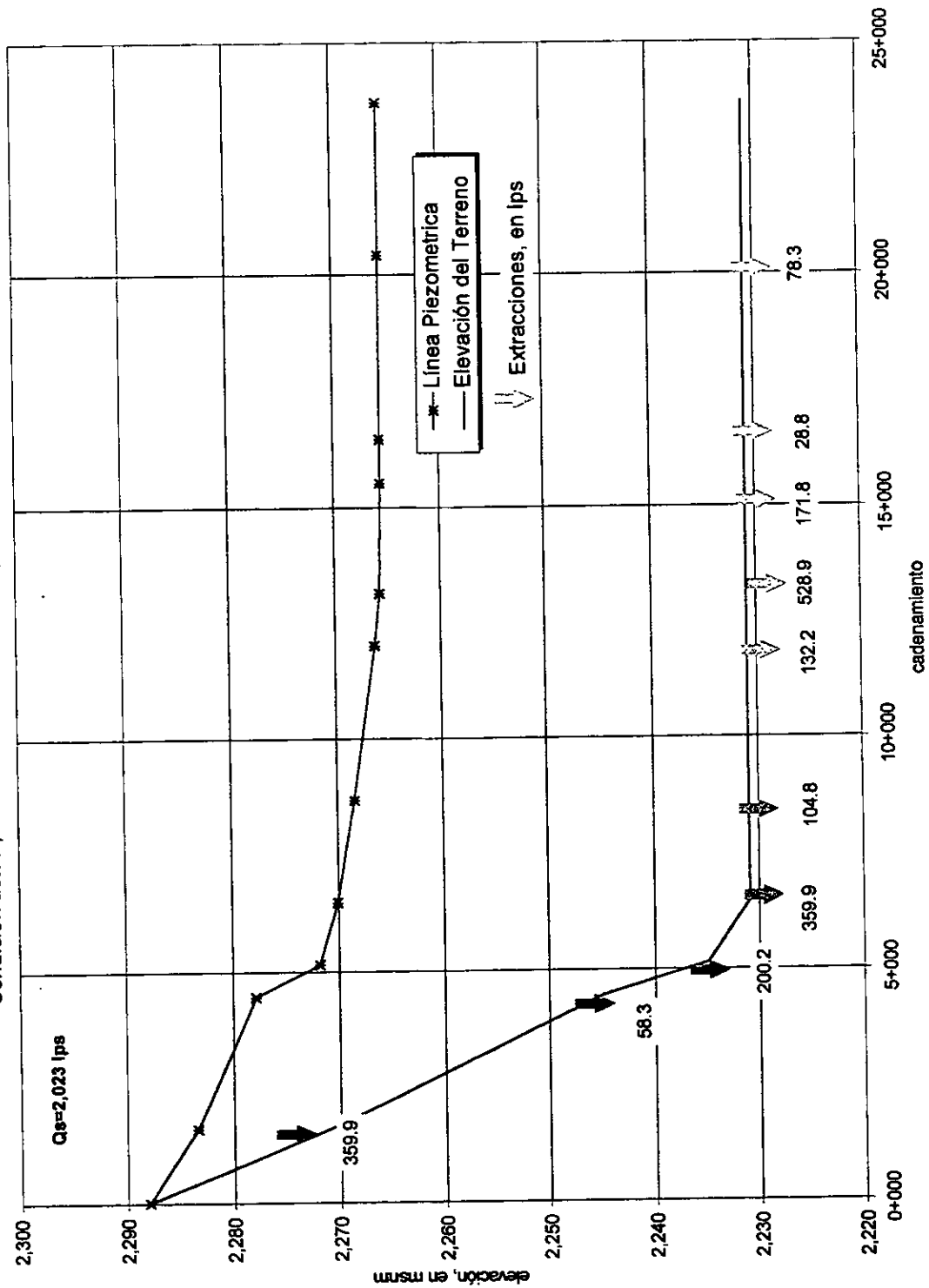


**Figura 5.14 Línea AEROCUB**  
**Condición actual, funcionamiento libre (sin válvulas)**  
**(continuación)**

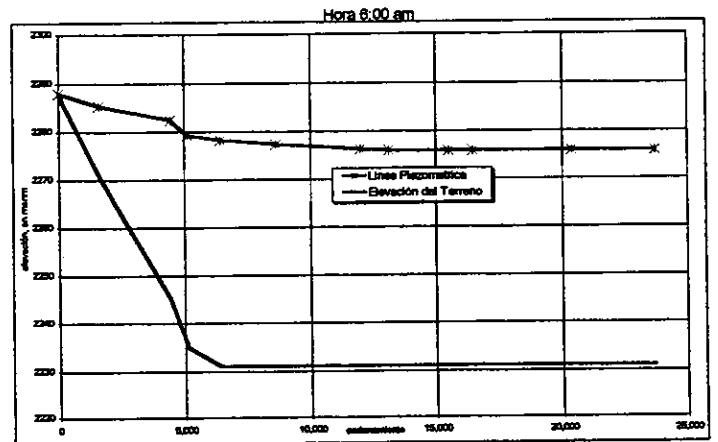
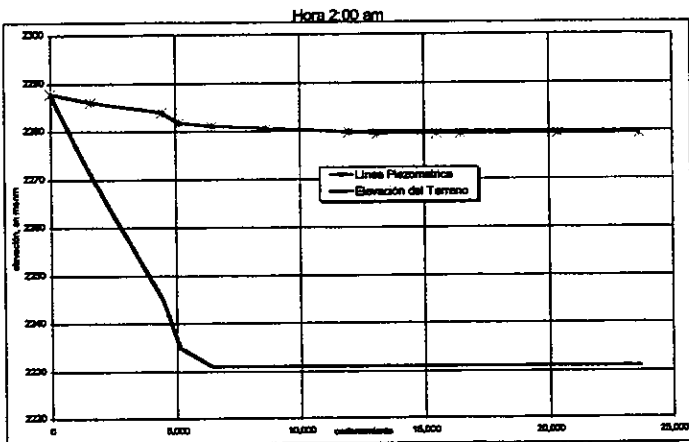
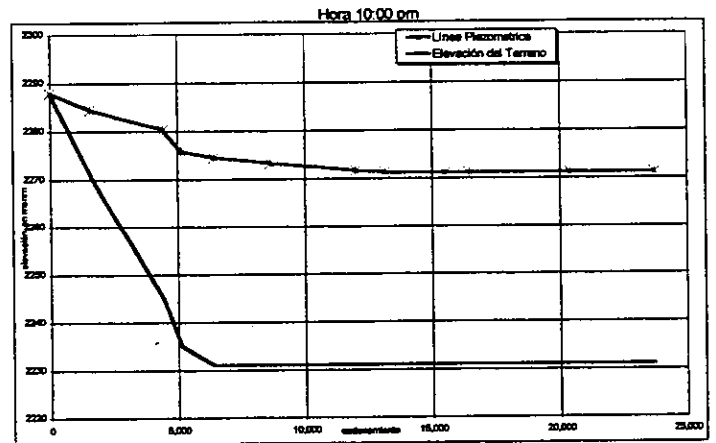
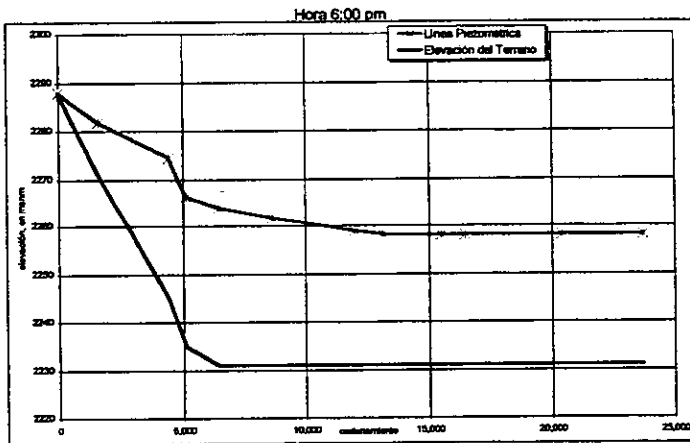
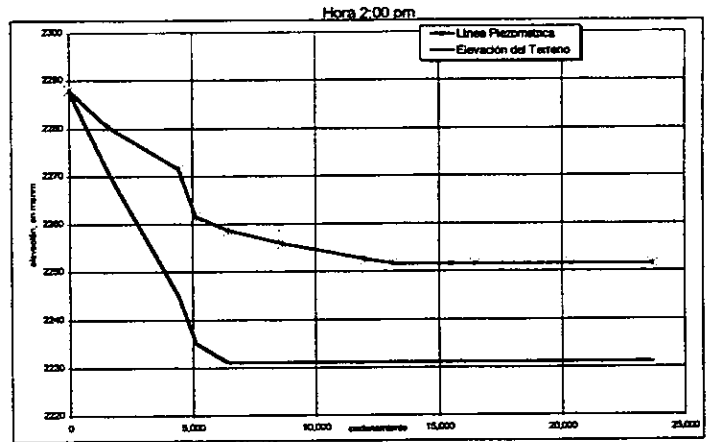
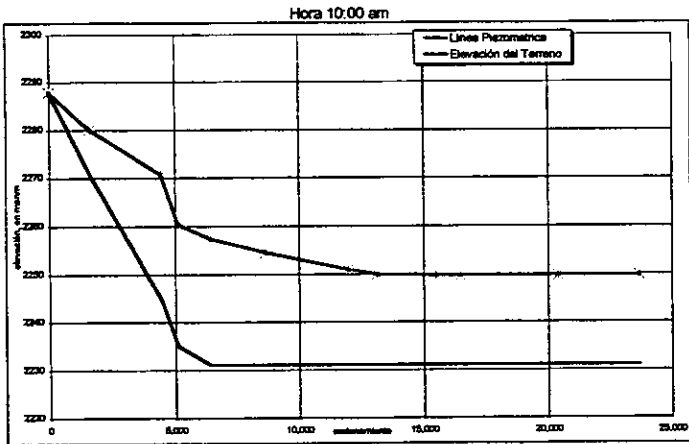


**Figura 5.15 Línea AEROCCLUS**

Condición actual, funcionamiento controlado (con válvulas), Hora 7:00 am

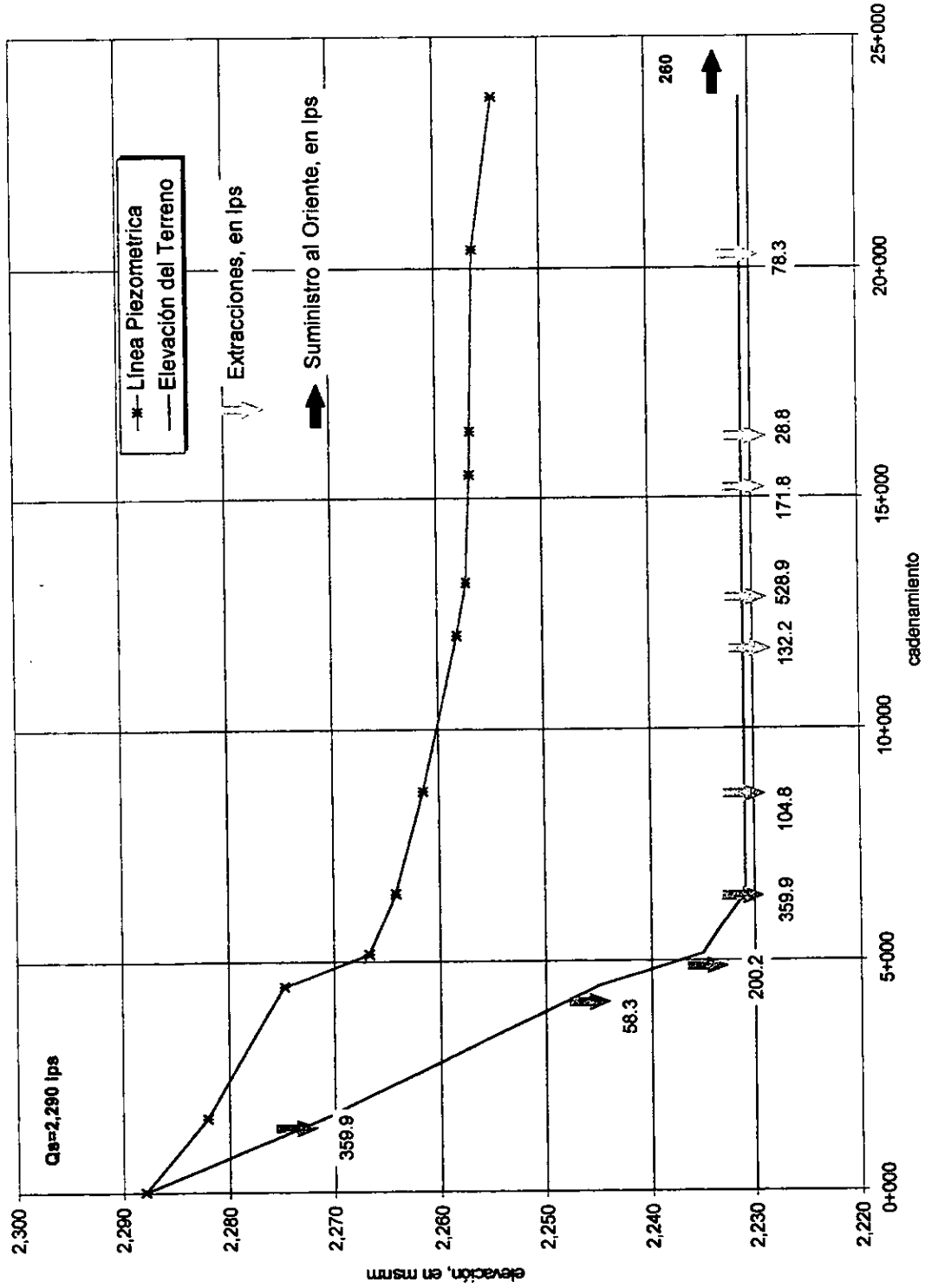


**Figura 5.15 Línea AEROCLUB**  
**Condición actual, funcionamiento controlado (con válvulas)**  
**continuación**

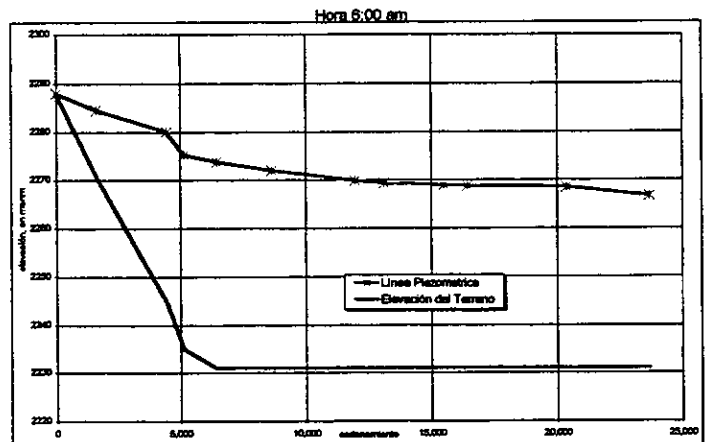
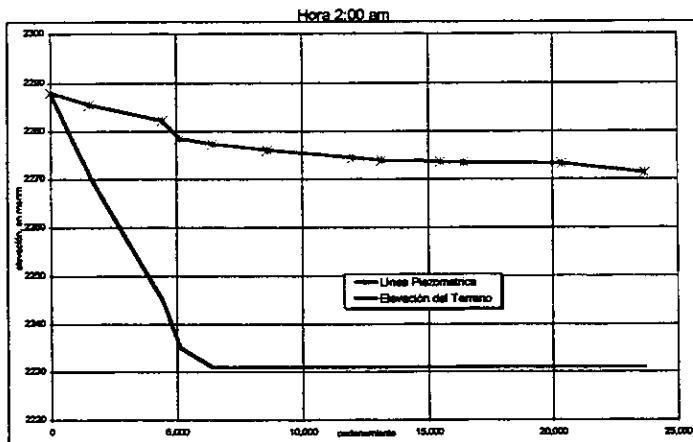
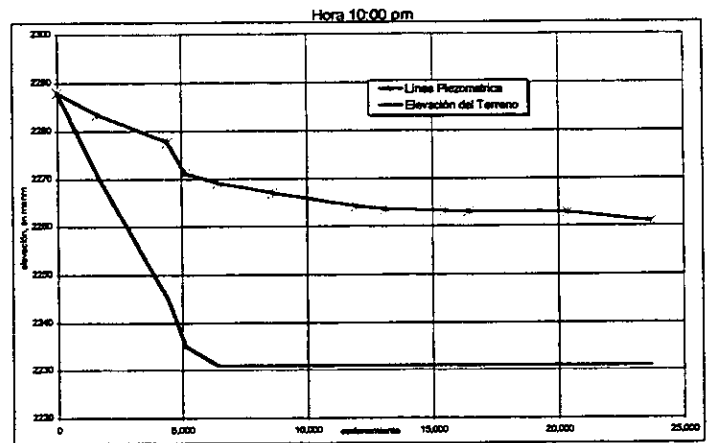
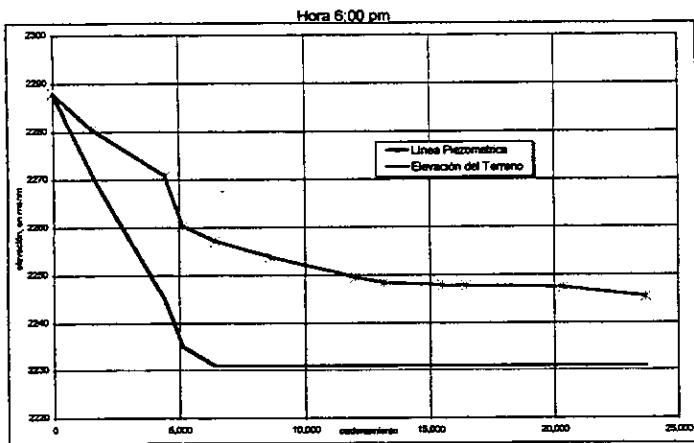
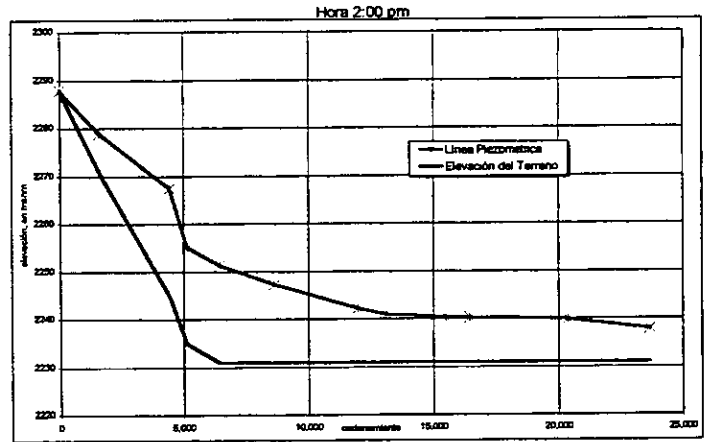
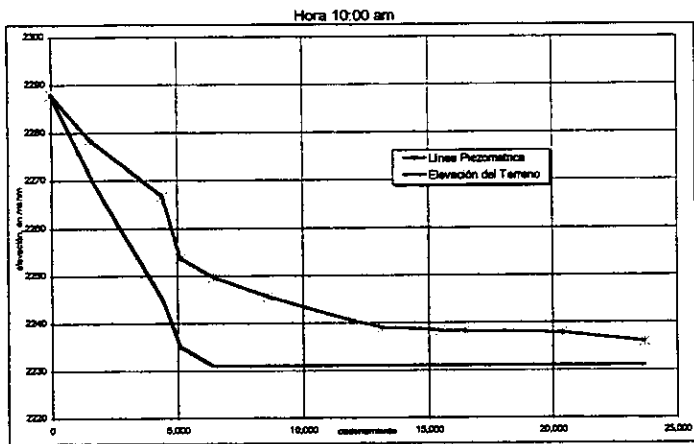


**Figura 5.16 Línea AEROCLUB**

Condición actual, funcionamiento máximo (con válvulas), Hora 7:00 am



**Figura 5.16 Línea AEROCLUB**  
**Condición actual, funcionamiento máximo (con válvulas)**  
**continuación**





### **5.2.3.3 Análisis Dinámico de la Línea San Joaquín. Condición Actual**

Para los perfiles piezométricos obtenidos para los funcionamientos libre y controlado respectivamente, en ambos funcionamientos el comportamiento es desfavorable ya que se presentan grandes pérdidas al inicio de la conducción debido al diámetro tan reducido existente lo que provoca que la línea piezométrica decaiga como se puede observar.

### **5.2.3.4 Análisis Dinámico de la Línea Santa Lucía. Condición Actual.**

En los perfiles piezométricos obtenidos para los funcionamientos libre y controlado respectivamente, en el primero, para las primeras horas analizadas, el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 11.5 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a 10 m en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 4,364 m. Para el segundo perfil la carga disponible en el extremo de la línea que tiene un mínimo de 51.92 m y un máximo de 55.22 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente, el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 2,000 l/s al oriente y cuenta con una carga máxima en el extremo de 16.64 m y una carga mínima de 4.26 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 39.60 m en los puntos intermedios.

#### **5.2.3.5 Análisis Dinámico de la Línea Torres 4. Condición Actual.**

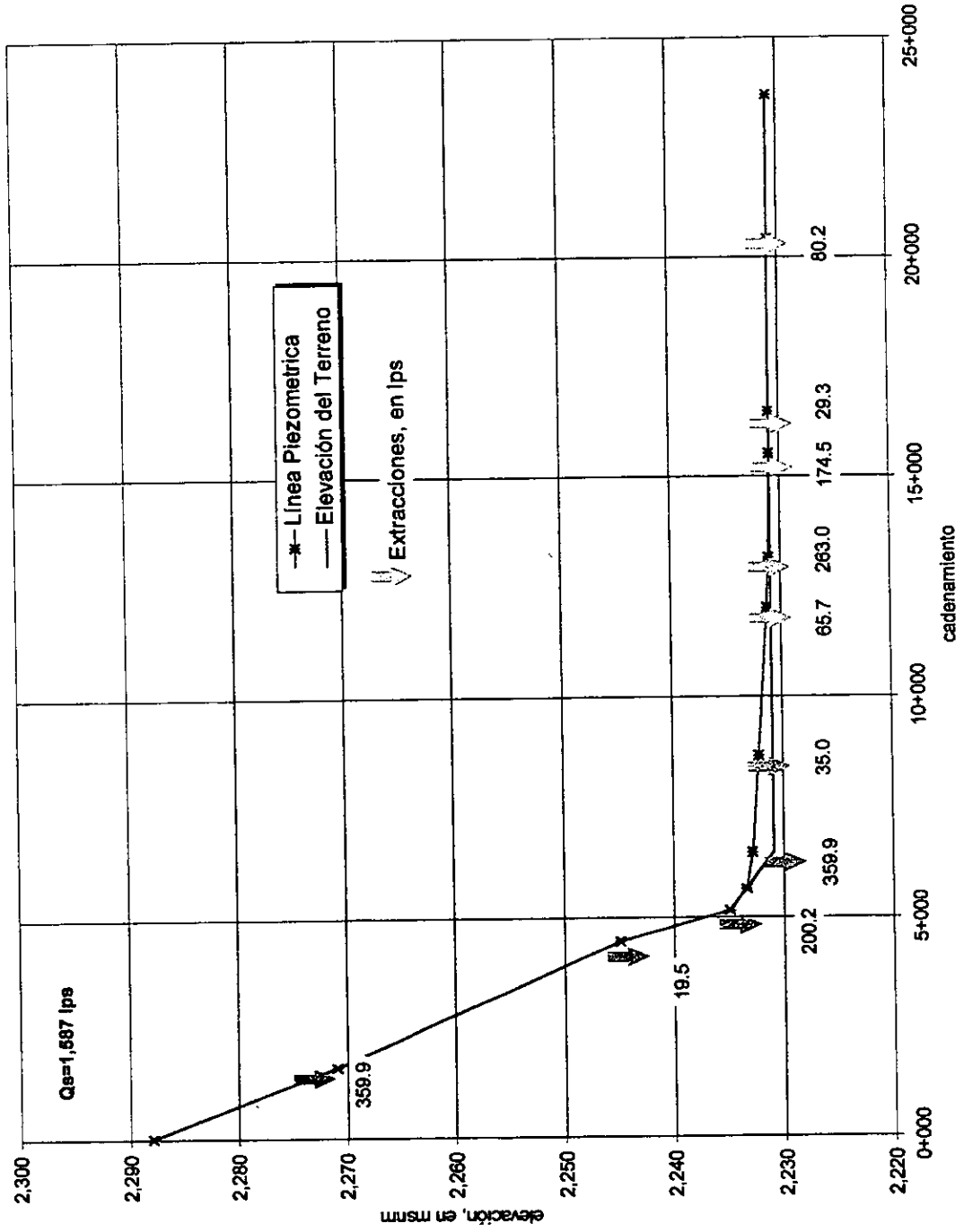
Para el perfil piezométrico obtenido para el funcionamiento libre, para las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 8.0 m y para las últimas horas se tiene una carga menor a 7 metros en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 6,054 m. El perfil piezométrico del funcionamiento controlado donde la carga disponible en el extremo de la línea tiene un mínimo de 110.15 m y un máximo de 110.84 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 580 l/s al oriente y se tiene una carga máxima en el extremo de 3.50 m y una carga mínima de 1.55 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 115.49 m en los puntos intermedios.

A continuación se hace una descripción del comportamiento de las líneas en su condición futura.

#### **5.2.3.6 Análisis Dinámico de la Línea Aeroclub. Condición Futura**

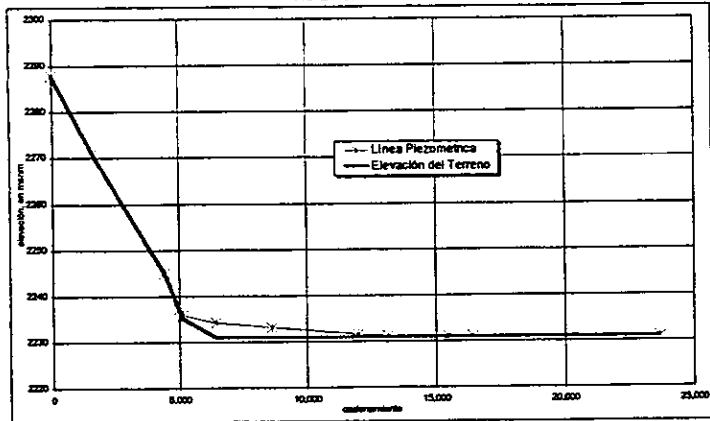
En las figuras 5.17 y 5.18 se muestra el perfil piezométrico obtenido para los funcionamientos libre y controlado respectivamente, en el primero se muestra como para las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 3.6 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a 0.50 m en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 6,203 m. En el segundo perfil se observa la carga disponible en el extremo de la línea que tiene un mínimo de 34.39 m y un máximo de 52.66 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente en la figura 5.19 se muestra el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 560 l/s al oriente y tiene una carga máxima en el extremo de 30.82 m y una carga mínima de 2.57 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 46.02 m en los puntos intermedios.

**Figura 5.17 Línea AEROCCLUS**  
 Condición futura, funcionamiento libre (sin válvulas), Hora 7:00 am

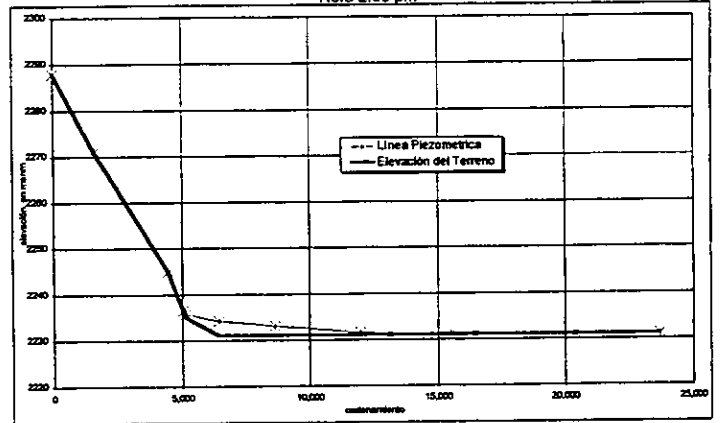


**Figura 5.17 Línea AEROCLUB**  
**Condición futura, funcionamiento libre (sin válvulas)**  
**(continuación)**

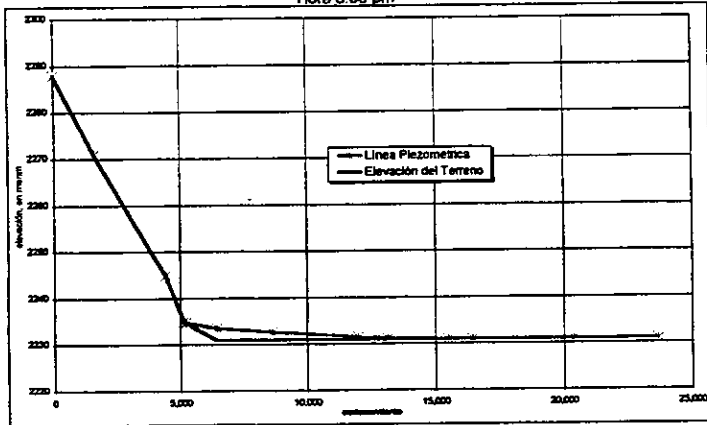
Hora 10:00 am



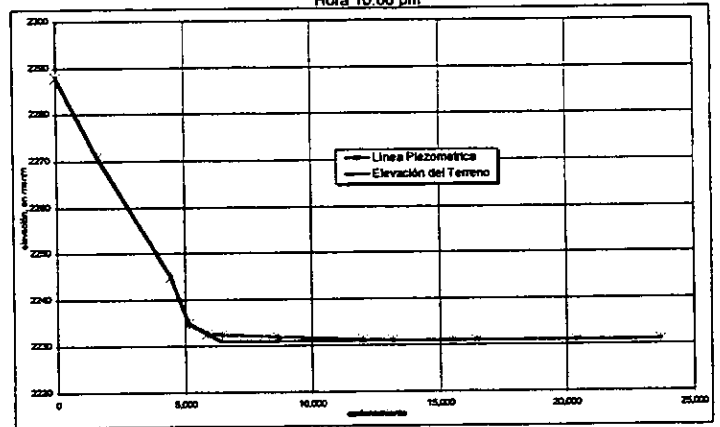
Hora 2:00 pm



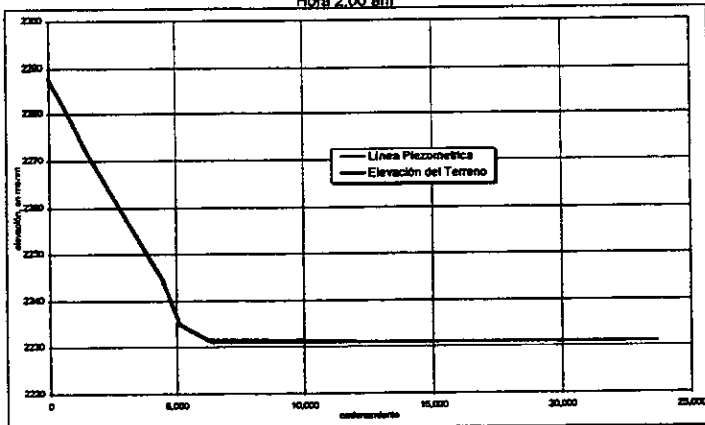
Hora 6:00 pm



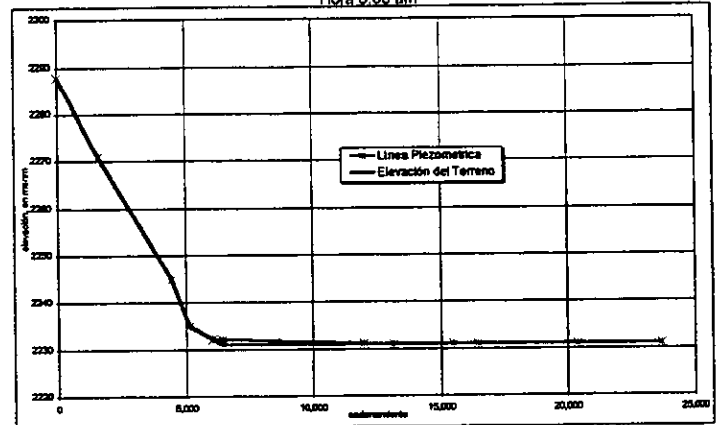
Hora 10:00 pm



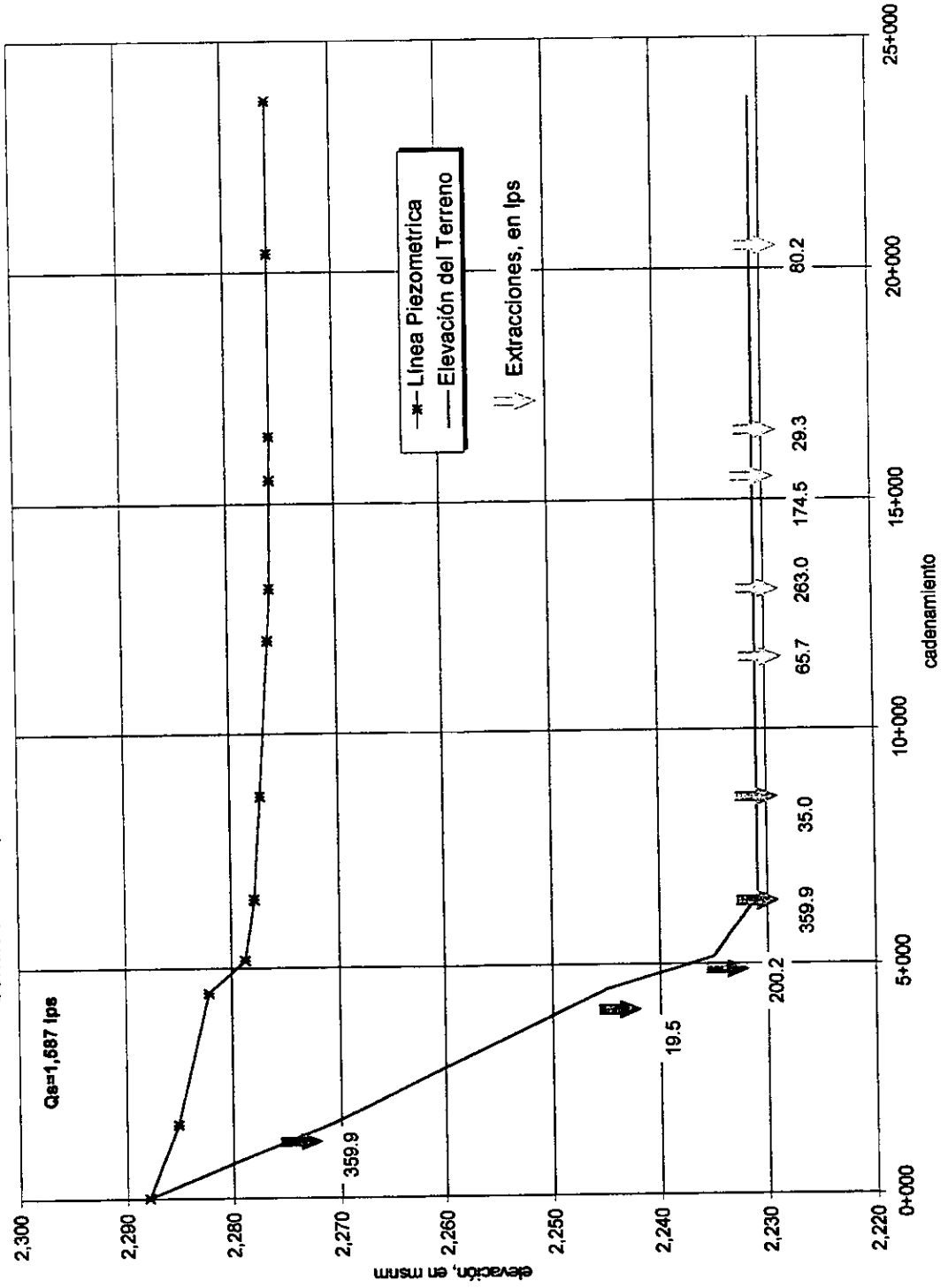
Hora 2:00 am



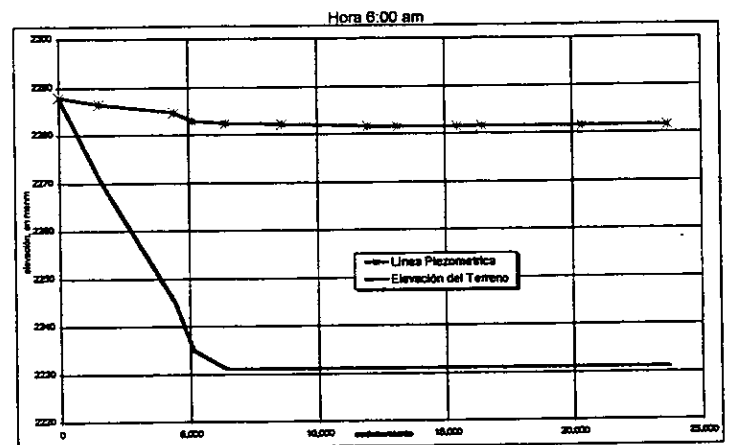
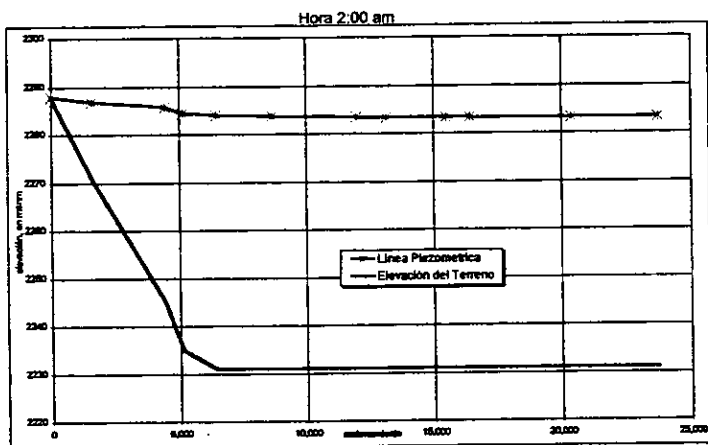
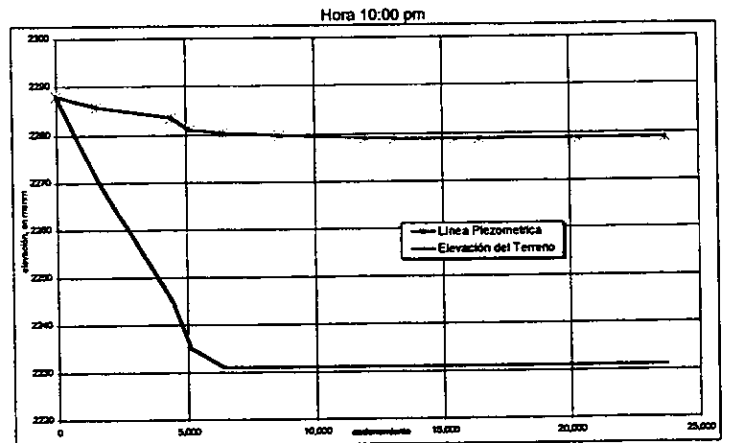
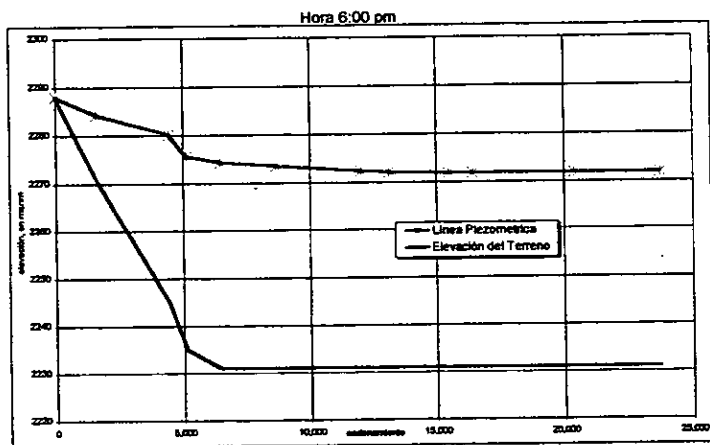
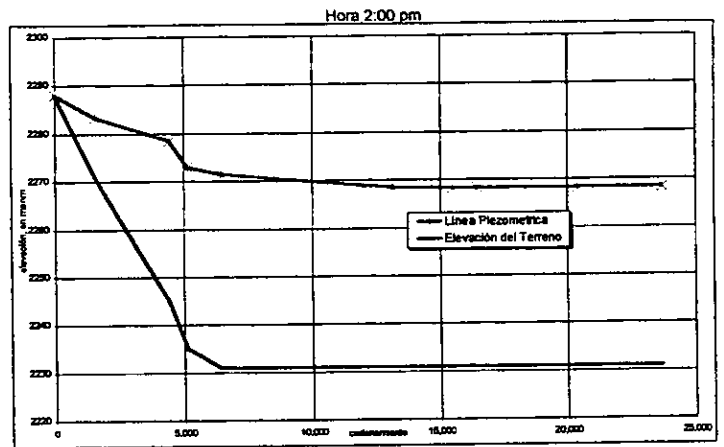
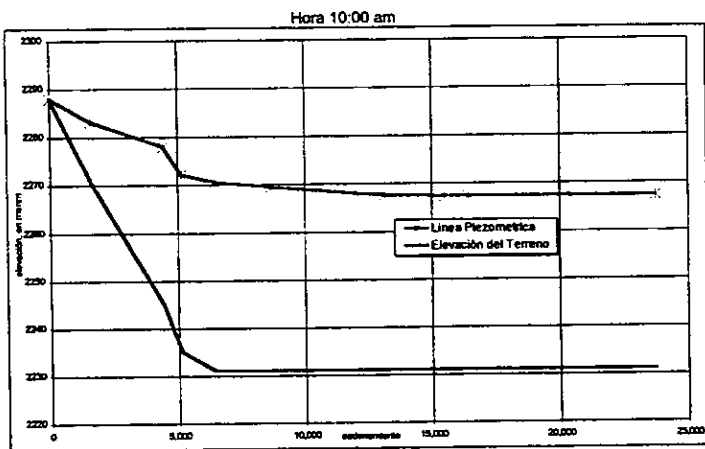
Hora 6:00 am



**Figura 5.18 Línea AEROCLUB**  
 Condición futura, funcionamiento controlado (con válvulas), Hora 7:00 am

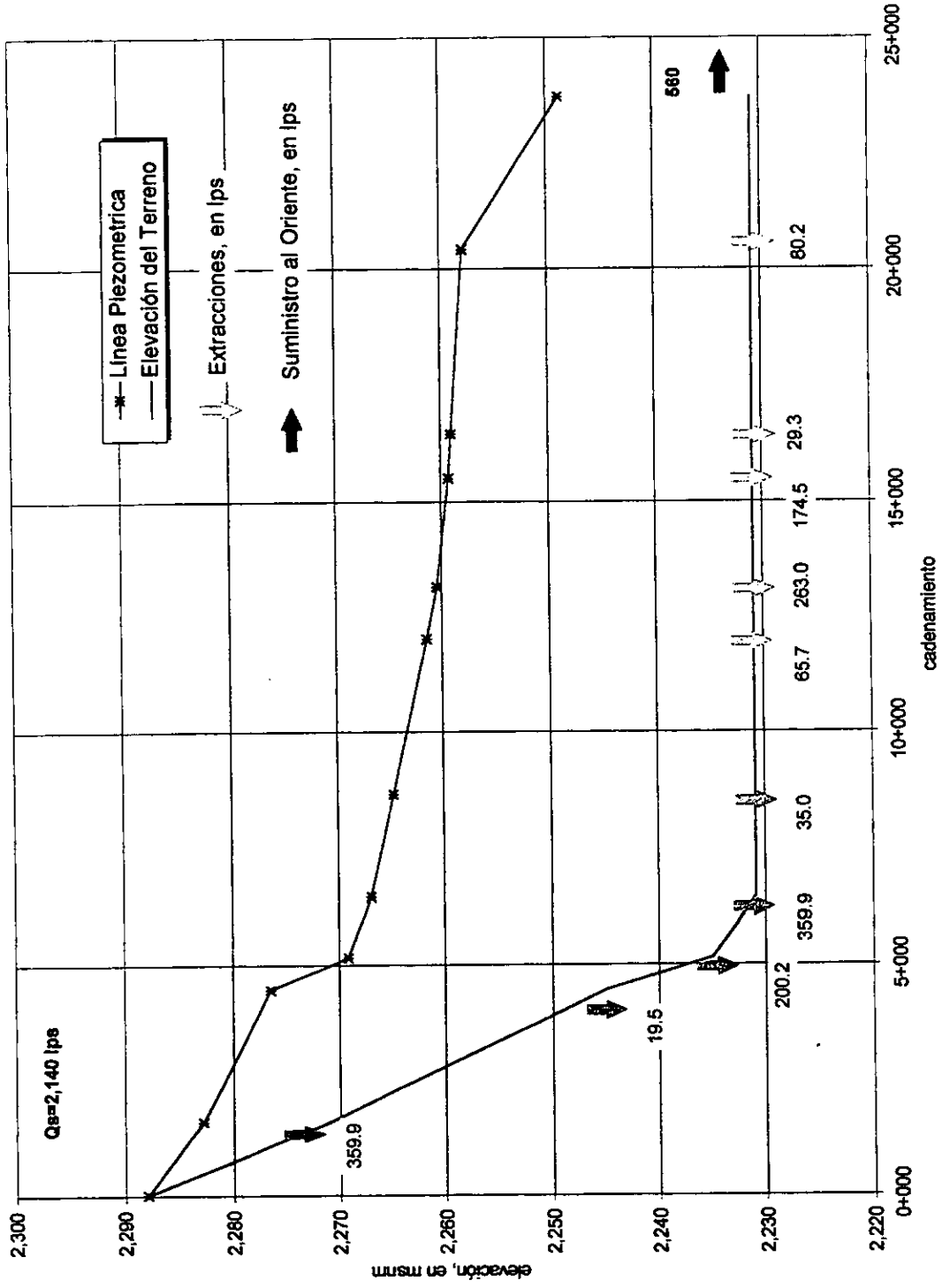


**Figura 5.18 Línea AEROCLUB**  
**Condición futura, funcionamiento controlado (con válvulas)**  
**(continuación)**



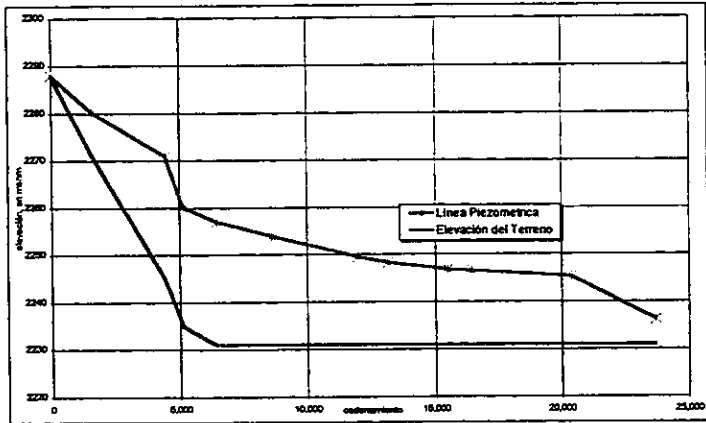
**Figura 5.19 Línea AEROCCLUB**

Condición futura, funcionamiento máximo (con válvulas), Hora 7:00 am

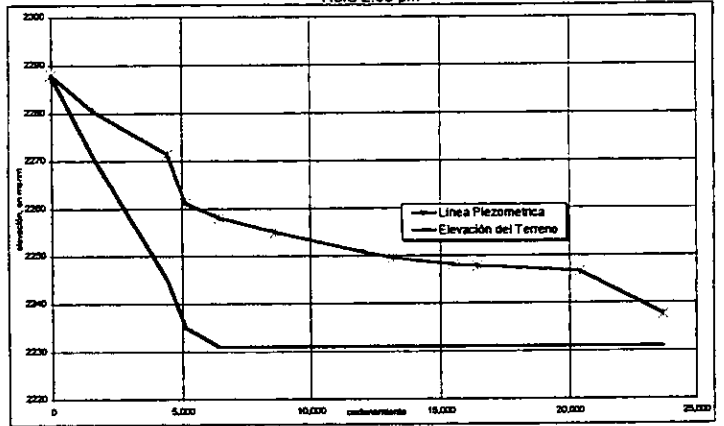


**Figura 5.19 Línea AEROCLUB**  
**Condición futura, funcionamiento máximo (con válvulas)**  
**(continuación)**

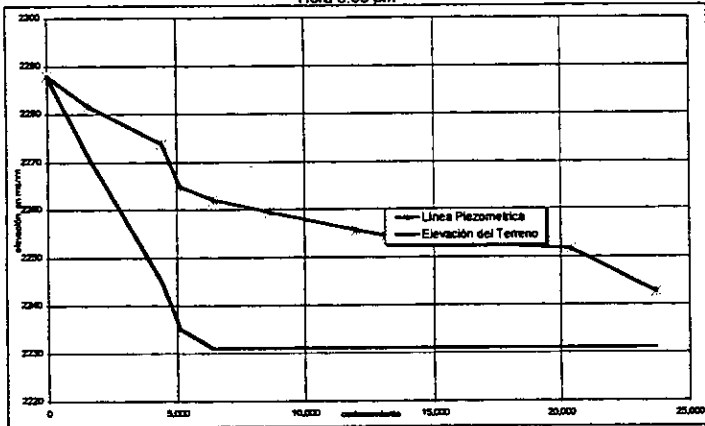
Hora 10:00 am



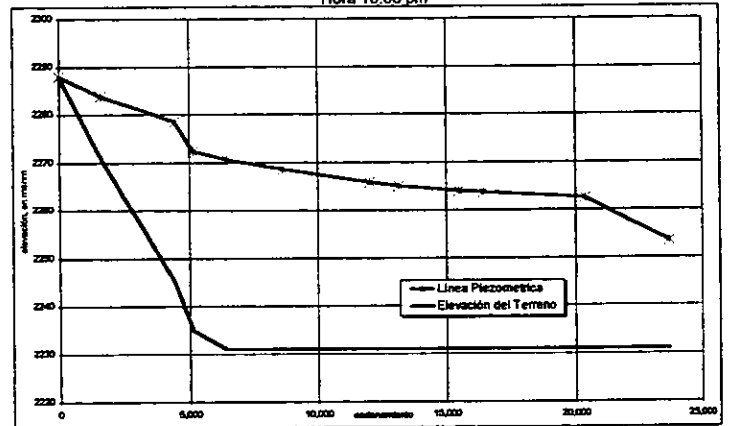
Hora 2:00 pm



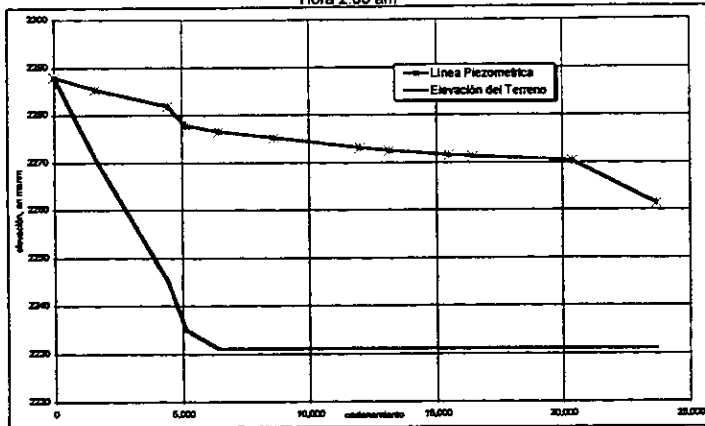
Hora 6:00 pm



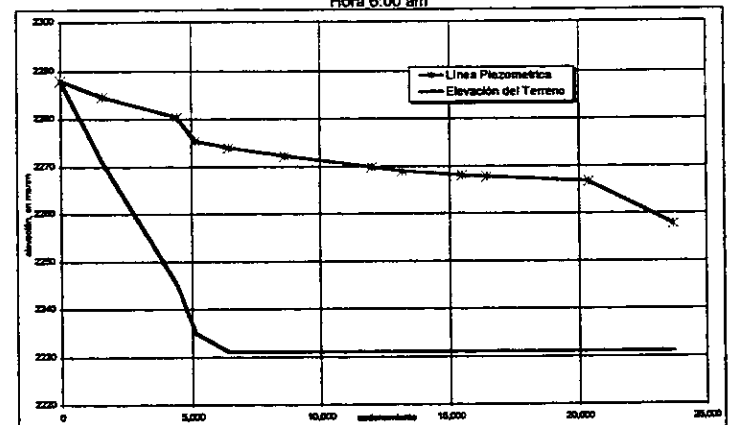
Hora 10:00 pm



Hora 2:00 am



Hora 6:00 am





### **5.2.3.7 Análisis Dinámico de la Línea Dolores. Condición Futura**

Para el perfil piezométrico obtenido para el funcionamiento libre, en las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 12.30 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a 5.5 metros en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 6,254 m. En el perfil piezométrico del funcionamiento controlado donde la carga disponible en el extremo de la línea tiene un mínimo de 41.84 m y un máximo de 47.45 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 830 l/s al oriente y se tiene una carga máxima en el extremo de 18.17 m y una carga mínima de 2.84 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 52.98 m en los puntos intermedios.

### **5.2.3.8 Análisis Dinámico de la Línea Santa Lucía. Condición Futura.**

Para el perfil piezométrico obtenido para los funcionamientos libre y controlado respectivamente, en el primero, para las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 10.5 m en el mejor de los casos y para las últimas horas se tiene una carga menor a 9.5 m en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 4,363 m. En el segundo perfil la carga disponible en el extremo de la línea que tiene un mínimo de 53.93 m y un máximo de 55.60 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 2,180 l/s al oriente y cuenta con una carga máxima en el extremo de 12.06 m y una carga mínima de 2.53 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 37.89 m en los puntos intermedios.

### **5.2.3.9 Análisis Dinámico de la Línea Torres 4. Condición Futura.**

En el perfil piezométrico obtenido para el funcionamiento libre, en las primeras horas analizadas el perfil se eleva alcanzando una carga máxima de 8.0 m y para las últimas horas se tiene una carga menor a 7 metros en el mismo punto, con una longitud que trabaja sin presión de 6,053 m. El perfil piezométrico del funcionamiento controlado donde la carga disponible en el extremo de la línea tiene un mínimo de 110.24 m y un máximo de 110.85 m, presentándose la mínima en las primeras horas de la simulación y la máxima en las últimas horas de la simulación. Finalmente el funcionamiento con el gasto máximo, donde se conducen 578 l/s al oriente y se tiene una carga máxima en el extremo de 4.24 m y una carga mínima de 2.35 m en el mismo punto, además se tiene una carga máxima de 115.51 m en los puntos intermedios.

## **5.3 MEJORAS PROPUESTAS**

### ***5.3.1 Selección de Líneas para Conducción***

Con base en los resultados obtenidos con las corridas efectuadas, se obtuvieron los resultados para cada una de las líneas analizadas en cada una de sus distintas condiciones, dichos resultados sirvieron para elegir las líneas que se consideran más viables para designarlas como Líneas Primarias.

En la primera etapa de la selección por longitud y diámetro de líneas posibles a utilizar se propusieron 7 alternativas que fueron:

- a.- Aeroclub - Churubusco
- b.- San Joaquín - Churubusco
- c.- Dolores 1 - Churubusco
- d.- Dolores 2 - Churubusco
- e.- Santa Lucía - Cerro de la Estrella

f.- Torres 4 - Cerro de la Estrella

g.- Cerro del Judío - Cerro de la Estrella

Posterior al análisis estático se desecharon 2, la línea Dolores 1-Churubusco y Cerro del Judío-Cerro de la Estrella, ya que la capacidad de conducción de las mismas era menor al 15% del requerimiento en la zona Oriente y por lo tanto se consideraron poco aptas, en esta etapa las líneas que continuaron siendo viables fueron:

a.- Aeroclub - Churubusco

b.- San Joaquín - Churubusco

d.- Dolores 2 - Churubusco

e.- Santa Lucía - Cerro de la Estrella

f.- Torres 4 - Cerro de la Estrella

Con las características de las anteriores líneas se elaboró el modelo dinámico y de acuerdo a las áreas asignadas a cada línea se determinaron los gastos intermedios que deben de suministrar a las zonas Poniente y Oriente. Una vez efectuadas las simulaciones se encontró que la línea San Joaquín-Churubusco no contaba con la suficiente capacidad, por lo cual fue desechada, finalmente las líneas restantes y que son las seleccionadas como Líneas Primarias son:

A.- Aeroclub - Churubusco

D.- Dolores 2 - Churubusco

E.- Santa Lucía - Cerro de la Estrella

F.- Torres 4 - Cerro de la Estrella

En la tabla 5.8 se muestra un resumen de los gastos que puede transportar cada línea hacia el oriente, así como el porcentaje de cobertura que representa por punto de entrega.

**Tabla 5.8. Resumen de gastos posibles de conducir a la Zona Oriente.**

**Condición Futura**

<b>Línea</b>	<b>Gasto Inicial (m³/s)</b>	<b>Gasto al Oriente (m³/s)</b>	<b>Gasto por punto de entrega (m³/s)</b>	<b>Gasto Requerido (m³/s)</b>	<b>% de cobertura</b>
Aeroclub	2.140	0.560	Churubusco		
Dolores	1.703	0.830	1.390	1.855	74.93 %
Santa Lucía	3.100	2.180	Cerro de la Estrella		
Torres 4	1.040	0.578	2.758	3.783	72.90 %
		Suma	4.148	5.638	73.57 %

Como se puede observar en la anterior tabla, el porcentaje de cobertura del gasto adicional que requerirá a futuro la zona Oriente es de 73.57%, que representa un porcentaje importante para el abastecimiento de la zona.

Sin embargo se tiene aún un déficit de 26.43% por lo cual, adicional a las alternativas planteadas anteriormente, se concibió la posibilidad de aprovechar la infraestructura del Acuaférico hasta donde se encuentra construido actualmente, motivo por el cual se han propuesto nuevas líneas que inicien de éste Sistema hacia el oriente de manera de utilizar la infraestructura que sale del tanque Primavera y de la derivación de San Francisco Tlalnepantla, utilizando o proponiendo nuevas tuberías con diámetros mayores que las existentes.

**5.3.2 Líneas Primarias futuras propuestas**

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta el abastecimiento de agua potable además de la limitación en la cantidad requerida, es la falta de carga necesaria para conducir el gasto hacia los puntos o tanques a partir de los cuales se realiza la distribución a la población, con la implementación de estas alternativas se pretende eliminar el uso del bombeo y aprovechar el desnivel existente entre las derivaciones del Acuaférico y los tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec. Es importante recalcar que con estas propuestas se conduce agua hasta los tanques mencionados.

**h) Alternativa Línea Primavera - Tanques Cerro de la Estrella.**

A través de ésta conducción se pretende suministrar agua a la delegación Iztapalapa, el trazo de la línea inicia en el tanque Primavera y es similar al de las tuberías existentes en la zona, hasta la Av. San Fernando donde prácticamente inicia la parte plana, a partir de ahí el trazo sigue por el periférico con dirección al sur hasta llegar a Canal Nacional a partir de donde sigue la dirección de ésta misma vialidad hasta llegar a la Av. Tláhuac, de éste punto el trazo se introduce por calles de la colonia Valle de Luces hasta llegar a los tanques Cerro de la Estrella. El diámetro de la línea es de 36" (0.91 m), con una longitud de 18.25 Km.

**i) Alternativa Línea San Francisco Tlalnepantla - Tanques Cerro de la Estrella.**

A través de ésta conducción se pretende de igual manera suministrar agua a la delegación Iztapalapa, la conducción inicia desde donde se encuentra construida la tercera etapa del propio Acuífero, en el poblado de San Francisco Tlalnepantla, en la delegación Xochimilco. A partir de éste punto inicia la conducción bajando por la carretera que va a Santa Cecilia, hasta llegar a la continuación de División del Norte por donde continúa el trazo hasta su intersección con el periférico, a partir de donde continúa paralelo al mismo hasta llegar a Canal Nacional, de donde continúa el trazo por ésta vialidad hasta su entronque con la Av. Tláhuac, a partir de éste punto el trazo se introduce por calles de la colonia Valle de Luces hasta llegar a los tanques Cerro de la Estrella. El diámetro es de 36" (0.91 m.), con una longitud de 19.15 Km.

**j) Alternativa Línea Primavera-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec.**

Se han planteado diversas propuestas tendientes a conducir agua a la delegación Iztapalapa, específicamente a los tanques Cerro de la Estrella que son punto fundamental para la distribución a un amplio sector de la población de la delegación, adicionalmente en ésta propuesta se pretende conducir agua hasta el tanque Xaltepec, también punto estratégico para la distribución en la delegación.

La alternativa de éste análisis es similar a la del inciso "h", con la diferencia que ésta tiene una derivación a partir del Km. 12.3, en el punto de intersección de Periférico con Canal Nacional, a partir de este sitio se inicia una derivación que continúa por el Periférico hasta el Canal de Chalco, donde se pretende unir con la tubería existente de diámetro similar que conduce el gasto proveniente de la batería de pozos de la zona hasta el tanque Xaltepec. El diámetro de la nueva derivación es de 36" (0.91 m.) y cuenta con una longitud de 1.95 Km.

k) Alternativa Línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec.

En ésta alternativa se maneja el mismo principio que en la anterior, suministrarle también al tanque Xaltepec, con trazo igual a la del inciso "i" que inicia en San Francisco Tlalnepantla, siendo la derivación en la intersección de Periférico con Canal Nacional, a partir de donde la derivación llega hasta Canal de Chalco, donde se une con la línea de los pozos del mismo canal y llega hasta el tanque Xaltepec. El diámetro de la nueva derivación es de 36" (0.91 m.) y tiene una longitud de 1.95 Km.

### *5.3.3 Análisis hidráulico de las líneas primarias de proyecto*

El análisis de las líneas futuras propuestas se efectuó solo de manera estática haciéndose la consideración de que el gasto que se suministra al inicio es el mismo que se transporta hasta el destino final, entonces estas línea no tendrían extracciones o derivaciones a lo largo de su trayecto y en un principio servirían para reforzar el abasto a la delegación Iztapalapa, principalmente por dos razones: es la delegación que requerirá mas agua a futuro y se encuentra localizada cerca de los puntos mencionados.

#### **5.3.3.1 Análisis de la línea Primavera-Canal Nacional-Tanque Cerro de la Estrella**

Los resultados se muestran en la tabla 5.9 y en la figura 5.20, de donde se ve que es posible manejar 2.57 m<sup>3</sup>/s, que representan el 68% de los requerimientos,

porcentaje muy similar a la anterior alternativa, con la diferencia de que la longitud y las posibles molestias son menores en ésta alternativa.

### **5.3.3.2 Análisis de la línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanque Cerro de la Estrella**

El diámetro de igual forma es de 36" (0.91 m.), con una longitud de 19.15 Km., de donde se pueden conducir 2.42 m<sup>3</sup>/s hasta los tanques Cerro de la Estrella que representan el 64% de la demanda, como se tiene en la tabla 5.10 y en la figura 5.21.

### **5.3.3.3 Análisis de la línea Primavera-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec**

Los gastos que se le consideraron suministrar a cada tanque fueron de 2/3 para Cerro de la Estrella y 1/3 para Xaltepec, de acuerdo a su importancia. Con estas condiciones el gasto manejado es de 2.84 m<sup>3</sup>/s que representan el 75% de la demanda, enviándose para los tanques Cerro de la Estrella 1.89 m<sup>3</sup>/s y para el tanque Xaltepec 0.95 m<sup>3</sup>/s, que representan un porcentaje de suministro alto, el cálculo se tiene en la tabla 5.11 y se muestra en la figura 5.22.

### **5.3.3.4 Análisis de la línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec**

Con ésta alternativa se abastece el 70% de la demanda, siendo para los tanques Cerro de la Estrella 1.76 m<sup>3</sup>/s y para el tanque Xaltepec 0.883 m<sup>3</sup>/s, que representa un gasto ligeramente menor al de la anterior alternativa, el cálculo se tiene en la tabla 5.12 y se observa en la figura 5.23.

Con las anteriores alternativas se complementa el análisis de las posibles rutas que se pueden manejar para el abastecimiento de la zona oriente del D.F., siendo las más atractivas la Línea Primavera-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec y la Línea San Francisco Tlalnepantla-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec, las que abastecen de manera independiente a casi

¾ partes de la demanda de la delegación Iztapalapa, el criterio de elección entre ambas alternativas está en la magnitud que puede manejar cada línea, así como la longitud total de la misma, siendo en tal caso la elección por la primera, que es la Línea Primavera-Canal Nacional-Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec, además que su inicio está en una cota mas alta que la de San Francisco Tlalnepantla que favorece manejar mas caudal, la ventaja de la segunda estriba en que su trazo al inicio es por zonas con menor densidad de población.

**Tabla 5.9 Línea Primavera-Tanque Cerro de la Estrella (36")**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Tramo	Elevación sitio (m)	n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Gasto suministrado = 2.569		Elev inicial = 2590.0			
					Q demandado por sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q suministrado al sitio (m <sup>3</sup> /s)	Q Tubo (m <sup>3</sup> /s)	Pérdida (m)	Elev. Plaz (m)	Carga (m)
Primavera-Av. Insurgentes	2290.00	0.012	4,300	0.91	0.000	0.000	2.569	69.543	2520.46	230.46
Av. Insurgentes-San Fernando	2260.00	0.012	1,150	0.91	0.000	0.000	2.569	18.599	2501.86	241.86
Sn Fernando-Periférico	2250.00	0.012	2,500	0.91	0.000	0.000	2.569	40.432	2461.43	211.43
Periférico-Canal Nacional	2235.00	0.012	4,350	0.91	0.000	0.000	2.569	70.352	2391.07	156.07
Canal Nacional-Tlahuac	2235.00	0.012	3,200	0.91	0.000	0.000	2.569	51.753	2339.32	104.32
Tlahuac-Cerro de la Estrella	2293.30	0.012	2,750	0.91	3.783	2.569	2.569	44.475	2294.85	1.55
			18,250							



**Tabla 5.10 Línea Sn. Fco. Tlalnepantla- Tanque Cerro de la Estrella (36")**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 64%		Gasto suministrado = 2.421					Elev inicial = 2570.0			
Tramo	Elevación	n	Longitud	Diámetro	Q	Q	Q Tubo	Pérdida	Elev. Piez.	Carga
	sitio				por sitio	al sitio				
	(m)		(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
Sn Fco. Tlane-Carr. Topilejo	2370.00	0.012	3,250	0.91	0.000	0.000	2.421	46.697	2523.30	153.30
Carr. Topilejo-Camino Real	2250.00	0.012	1,850	0.91	0.000	0.000	2.421	26.581	2496.72	246.72
Cam. Real-Div. del Norte	2245.00	0.012	2,050	0.91	0.000	0.000	2.421	29.455	2467.27	222.27
Div. del Norte-Periférico	2247.00	0.012	3,450	0.91	0.000	0.000	2.421	49.571	2417.70	170.70
Periférico-Canal Nacional	2235.00	0.012	2,600	0.91	0.000	0.000	2.421	37.358	2380.34	145.34
Canal Nacional-Tlahuac	2235.00	0.012	3,200	0.91	0.000	0.000	2.421	45.979	2334.36	99.36
Tlahuac-Cerro de la Estrella	2293.30	0.012	2,750	0.91	3.783	2.421	2.421	39.513	2294.85	1.55
			19,150							

**Tabla 5.11 Línea Primavera-Tanque Cerro de la Estrella (36")**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 75%		Gasto suministrado = 2.837					Elev inicial = 2590.0			
Tramo	Elevación	n	Longitud	Diámetro	Q	Q	Q Tubo	Pérdida	Elev. Piez.	Carga
	sitio				por sitio	al sitio				
	(m)		(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)
T Primavera-Av. Insurgentes	2290.00	0.012	4,300	0.91	0.000	0.000	2.837	84.847	2505.15	215.15
Av. Insurgentes-San Fernando	2260.00	0.012	1,150	0.91	0.000	0.000	2.837	22.692	2482.46	222.46
Sn Fernando-Periférico	2250.00	0.012	2,500	0.91	0.000	0.000	2.837	49.330	2433.13	183.13
Periférico-Canal Nacional	2235.00	0.012	4,350	0.91	0.000	0.000	2.837	85.834	2347.30	112.30
			12,300							
Canal Nacional-Tlahuac	2245.00	0.012	3,200	0.91	0.000	0.000	1.892	28.063	2319.23	74.23
Tlahuac-T Cerro de la Estrella	2293.30	0.012	2,750	0.91	2.522	1.892	1.892	24.117	2295.12	1.82
			5,950							
Canal Nacional-Canal Chalco	2235.00	0.012	1,950	1.91	0.000	0.000	0.946	0.082	2347.22	112.22
Canal Chalco-Av. Tlahuac	2245.00	0.012	2,700	2.91	0.000	0.000	0.946	0.012	2347.20	102.20
Av. Tlahuac-T. Xaltepec	2290.00	0.012	5,950	3.91	1.261	0.946	0.946	0.005	2347.20	57.20
			10,600							

**Tabla 5.12 Línea Sn. Fco. Tlalnepantla- Tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec (36")**

Funcionamiento Hidráulico (Año 2010)

Porcentaje de Gasto Suministrado 70%		Gasto suministrado = 2.648					Elev inicial = 2570.0			
Gasto Total Demandado 3.783		n	Longitud (m)	Diámetro (m)	Q	Q	Q Tubo (m³/s)	Pérdida (m)	Elev. Piez. (m)	Carga (m)
Tramo	Elevación sitio (m)				por sitio (m³/s)	suministrado al sitio (m³/s)				
Sn Fco. Tlane-Carr. Topilejo	2370.00	0.012	3,250	0.91	0.000	0.000	2.648	55.863	2514.14	144.14
Carr. Topilejo-Camino Real	2250.00	0.012	1,850	0.91	0.000	0.000	2.648	31.799	2482.34	232.34
Cam. Real-Div. del Norte	2245.00	0.012	2,050	0.91	0.000	0.000	2.648	35.237	2447.10	202.10
Div. del Norte-Periférico	2247.00	0.012	3,450	0.91	0.000	0.000	2.648	59.301	2387.80	140.80
Periférico-Canal Nacional	2235.00	0.012	2,600	0.91	0.000	0.000	2.648	44.691	2343.11	108.11
			13,200							
Canal Nacional-Tlahuac	2245.00	0.012	3,200	0.91	0.000	0.000	1.765	24.446	2318.66	73.66
Tlahuac-T Cerro de la Estrella	2293.30	0.012	2,750	0.91	2.522	1.765	1.765	21.008	2297.66	4.36
			5,950							
Canal Nacional-Canal Chalco	2235.00	0.012	1,950	0.91	0.000	0.000	0.883	3.724	2339.39	104.39
Canal Chalco-Av. Tlahuac	2245.00	0.012	2,700	0.91	0.000	0.000	0.883	5.157	2334.23	89.23
Av. Tlahuac-T. Xaltepec	2290.00	0.012	5,950	0.91	1.261	0.883	0.883	11.364	2322.87	32.87
			10,600							

Figura 5.20 Línea Primavera-Cerro de la Estrella ( $\phi=36''$ )

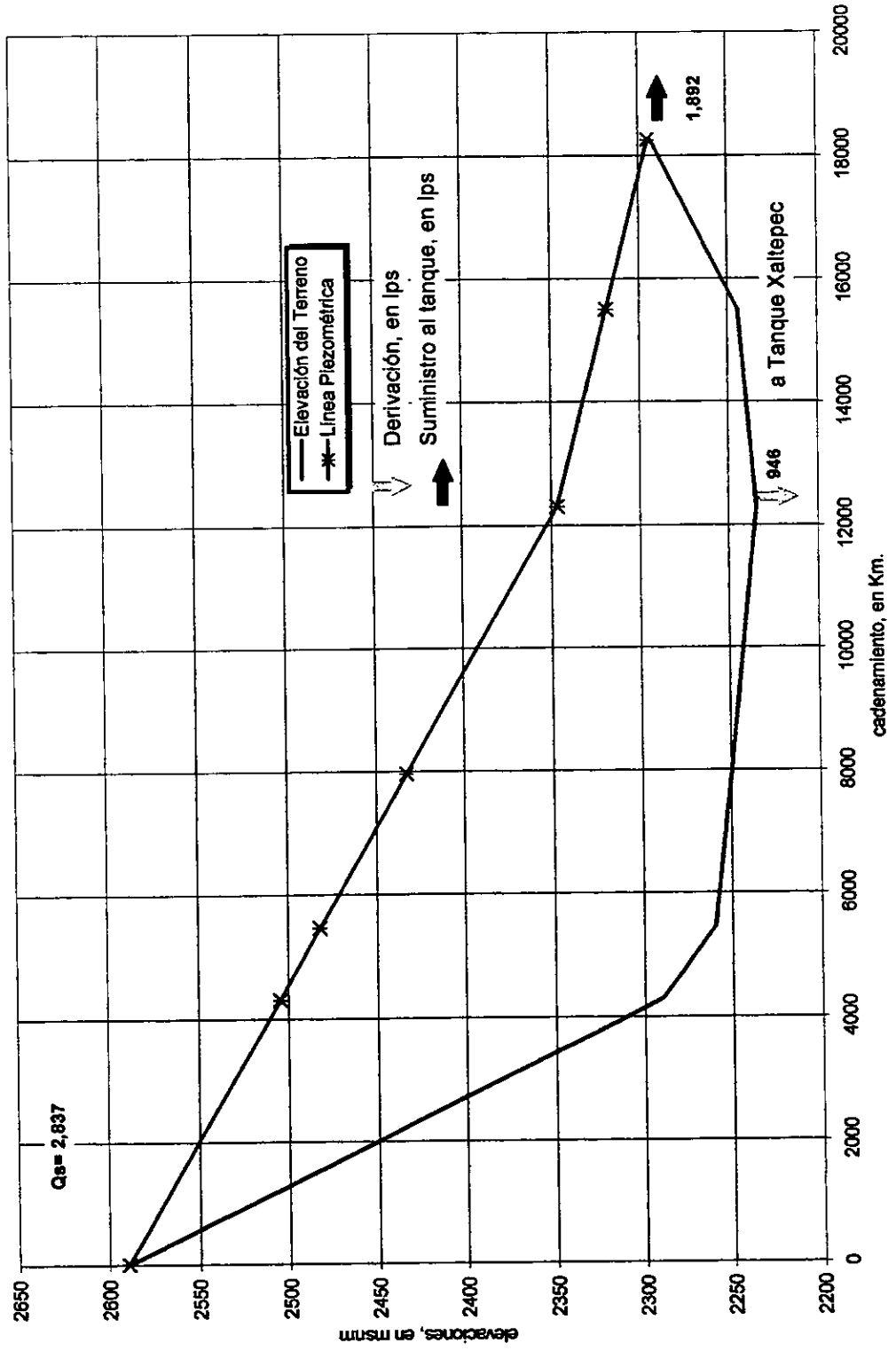


Figura 5.21 Línea Primavera-Xaltepec ( $\phi=36''$ )

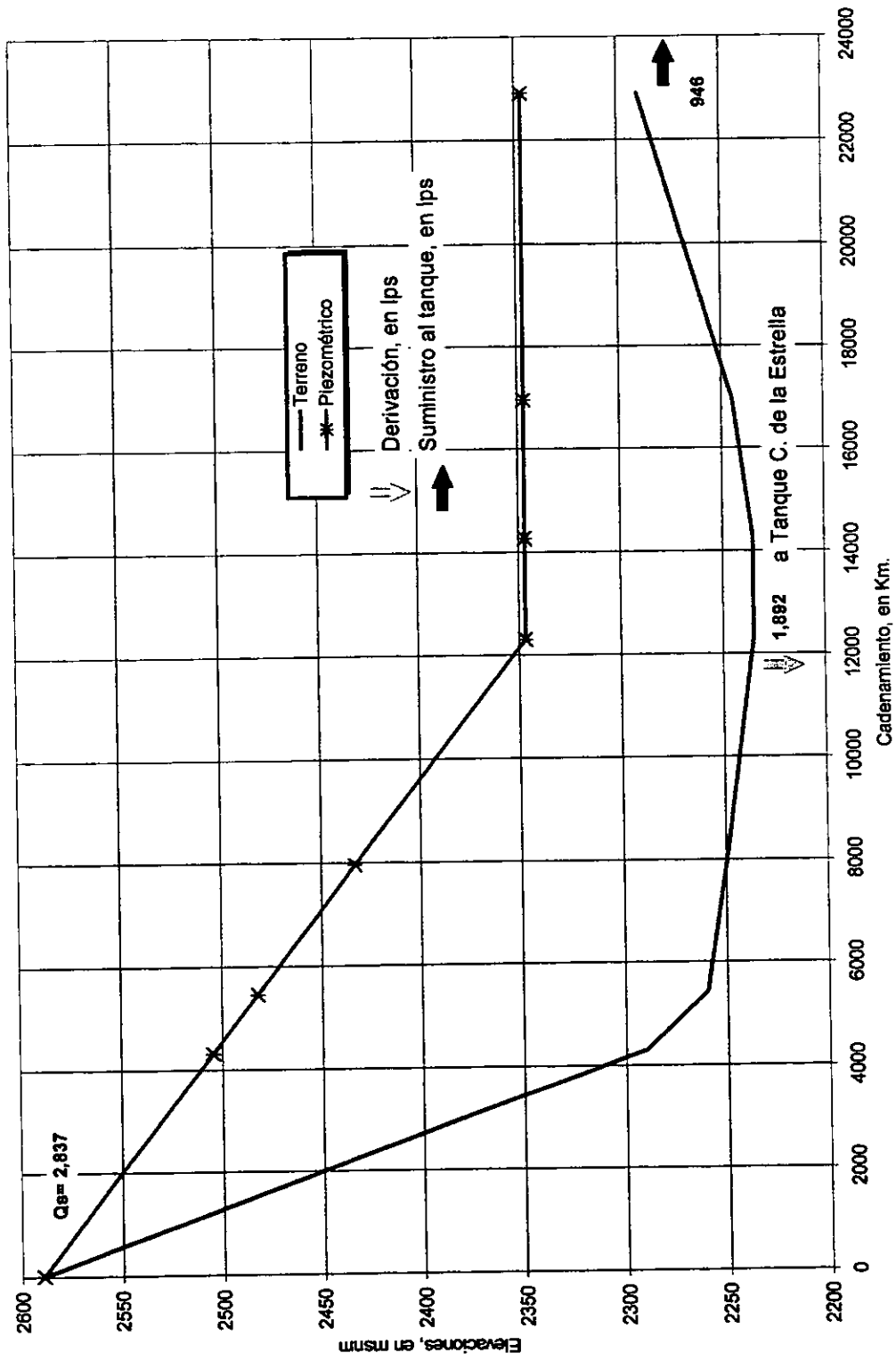


Figura 5.22 Línea San Francisco Tlalnepantla-Cerro de la Estrella ( $\phi=36''$ )

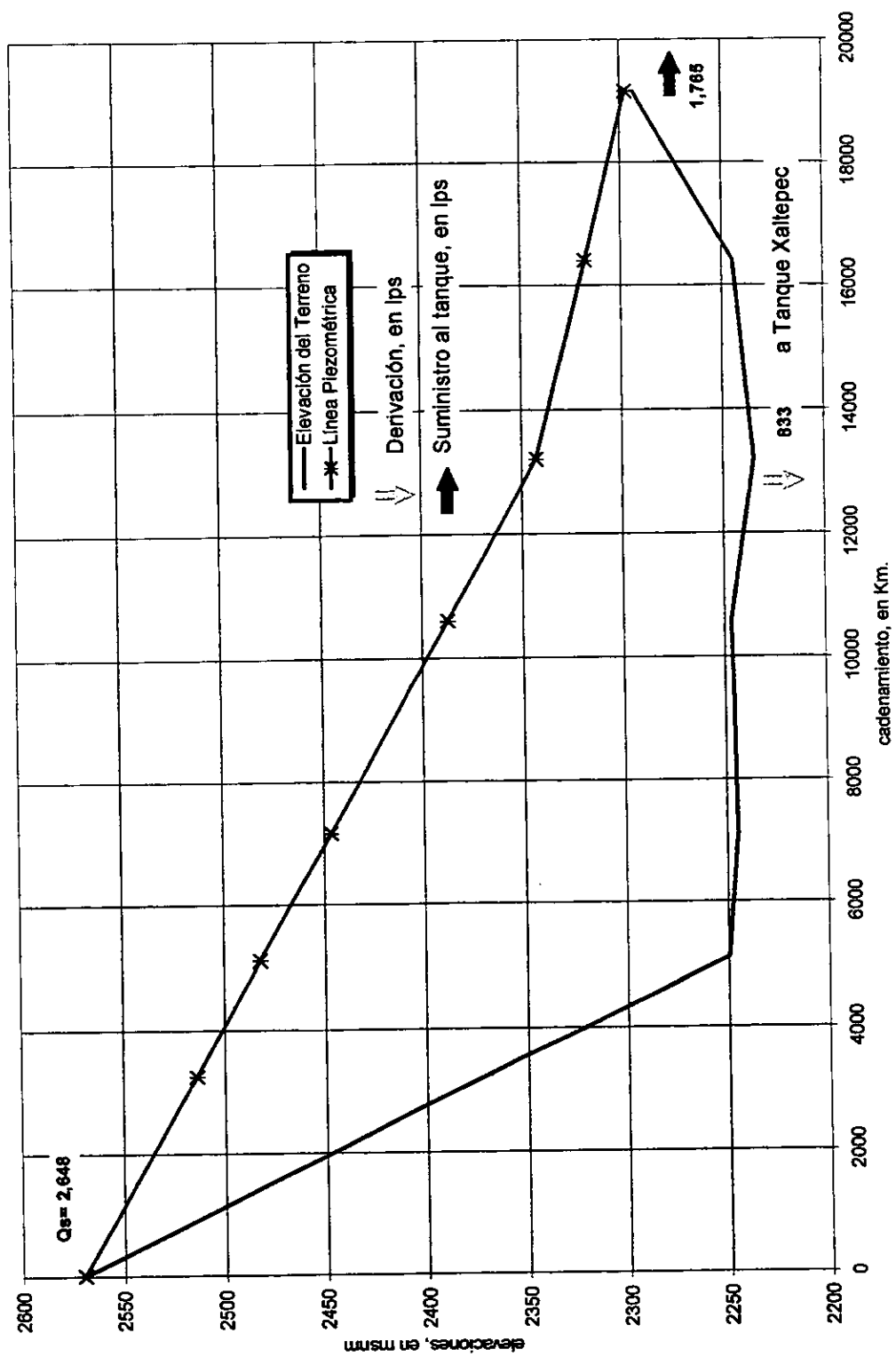
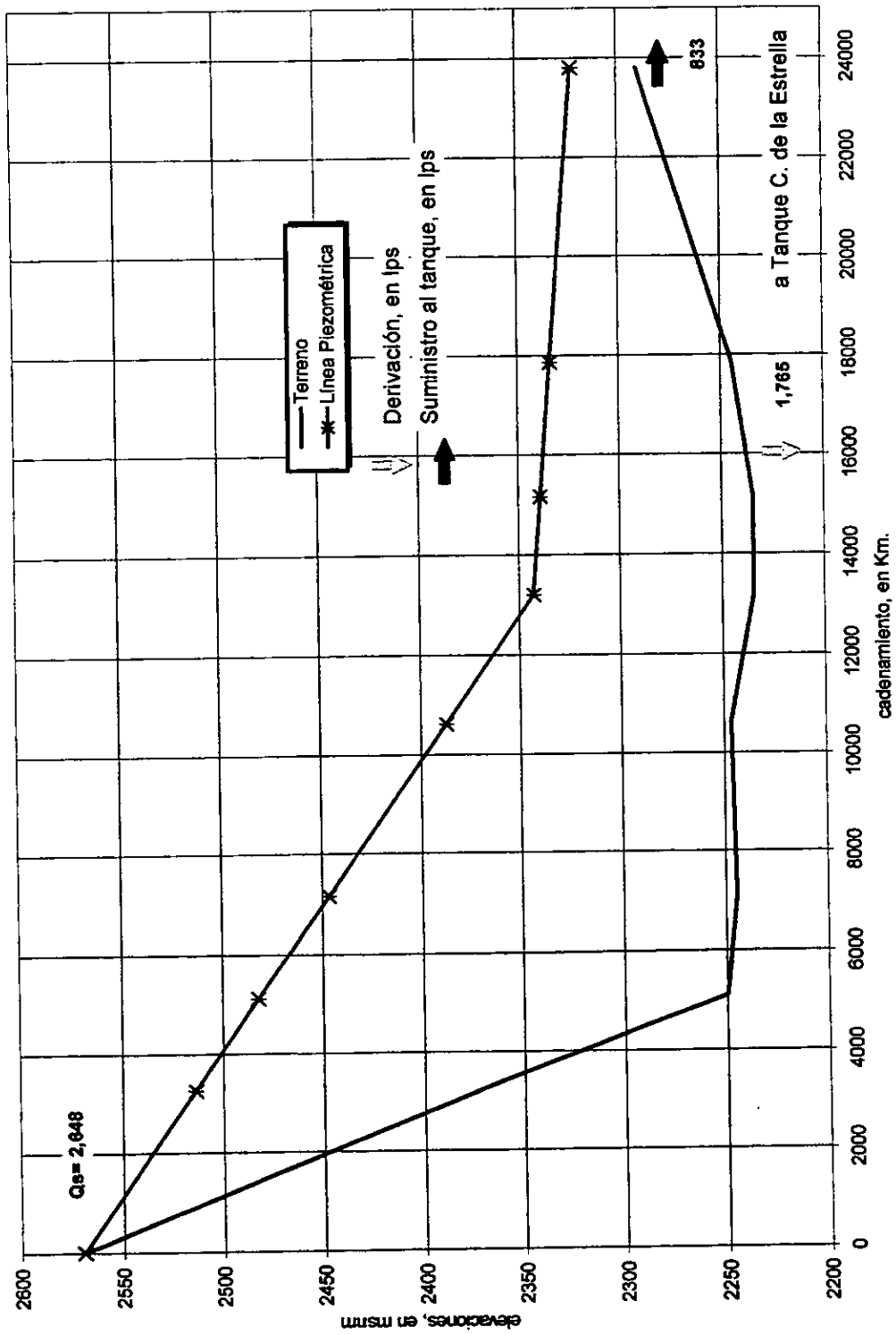


Figura 5.23 Línea San Francisco Tlalnepantla-Xaltepec ( $\phi=36''$ )



## **6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

El Distrito Federal al igual que las grandes urbes, se enfrenta en la actualidad a problemas tales como la escasez de servicios necesarios para satisfacer la demanda de sus habitantes, especialmente el suministro y distribución adecuada de Agua Potable, uno de los principales objetivos del presente estudio fue mejorar la distribución de Agua, específicamente la proveniente de cuencas externas como Cutzamala y Lerma conocida como Agua en Bloque y que constituyen fuentes importantes. Como es sabido, en la zona oriente de la ciudad se enfrentan graves rezagos con respecto al abastecimiento de agua potable, contrastando con la zona poniente que es la entrada del Agua en Bloque y donde existe un excedente considerable, como se ha constatado a lo largo del desarrollo de éste estudio.

Para efectuar una adecuada distribución es imprescindible contar con un adecuado control de extracciones, tanto en las estructuras de derivación como en las líneas provenientes del poniente hacia el centro y oriente, con la finalidad de suministrar solo la cantidad que requiere cada área específica. Uno de los principales objetivos fue determinar tales áreas definidas por las líneas que se han denominado primarias y con las que se abastece a las áreas mencionadas, de éste análisis se encontró que efectivamente a la zona poniente se le suministra una cantidad mayor de agua de la que requiere.

Entre los principales obstáculos para poder definir las líneas fue la disminución del diámetro en algunos tramos, así como el cruce con varias tuberías de igual o mayor diámetro en otros casos, aquí se podría pensar en aumentar el diámetro en

los tramos en los cuales se reduce para mejorar la conducción, sin embargo esta posibilidad implica efectuar obras en zonas altamente pobladas por lo cual no resulta recomendable, además se tiene el caso en donde el funcionamiento ya no es el originalmente establecido, debido fundamentalmente a que algunas fuentes como los pozos se substituyeron por otras o ha disminuido su explotación y ha cambiado el sentido del flujo.

Para definir físicamente las áreas que serán abastecidas y que se han propuesto para las líneas primarias es necesario realizar seccionamientos con válvulas en las tuberías que serán abastecidas por las líneas primarias, como se muestra en los planos de la planta de cada línea. De lo anterior se concluye que la demarcación de áreas de suministro y los seccionamientos a base de válvulas es factible si se respetan los gastos de cada área.

De las corridas efectuadas con el modelo dinámico y el análisis estático realizado, se tiene que de las líneas primarias actuales analizadas sólo cuatro cuentan con la capacidad hidráulica necesaria para conducir agua hacia el oriente, y el resto de las líneas analizadas sólo suministrarían el gasto demandado por sus áreas de abastecimiento originales, adicionalmente a esta problemática se tiene que los actuales conductos propuestos para efectuar la conducción necesaria son insuficientes para llevar el gasto demandado en el oriente. Por tal motivo se tiene la necesidad de recurrir a la propuesta de construir líneas ubicadas en la zona sur que no estén comprometidas en el suministro como las de la zona poniente, líneas que se construirían en zonas que actualmente se encuentran en un proceso de urbanización, donde los requerimientos de agua de estas zonas de igual forma



irán en aumento, pero con la salvedad de que la introducción de líneas nuevas, provocará menos problemas que en una zona totalmente urbanizada como es el caso del poniente de la ciudad, las líneas futuras propuestas, como ya se ha mencionado, son Primavera y San Francisco Tlalnepantla que permitirán llevar agua en bloque en cantidad suficiente hacia los tanques Cerro de la Estrella y Xaltepec en la delegación Iztapalapa.

A corto plazo es posible utilizar las líneas existentes con los requisitos que implica, como son el control estricto del gasto repartido y la instalación de válvulas donde sean necesarias, a futuro una vez construida y puesta en operación alguna de las líneas propuestas es posible reforzar el gasto de las delegaciones Venustiano Carranza e Iztacalco con las actuales, ya que el gasto requerido por Iztapalapa será reforzado con las nuevas líneas.

Además se recomienda efectuar un estudio mas riguroso en relación a las dos líneas propuestas mencionadas anteriormente, en relación a su trazo mas preciso y a la posibilidad de que también suministren agua a las zonas por las cuales atraviesen y la determinación de los gastos de estas zonas, análisis que por quedar fuera de los alcances de este estudio no se efectuaron y la propuesta de alguna otra alternativa de conducción que complemente las mencionadas en este estudio, ya que como se ha observado, la verdadera solución para el abasto a la zona oriente con Agua en Bloque es con nuevas líneas alternas que no tengan comprometido su caudal antes de llegar a su destino final y con la posibilidad de conducir el agua hasta los tanques, eliminando los posibles bombeos.

Actualmente el uso de las computadoras agiliza la aplicación de modelos matemáticos al poder realizarlos con mayor rapidez y precisión. Para la elaboración de este trabajo, resultó de gran utilidad esta herramienta, ya que es posible realizar múltiples simulaciones en periodos de tiempo reducidos.

## BIBLIOGRAFÍA

- El Sistema Hidráulico del Distrito Federal. Un servicio público en transición. Departamento del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, 1982. Primera Edición.
- Modelación y Análisis Operativo del Sistema Primario de Regulación y Distribución de Agua Potable del Distrito federal, Primera Etapa. Secretaría General de Obras. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. EFE Asesores S.A. de C.V. Diciembre 1995.
- Compendio de los Servicios Hidráulicos de la Ciudad de México, 1983-1994. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, enero 1995. Segunda Edición.
- Agua 2,000. Estrategia para la Ciudad de México. Departamento del Distrito Federal. Secretaría de Obras, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. México, septiembre 1994. Primera Edición.
- Agua. Una nueva estrategia para el Distrito Federal. Comisión Nacional de Aguas del Distrito Federal. Fundación para la Conservación del Agua en México. México, mayo 1994.