



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ARAGÓN

“Análisis de un sector de la delegación Álvaro Obregón, por  
medio del modelo de simulación Epanet”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

ISRAEL SERRANO OJEDA

ASESOR: ING. MARTÍN ORTÍZ LEÓN

Aragón Edo. De México 2006



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.

*AGRADECIMIENTOS:*

*A DIOS:*

*POR PERMITIRME LLEGAR A ESTE MOMENTO EN COMPAÑÍA DE LAS PERSONAS QUE QUIERO*

*A MIS PADRES:*

*BENITO Y BERNARDA*

*POR HABER ESTADO CONMIGO SIEMPRE Y DARME SU APOYO INCONDICIONAL DESDE EL PRIMER DÍA DE MI EXISTENCIA HASTA LA CULMINACION DE ESTA ETAPA DE MI VIDA Y DEMOSTRARLES QUE EL ESFUERZO NO HAN SIDO EN VANO Y QUE ESTE LOGRO MAS QUE MIO ES DE USTEDES, YA QUE SIN SU APOYO NO HUBIESE SIDO POSIBLE. ESTE ES EL INICIO DE UNA NUEVA ETAPA QUE ESPERO SEA DE MUCHAS SATISFACCIONES Y ÉXITO PROFESIONAL. GRACIAS POR TODO SU APOYO Y SIEMPRE ESTARE INFINITAMENTE AGRADECIDO.*

*A MIS HERMANOS:*

*HECTOR Y FERNANDO*

*PORQUE SON MIS COMPAÑEROS DE TODA LA VIDA, JUEGOS, PELEAS Y POR EL APOYO CONSTANTE QUE HE RECIBIDO DE USTEDES.*

*A MI ESPOSA E HIJO:*

*BEATRIZ E ISRAEL T.*

*YA QUE USTEDES SON EL MOTOR QUE ME IMPULSA A SEGUIR ADELANTE Y LOGRAR NUESTROS OBJETIVOS.*

*A EL ING. MARTIN ORTIZ LEON:*

*MI ASESOR DE TESIS, QUE SIEMPRE ESTUVO ATENTO AL DESARROLLO DE ESTE TRABAJO Y ACLARAR CUALQUIER DUDA CON RESPECTO AL ANALISIS DE ESTE TRABAJO SIN IMPORTAR LAS VECES QUE FUERA NECESARIO.*

*A EL ING. OSCAR F. MARTINEZ VILLALBA:*

*DE EL SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MEXICO, POR HABERME FACILITADO MUCHA DE LA INFORMACION AQUÍ PRESENTADA Y QUE A PESAR DE LA CARGA DE TRABAJO, SIEMPRE ESTUVO DISPUESTO A BRINDARME SU AYUDA.*

*A EL ING. JUAN JOSE MARTINEZ SANDOVAL*

*DE INGENIERIA TOTAL Y CONSTRUCCIONES, POR AYUDARME A ELEGIR ESTE TEMA DE TESIS Y POR SER UNA PERSONA QUE ME TUVO LA CONFIANZA PARA TRABAJAR CON EL Y DARME LA OPORTUNIDAD DE INCIARME EN EL CAMPO PROFESIONAL.*

*A TODOS MIS COMPAÑERO DE ESCUELA Y AMIGOS DE TODA LA VIDA.....*

## **INDICE**

### **INTRODUCCIÓN**

#### **1.- ANTECEDENTES**

#### **2.- ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA DE LA DELEGACIÓN ALVARO OBREGÓN.**

- 2.1 Marco físico
- 2.2 Marco urbano
- 2.3 Infraestructura actual de agua potable
- 2.4 Descripción del funcionamiento hidráulico
- 2.5 Problemática del suministro de agua potable.

#### **3.- SECTORIZACION HIDROMÉTRICA**

- 3.1 Concepto
- 3.2 Objetivos
- 3.3 Control de presiones en sectores hidrométricos
- 3.4 Válvulas reductoras de presión

#### **4.- DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EPANET**

- 4.1 Introducción
- 4.2 El modelo de la red
- 4.3 El entorno de trabajo de epanet
- 4.4 El entorno de proyecto
- 4.5 El esquema de la red
- 4.6 Análisis de la red
- 4.7 Presentación de resultados

#### **5.- CASO DE ESTUDIO: SECTOR AO-10 (STA LUCIA 5)**

- 5.1 Selección del sitio
- 5.2 Descripción del sector y su funcionamiento hidráulico

#### **6.- CORRIDA DEL PROGRAMA**

- 6.1 Revisión de frontera y sitios de entrada
- 6.2 Recopilación de datos geométricos de la red
- 6.3 Implementación del programa
- 6.4 Recorridos de campo
- 6.5 Mediciones de gasto y presión
- 6.6 Gastos de extracción (fugas)
- 6.7 Funcionamiento actual.

#### **7.- ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

# INTRODUCCIÓN

## INTRODUCCIÓN

El agua, es el componente principal y más abundante en el planeta tierra, que ocupa aproximadamente el 70% de la superficie terrestre

A pesar de esto sólo muy poca agua es utilizada para el consumo del hombre, ya que: el 90 % es agua de mar y tiene sal, el 2 % es hielo y está en los polos, y sólo el 1 % de toda el agua del planeta es dulce, encontrándose en ríos, lagos y mantos subterráneos. Además el agua tal como se encuentra en la naturaleza, para ser utilizada sin riesgo para el consumo humano requiere ser tratada, para eliminar las partículas y organismos que pueden ser dañinos para la salud. Y finalmente debe ser distribuida a través de tuberías hasta tu casa, para que puedas consumirla sin ningún problema ni riesgo alguno.

La escasez de este vital líquido obliga a reiterar nuevamente una llamada a la moderación de consumo por parte de la población a nivel mundial, ya que sin su colaboración los esfuerzos técnicos que llevan a cabo algunas organizaciones resultarían insuficientes.

Este problema que se nos presenta en la actualidad es un tema que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general, de muchos de los habitantes del planeta.

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente de agua a la población se logrará armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua.

México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias.

Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora

La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor

Bajo este panorama México enfrenta actualmente graves problemas de disponibilidad, desperdicio y contaminación del agua

Parte de esta problemática, se enfrenta con la construcción de la Infraestructura Hidráulica que permite satisfacer de agua a los diferentes sectores de la población: el agrícola, el industrial, el doméstico y de servicios y para la generación de energía eléctrica, entre otros.

No obstante existen diferencias territoriales importantes que son desfavorables.

En el norte del territorio nacional, el agua de lluvia que se capta por escurrimiento es únicamente el 4% mientras que en el sureste y las zonas costeras se logra captar el 50% del escurrimiento

Así, entre otros beneficios de la infraestructura hidráulica se encuentra la protección a la población y las áreas productivas de situaciones como las inundaciones, además de aprovechar las zonas con alto promedio de escurrimientos para la generación de servicios como la energía eléctrica

La zona norte del país está constituida por regiones áridas y las presas tienen la función de captar el agua que se utilizará en la actividad agrícola

En la zona sur del país, donde se localizan las regiones húmedas, las presas tienen como función almacenar el agua para la generación de la energía eléctrica y el control de avenidas.

Dada la importancia del agua, es nuestro deber utilizarla adecuada y racionalmente, y así ayudar a nuestro medio ambiente, realizando algunas pequeñas tareas:

### **La escasez del agua**

Las fuentes, los manantiales, las cuencas o cañadas están en acelerada vía de extinción, hay cambios de clima y de suelo, inundaciones, sequías y desertización. Pero es la acción humana la más drástica: ejerce una deforestación delirante, ignora los conocimientos tradicionales sobre todo de las comunidades indígenas locales, retira el agua de los ríos de diferentes maneras, entre otras con obras de ingeniería, represas y desvíos.

En la agenda política internacional el tema de la escasez del agua se ha vuelto prioritario, por ejemplo, el acceso al agua es un punto importante de los acuerdos de paz entre Israel y sus vecinos. Pero este aspecto no está confinado al Medio Oriente, puesto que el compartir ríos es un asunto de índole de seguridad nacional, precisamente por la importancia del agua para el desarrollo; actualmente cerca del 40% de la gente en el mundo vive en más de 200 cuencas de ríos compartidos.

Y es que ante una situación de escasez del agua la amenaza se cierne sobre tres aspectos fundamentales del bienestar humano: la producción de alimentos, la salud y la estabilidad política y social. Esto se complica aún más si el recurso disponible se encuentra compartido, sin considerar el aspecto ecológico.

Es por esto que, la gestión del recurso deberá tender a evitar situaciones conflictivas debidas a escasez, sobreexplotación y contaminación, mediante medidas preventivas que procuren un uso racional y de conservación.

La conceptualización de la conservación del recurso agua debe entenderse como un proceso que cruza a varios sectores, por lo que la estrategia debe considerar todo: lo económico, lo social, lo biológico, lo político, etcétera.

La calidad del agua son fundamentales para el alimento, la energía y la productividad. El manejo juicioso de este recurso es central para la estrategia del desarrollo sustentable, entendido éste como una gestión integral que busque el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental a través de un mecanismo regulador que es la participación social efectiva.

El agua es un recurso imprescindible pero escaso para la vida. Menos del 1% del agua del planeta es dulce y accesible para el hombre, aunque este porcentaje varía considerablemente según el lugar, el clima o la época del año.

Menos del 1 por ciento de los recursos de agua dulce del mundo están disponibles para el consumo 17 por ciento más de agua para cultivar alimentos para las crecientes poblaciones de los países en desarrollo, y el consumo total del agua aumentará en un 40 por ciento. La tercera parte de los países en regiones con gran demanda de agua podrían enfrentar escasez severa de agua en éste siglo, y para el 2025, dos tercios de la población mundial probablemente vivan en países con escasez moderada o severa.

La distribución de los recursos de agua dulce es muy desigual. Las zonas áridas y semiáridas del mundo constituyen el 40 por ciento de la masa terrestre, y estas disponen solamente del 2 por ciento de la precipitación mundial.

La agricultura por irrigación es responsable del consumo de aproximadamente el 70 por ciento del agua, y hasta del 90 por ciento en las regiones tropicales áridas. Los consumos de agua para la irrigación han aumentado más de un 60 por ciento desde 1960.

Al ritmo actual de inversiones, el acceso universal al agua potable no podrá anticiparse razonablemente hasta el año 2050 en África, el 2025 en Asia y el 2040 en América Latina y el Caribe. En general, para estas tres regiones, que comprenden el 82.5 por ciento de la población mundial, el acceso durante los años noventa aumentó de 72 a 78 por ciento de la población total, mientras que el saneamiento aumentó de 42 a 52 por ciento.

En los países en desarrollo, entre el 90 y el 95 por ciento de las aguas residuales y el 70 por ciento de los desechos industriales se vierten sin ningún tratamiento en aguas potables que consecuentemente contaminan el suministro del agua utilizable.

Aproximadamente el 94 por ciento de la población urbana tuvo acceso al agua potable al final del 2000, mientras que el índice para los habitantes en áreas rurales era solamente del 71 por ciento. Para el saneamiento, la diferencia era aún mayor ya que el 85 por ciento de la población urbana estaba cubierta, mientras que en las áreas rurales, solamente el 36 por ciento de la población tuvo saneamiento adecuado



La escasez de agua dulce es uno de los siete problemas ambientales fundamentales presentados en el Informe "Perspectivas del Medio Ambiente Mundial" del PNUMA. Es más, en una encuesta realizada a 200 científicos lo señalaban, junto al cambio climático, como el principal problema del nuevo siglo. De forma sencilla se puede decir que estamos alcanzando el límite de extraer agua dulce de la superficie terrestre, pero el consumo no deja de aumentar. Sin embargo, una gran amenaza la constituye el efecto que el cambio climático tendrá sobre el ciclo hidrológico y la disponibilidad de agua dulce. Básicamente se agravarán las condiciones de escasez de las zonas que ya son áridas (menos lluvias y mayor evaporación).

Actualmente el 20 % de la población no tiene acceso a agua de calidad suficiente y el 50% carece de saneamiento. África y Asia Occidental son las zonas de mayor carencia. De forma simplificada podríamos decir que en los países enriquecidos el problema del agua afecta sobretodo a la conservación de la naturaleza y a las posibilidades de crecimiento económico mientras que en el sur, además de todo eso, la falta de agua potable es la causante directa de enfermedades como la diarrea y el cólera que causan la muerte de 15 millones de niños cada año

El consumo global de agua dulce se ha multiplicado por 6 entre 1900 y 1995 mientras que la población sólo lo ha hecho por 3 ¿superpoblación o superconsumo?.

La Agricultura se lleva el 70% de agua dulce consumida por el uso de técnicas de riego inapropiadas. El consumo industrial se doblará en el 2050 y en países de rápida industrialización como China se multiplicará por 5. El consumo urbano también aumenta con la renta per cápita, sobretodo en usos recreativos (campos de golf, parques y jardines, etc) y derivados del turismo.

Por otro lado la pérdida de calidad del agua dulce por contaminación repercute muy gravemente en su disponibilidad para consumo, una vez superada la capacidad natural de autodepuración de los ríos. En primer lugar la contaminación difusa de origen agropecuario a través del uso incontrolado de plaguicidas tóxicos y fertilizantes (N y P) produce la eutrofización (crecimiento excesivo de algas y muerte de los ecosistemas acuáticos) pero llega a causar enfermedades cancerígenas a las altas concentraciones que se dan en el Sur. En segundo lugar la contaminación industrial por metales pesados, materia orgánica y nuevos compuestos tóxicos (PCB, etc) se multiplicará por 4 para el 2025. Por último la contaminación urbana se da sobretodo en las mega ciudades del Sur y a sus cinturones de miseria.

Otro gran problema a nivel mundial es el de las aguas subterráneas. Estas constituyen el 97% del agua dulce terrestre frente al ridículo 0.015 % del agua superficial embalsable. El 33% de la población mundial, sobretodo la rural, depende de ella, pero está amenazada tanto por la contaminación de los acuíferos como por la mala utilización de los pozos existentes. La sobre-explotación de éstos provoca el descenso de la capa freática y hace necesario excavar más hondo; el aumento de costes que esto supone perjudica primero a los más pobres. Cuando esto sucede en zonas costeras el agua del mar penetra y saliniza los acuíferos subterráneos (como ocurre en el litoral mediterráneo).

Por último, tanto a nivel nacional como mundial el agua dulce no está homogéneamente distribuida ni geográfica ni temporalmente. Por ello se están ya produciendo muchos conflictos por el acceso al agua, sobretodo internacionales pero también intranacionales.

Este es un problema que se está agravando muy rápidamente por lo que empezamos a asistir a verdaderas guerras del agua. Sin embargo, esta distribución desigual se utiliza a menudo como excusa para grandes embalses y trasvases que ocultan motivaciones puramente económicas y una política hidráulica derrochadora

Dado que la causa real de las injusticias derivadas del agua no se deben a una causa natural sino a la lógica imperialista del sistema, la principal línea de acción debe ser combatir éste en todos sus frentes.

El objetivo principal de este estudio es el de demostrar que mediante un modelo de simulación basado en el aislamiento de un franja de red por medio de límites naturales o mediante válvulas de seccionamiento y la instalación de válvulas reguladoras de presión es posible abatir en gran medida el desperdicio del vital líquido en la ciudad de México y como es sabido esto se ha desarrollado en otros estados de la república y en varios países del mundo, lo que nos trae como consecuencia un ahorro generalizado de agua que a largo plazo nos tendrá resultados significativos que se verán reflejados en el bienestar de todos los habitantes del planeta con un abastecimiento de agua potable eficiente y de gran calidad para todas y cada una de las personas que habitamos en este planeta .

Esto solo un pequeño paso para el mejoramiento de los sistemas de distribución de agua potable que a su vez será benéfico para evitar la sobreexplotación de los mantos acuíferos y los cuerpos de agua que nos abastecen de este vital líquido.

# CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

## I.- ANTECEDENTES

### **El Agua en la Ciudad de México**

Es innegable que existe una crisis en el mundo y particularmente en México, en relación con el recurso agua, debido al desequilibrio de los sistemas hidrológicos, a la afectación de ecosistemas, la deforestación y la degradación de los suelos de las cuencas; a la contaminación de corrientes y cuerpos de agua, la alteración de condiciones climáticas y otros factores como el establecimiento de patrones de consumo no sustentables, bajo la idea de una disponibilidad ilimitada del recurso.

La Ciudad de México ha enfrentado a lo largo de su historia serios problemas tanto para el abastecimiento de agua potable como para el desalojo de los caudales de aguas residuales y de aguas pluviales. A lo largo de las diversas épocas, desde la fundación de la gran Tenochtitlán hasta nuestros días, el ingenio humano de sus pobladores ha creado importantes obras de ingeniería hidráulica, complejos sistemas de acequias, diques y albarradones, calzadas y acueductos subterráneos, sistemas de bombeo, plantas potabilizadoras y sistemas de drenaje profundo entre otras, con el objetivo siempre de satisfacer la demanda de agua potable y de reducir al mínimo los riesgos de inundación.

En una Ciudad como la nuestra, ubicada en el lecho de un lago, a casi 2,300 metros de altura sobre el nivel del mar, con una población cercana a 9 millones de habitantes en el Distrito Federal y a 18 millones considerando su Área Metropolitana conurbada, en consecuencia con demandas enormes de abastecimiento de agua, tiene plena validez el principio de que el agua constituye el instrumento fundamental para orientar el desarrollo y mejorar la calidad de vida de la población.

La problemática en la Capital, en materia hidráulica es muy compleja: sobre explotación de mantos acuíferos y hundimientos del suelo; enormes obras de abastecimiento y drenaje con costos cada vez más crecientes y la reducción acelerada de las zonas de infiltración.

Actualmente los niveles de explotación del acuífero para el abastecimiento de agua son mayores a su recarga normal, por cada litro que se infiltra, se extrae un litro y medio.

Tanto el abasto de agua como el drenaje en la Ciudad requieren de grandes obras que muchas veces resultan insuficientes, más aún cuando se han continuado desarrollando fraccionamientos en las zonas boscosas de antaño, lo que determina necesidades de nueva infraestructura de distribución y hace insuficientes los actuales caudales de abastecimiento. Por otra parte, con el crecimiento de la plancha de concreto en las zonas altas, se impide la infiltración de aguas pluviales y en consecuencia la recarga natural del acuífero y se propicia una acelerada concentración de escurrimientos que satura en menor tiempo los conductos de desagüe de la Ciudad, aumentando los riesgos de inundación.

Es imprescindible aplicar un principio de racionalidad a partir de la consideración del recurso hidráulico en el desarrollo urbano, replanteando el cumplimiento de las disposiciones normativas para la protección y desarrollo tanto de las áreas de conservación para la recarga del Acuífero, como el respeto a las superficies destinadas a

la regulación de escurrimientos extraordinarios; racionalidad en el manejo responsable del sistema hidrológico de la Cuenca del Valle de México, en el tratamiento de caudales para su reutilización y la recarga del acuífero y en el uso eficiente del recurso por parte de los usuarios.

### **Abastecimiento de Agua Potable**

La Ciudad de México ha recurrido a través de su historia a diversas fuentes para abastecerse, desde los manantiales del propio Valle de México hasta fuentes externas. Actualmente la Ciudad de México cuenta con 35,200 litros por segundo de agua provenientes principalmente del subsuelo del Valle de México que aporta el 58% de dicho caudal; otro 27% proviene de la Cuenca del Cutzamala y es transportada desde una distancia de 127 kilómetros y bombeada a una altura de más de 1,000 metros para introducirla al valle de México; el resto es aportado por manantiales de la Ciudad y por el Acuífero del Valle de Lerma.

#### **PRINCIPALES ASPECTOS A ATENDER EN MATERIA DE AGUA POTABLE**

- Déficit de 3,000 litros por segundo.
- Nivel de desperdicio por redes en mal estado: 32%.
- 1'000,000 de habitantes reciben agua por tandeo.
- 180,000 habitantes no cuentan con acceso a la red.
- En enero del 2003 la Ciudad cumplió 8 años sin caudales adicionales de nuevas fuentes.

Los trabajos para la última etapa del sistema Cutzamala, el Proyecto del Río Temascaltepec, a cargo de la Federación, por conducto de la Comisión Nacional de Agua y con financiamiento de los gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, requerirán desde el momento en que inicie su ejecución, de al menos cuatro años para aportar 2,000 litros por segundo de nuevos caudales para el Distrito Federal y un caudal igual para el Estado de México.

La estrategia del gobierno del Distrito Federal para el mejoramiento del servicio de agua potable se ha centrado en el mantenimiento y la reposición de la infraestructura pública para eliminar fugas y desperdicios, en la operación más eficiente de los sistemas, en el mejoramiento de la calidad del agua, en la construcción de nuevas obras para mejorar la captación y distribución de caudales provenientes de la fuentes actuales, así como en la inducción a un mejor aprovechamiento del recurso por los usuarios, promoviendo su uso racional en los centros de consumo con la generalización del servicio medido y el aumento de la recaudación; acciones todas, tendientes a incrementar la eficiencia del sistema hidráulico.

Los principales programas del Gobierno del Distrito Federal para el incremento de caudales son el de Detección y Supresión de Fugas no Visibles en la Red de Agua Potable, el de Rehabilitación de Pozos y Reparación de sus Equipos Electromecánicos y el de Control de Presiones en la Red. Con estos programas se han afrontado las últimas

cinco temporadas de estiaje con mejores niveles de servicio que en años recientes anteriores.

### **Programa de Detección y Supresión de Fugas de Agua Potable**

El Programa de Detección y Supresión de Fugas no visibles en la red de agua potable, pionero en nuestro país, fue iniciado en julio de 1998. Su objetivo es disminuir las pérdidas de agua por fugas en las redes y rescatar del desperdicio caudales adicionales para ponerlos de inmediato al servicio de la población. El agua que se recupera es la más barata puesto que ya se encuentra en las líneas de distribución y en comparación con lo que costaría traer los mismos volúmenes de fuentes externas, se obtienen economías de costos para la Ciudad, del orden del 50%.

En 1997 las pérdidas de agua potable por fugas en las redes primaria y secundaria se estimaban en un 37% del caudal con el que se abastecía a la Ciudad. Esto representaba más de 12,000 litros por segundo, equivalente a un desperdicio anual cercano a los 400 millones de metros cúbicos de agua potable; pérdidas provocadas tanto por la antigüedad de las tuberías como por fisuras y fracturas originadas por hundimientos diferenciales del terreno, defectos durante el proceso de instalación, también por la mala calidad de algunos materiales o por conexiones defectuosas de tomas clandestinas.

En menos de cinco años y con una continuidad institucional, se ha recuperado un caudal de 2,629 litros por segundo, que anteriormente se perdían a lo largo de la red, con la sustitución de 1,087 kilómetros de tubería de la red secundaria de agua, de 133,953 ramales de tomas domiciliarias y de 8,352 válvulas de seccionamiento, eliminando 37,398 fugas no visibles. Estas acciones ha permitido reducir el nivel de pérdidas en la red de agua potable al 32%.

Este programa comprende acciones de detección y reparación de fugas no visibles en la red secundaria de agua potable utilizando avanzadas tecnologías geotécnica y electromecánica; la sustitución de ramales de tomas domiciliarias; el reemplazo de válvulas de seccionamiento, así como la rehabilitación y reposición de redes hidráulicas.

Para la detección de fugas no visibles, se usan equipos de electrónica y acústica que permiten captar la vibración y el sonido de una posible fuga, con los cuales también es posible conocer el sitio aproximado en el que ésta se localiza.

En la sustitución de redes hidráulicas se emplean tuberías de polietileno de alta densidad, material apropiado para la conducción de fluidos por sus propiedades de elasticidad, resistencia a hundimientos diferenciales y bajo coeficiente de rugosidad; posee además la característica de no reaccionar con el agua y tener una vida útil de más de cien años. En su instalación se aplica el procedimiento de introdensamiento -sin necesidad de excavaciones abiertas a lo largo de las calles-, con lo que se reducen las afectaciones y molestias a los habitantes de la Ciudad.

El agua recuperada incrementa no sólo la cantidad, sino también la presión con que llega a las tomas domiciliarias. En zonas donde el agua se recibía mediante cubetas o en cisternas que se llenaban muy lentamente, la presión resultante después de la rehabilitación, permite que el agua suba a los tinacos. Asimismo, por ser inertes las nuevas tuberías, la calidad del agua entregada es mejor que la que antes recibían los usuarios.

### **Acciones del Programa de Detección y Supresión de Fugas**

#### **Detección de fugas no visibles**

1998	5,320
1999	6,918
2000	6,807
2001	5,530
2002	6,074
Total	30,649

#### **Supresión de fugas en red**

1998	1,283
1999	1,329
2000	1,398
2001	1,380
2002	1,359
Total	6,749

#### **Supresión de fugas en tomas domiciliarias**

1998	8,827
1999	10,792
2000	11,486
2001	10,467
2002	10,791
Total	52,363

### Sustitución de ramales de tomas domiciliarias

1998	23,420
1999	27,083
2000	32,216
2001	14,732
2002	36,502
Total	133,953

### Sustitución de válvulas

1998	3,159
1999	1,968
2000	1,527
2001	581
2002	1,117
Total	8,352

### Rehabilitación de redes de agua potable

1998	134 kilómetros
1999	233 kilómetros
2000	292 kilómetros
2001	117 kilómetros
2002	311 kilómetros
Total	1,087 kilómetros

### Instalación de medidores

1998	85,675
1999	49,878
2000	41,473
2001	27,302
2002	8,601
Total	212,929



**Caudal recuperado**

1998	500 lt/s
1999	622 lt/s
2000	617 lt/s
2001	404 lt/s
2002	486 lt/s
Total	2,629 lt/s

**Población beneficiada**

1998	216,000 habitantes
1999	268,704 habitantes
2000	266,597 habitantes
2001	178,956 habitantes
2002	209,948 habitantes
Total	1'140,205 habitantes

---

## **Programa de Rehabilitación de Pozos y Reparación de sus Equipos Electromecánicos**

En 1997, un número considerable de los 984 pozos con que cuenta la Ciudad para garantizar el suministro de agua, estaban fuera de operación, debido a que sus equipos de bombeo habían rebasado su vida útil o aún más, carecían de equipo.

El Programa de Rehabilitación de Pozos y Reparación de sus Equipos Electromecánicos, instrumentado a partir de 1998, ha permitido abatir el rezago que se presentaba en su mantenimiento y recuperar la eficiencia de su operación, así como garantizar el funcionamiento de los pozos que sustentan el abastecimiento de agua potable a nuestra Ciudad.

Con la ejecución de este Programa, en cinco años se han rehabilitado 135 pozos y se han reparado 777 equipos electromecánicos, en los que se incluyen motores, arrancadores, bombas y transformadores, incrementando el caudal de abastecimiento en 3,416 litros por segundo.

Estos caudales, sumados a los 2,629 litros por segundo recuperados a través del Programa de Detección y Supresión de Fugas, nos da un total de 6,045 litros por segundo recuperados, caudal suficiente para abastecer a unos 2'500,000 habitantes.

De estos caudales, se destinan 905 litros por segundo para satisfacer demandas legítimas de pobladores del Alto Lerma en el Estado de México, región en la cual se captan caudales para la Ciudad de México

## **Programa de Control de Presiones**

El Gobierno del Distrito Federal ha iniciado el Proyecto de Sectorización de la red de distribución de agua potable del Distrito Federal, que representa históricamente y en la experiencia internacional, la estrategia de control más exitosa para los grandes sistemas de agua potable. La Sectorización tiene como principio la división de la red de distribución de agua potable en sectores definidos a partir de la red primaria, limitados mediante válvulas de seccionamiento y regulación de presión.

El objetivo fundamental de la sectorización de la red de distribución es mejorar el control y distribución del flujo en la red, además de posibilitar mayor efectividad en reparaciones futuras, un rango más amplio de planeación al conocer detalladamente el estado de la red por sectores, permitir la operación en conjunto o separadamente de la red primaria y de la red secundaria, y prolongar la vida útil de la red de distribución ya que impide las presiones excesivas.

Adicionalmente, el ahorro de agua se capitaliza como aumento de agua disponible y se alcanza un mayor abatimiento del índice de fugas, en relación con el que actualmente se logra con la reparación o rehabilitación tradicionales.



**CAPÍTULO 2: ESTADO ACTUAL DE  
LA INFRAESTRUCTURA  
HIDRÁULICA DE LA DELEGACIÓN  
ALVARO OBREGÓN.**

## CAPÍTULO II.- ESTADO ACTUAL DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA EN LA DELEGACION ALVARO OBREGÓN.

ÁLVARO OBREGÓN: nombre dado en honor del general "**Álvaro Obregón**", expresidente de la República Mexicana

### INTRODUCCIÓN

La delegación Álvaro Obregón está situada al suroeste del Distrito Federal en una superficie en la que el 70 por ciento es de tipo montañoso con barrancas y arroyos, y el 30 por ciento restante es de lomeríos y planicies. Limita al Norte con la delegación Miguel Hidalgo, al Sur con las delegaciones Magdalena Contreras, Tlalpan y municipio de Jalatlaco, Estado de México, al Este con las delegaciones Benito Juárez y Coyoacán, y al Oeste con la delegación Cuajimalpa.

Desde la década de los 50's, el porcentaje del crecimiento poblacional de la delegación, es el doble del presentado de manera promedio en el Distrito Federal. Esto obedece a los asentamientos acelerados originados en las zonas libres del poniente de la delegación debido a la saturación de la zona central del Distrito Federal, llegando así la mancha urbana a absorber los poblados San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac.

La delegación Álvaro Obregón pertenece al área denominada primer contorno y forma parte del sector Metropolitano Poniente, junto con el municipio de Huixquilucan y la delegación Cuajimalpa.

La ubicación y el sistema de vialidades que posee la delegación resultan fundamentales para la estructura urbana de la ciudad de México, ya que ésta constituye una zona de paso entre el Estado de México y la zona central del Distrito Federal.

Cuenta con un amplio número de servicios, especialmente de equipamiento de cultura y educación media y superior, que además de satisfacer las necesidades de la población residente, abarca un amplio radio de influencia englobando a las delegaciones aledañas y a los municipios de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, destacando la zona de Santa Fe, la cual cubre servicios al nivel local e internacional.

En cuanto a la importancia de la delegación desde el punto de vista ambiental, se identifican dentro de ésta cuatro sistemas de preservación ecológica: Sistema Contreras-Parque Nacional Desierto de los Leones, ubicado al poniente de la ciudad, y que se extiende hacia la Sierra de las Cruces y el Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, "La Marquesa" en el Estado de México, dentro del cual se incluyen las barrancas correspondientes a las delegaciones Magdalena Contreras, Álvaro Obregón y Cuajimalpa, este sistema constituye una parte fundamental del equilibrio ecológico del valle de México, debido a la generación de oxígeno y los recursos hidráulicos existentes en dicha zona.

## 2.1 MARCO FÍSICO

### Ubicación geográfica

La delegación Álvaro Obregón se encuentra ubicada geográficamente de la siguiente manera:

Norte	19° 24'	
Sur	19° 13'	Latitud norte
Este	99° 10'	
Oeste	99° 19'	Longitud oeste.

### Perímetro y límites delegacionales

Tabla 1.1 Límites delegacionales

<b>Orientación</b>	<b>Delegación o municipio limitante</b>	<b>Perímetro</b>
Norte	Miguel Hidalgo	Av. Constituyentes y Av. Observatorio
Este	Benito Juárez, Coyoacán y Tlalpan.	Anillo Periférico, Barranca del Muerto, Río Mixcoac, Av. Universidad, Río Magdalena, Av. San Jerónimo y Boulevard de las Cataratas.
Sur	Magdalena Contreras, Tlalpan y el Municipio de Jalatlaco del Estado de México	Anillo Periférico, Calzada de San Bernabé, Barranca Honda, Barranca Texcalatlaco, Barranca La Malinche,
Oeste	Cuajimalpa	Cerro de San Miguel, Carretera México-Toluca y una franja de zona ecológica.

Fuente: "Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Álvaro Obregón", 1998. SDUV, GDF.

**Superficie**

Tabla 1.2 Áreas y extensiones

Área	Extensión (km²)	Porcentaje con respecto a la delegación	Porcentaje con respecto al tipo de área del Distrito Federal	Porcentaje con respecto al área total del Distrito Federal
Urbana	50.52	65.44	7.79	3.40
Ecológica	26.68	34.56	3.19	1.79
<b>TOTAL</b>	<b>77.20</b>	<b>100.00</b>	<b>10.98</b>	<b>5.19</b>

Fuente: "Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Álvaro Obregón", 1998. SDUV, GDF.

**Características fisiográficas**

Tabla 1.3 Características fisiográficas

Zona geográfica	Provincia	Subprovincia	Sistema de topoformas	% de la superficie delegacional	Altitud media	Pendiente
Altiplano Mexicano	Eje Neovolcánico	Lagos y volcanes de Anáhuac	Sierra Volcánica	34.35	2,890 msnm	Pronunciada
			Lomerío con cañadas	39.13		
			Meseta basáltica malpaís	16.77		
			Llanura aluvial	9.75		

Fuente: Atlas Cartográfico de la ciudad de México y área conurbana, Inédito.

Nota: msnm: metros sobre el nivel del mar.

Tabla 1.4 Elevaciones principales

Nombre	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud msnm
Cerro El Triángulo	19° 14'	99° 19'	3,820
Cerro San Miguel	19° 16'	99° 19'	3,780
Cerro La Cruz de Cólica	19° 16'	99° 19'	3,610
Cerro Temamatla	19° 15'	99° 18'	3,500
Cerro El Ocotal	19° 17'	99° 18'	3,520
Cerro Zacazontetla	19° 18'	99° 17'	3,270

Fuente: INEGI. Carta Topográfica, 1:50 000.

Nota: msnm: metros sobre el nivel del mar.

Tabla 1.5 Altitud

<b>Zona</b>	<b>Zona y colonias representativas</b>	<b>Altitud (msnm)</b>
Norte	Belén de las Flores, Observatorio, Santo Domingo, Las Américas	2,300 a 2,500
Este	Florida, Chimalistac, Guadalupe Inn, San Ángel.	2,250 a 2,400
Centro	Las Águilas, Residencial Las Águilas, Sta. Lucía	2,300 a 2,500
Suroeste	Lomas de la Hera, Paraje El Caballito, Sta. Rosa Xochiac	2,500 a 2,700

Fuente: Dirección Técnica. DGCOH, GDF.



## 2.2 MARCO URBANO

### Cronología del desarrollo urbano de la delegación y desarrollo hidráulico del Distrito Federal

A continuación se enlistan los principales hechos históricos:

- 1325** Los aztecas utilizaron la madera en obras hidráulicas como diques y albarradones, para controlar las aguas del lago de Texcoco.
- 1449** Con el fin de proteger la ciudad de las inundaciones, Nezahualcóyotl construyó un extenso dique de piedra y estacas que iba de Azcapotzalco al Cerro de la Estrella. Esta albarrada fue la mayor obra de ingeniería hidráulica que realizaron los indígenas.
- 1521** En los primeros cambios de los españoles a la ciudad, cegaron los canales y destruyeron el sistema de drenaje de los aztecas.
- 1529** El nombre primitivo del área que corresponde a esta delegación fue Tenamitla y originalmente era un barrio de Coyoacán, cuyos solares le fueron cedidos a Hernán Cortés por el emperador Carlos V. Este confió la administración religiosa de esas posesiones a los padres dominicos, quienes en este año fundaron el convento de San Juan Bautista, desde el cual comenzaron a extenderse para realizar la conversión religiosa de los pobladores de la zona.
- 1535** Los frailes dominicos edifican en Chimalistac un templo dedicado a San Sebastián; años más tarde el de Tenamitla, que se menciona como parroquia desde 1580; y tiempo después, la capilla de Tlacopac.
- 1554** El abastecimiento de agua potable a la ciudad, seguía siendo por el mismo acueducto que construyeron los aztecas.
- 1555** El 17 de septiembre, una inundación cubrió por completo la ciudad, a tal grado que durante cuatro días los habitantes tuvieron que transportarse en canoas.
- 1556** El 7 de septiembre los lagos y ríos suben su nivel a causa de las lluvias y de haber puesto el agua del río Cuautitlán en el lago Citlaltépetl.
- 1572** El agua potable ya era insuficiente para la ciudad y deciden traerla de Santa Fe.
- 1580** Se inunda de nuevo la ciudad.
- 1585** Se edifica el Convento del Carmen.
- 1602** Se funda el Convento Dominicó y Hospicio de San Jacinto.
- 1605** Se restauran los diques de San Cristóbal, Guadalupe y San Antonio Abad. Se construye la presa de Oculma para desviar del lago de Texcoco el río Teotihuacan.
- 1607** El valle se inunda y la ciudad se encuentra en peligro de verse invadida por las aguas. Enrico Martínez inició las obras del desagüe para evitar inundaciones.
- 1613** A la muerte de Ixtolinque, su hijo Felipe donó a los religiosos Carmelitas un terreno de extensión considerable, en el cual edificarían el teologado de esa orden.
- 1617** Se termina la construcción del templo Carmelita dedicado a San Ángelo Mártir del cual toma nombre el pueblo. De la huerta que los carmelitas enriquecieron notablemente, se

propagaron las semillas de varios frutales hasta entonces desconocidos en México. Buen número de vecinos dieron en cultivar esos árboles y el lugar adquirió cierta importancia económica.

- 1629** El 20 de septiembre, se desató una tormenta que duró 36 horas, que unida al caudal del río Cuautitlán, del lago de Xochimilco y de otros ríos, provocó que la ciudad quedara virtualmente bajo las aguas, llegando a tener en la parte menos honda hasta 1.68 m. Como consecuencia de ésta se pretende cambiar a la ciudad de lugar; sin embargo, por el alto costo que representaba esta medida (50 millones de pesos) se opta por realizar trabajos de infraestructura sanitaria que tuvieron un valor de 4 millones de pesos.
- 1642** San Ángel cobró notoriedad cuando el Virrey Juan de Palafox y Mendoza eligió el lugar para pasar una temporada de descanso en el convento Carmelita.
- Siglo XVIII** Se alcanza en la delegación un auge en diversas actividades económicas debido a la apertura de grandes y modernas fábricas en la zona fabril de San Ángel, Tizapán Contreras y Santa Fe.
- 1737** La obra de Huehuetoca restituyó paulatinamente la confianza entre la población después de la inundación de 1629.
- 1750** La ciudad contaba con dos canales de agua potable, el de San Cosme, que traía el agua de Santa Fe, y el de Chapultepec, que recorría la calzada del mismo nombre y la calle de Belén, terminando en el Salto del Agua. Durante el trayecto de ambos canales existían muchas fuentes públicas de donde la gente tomaba el agua, y al llegar a Mariscal y al otro Salto del Agua se distribuía a varios sectores de la ciudad.
- 1760** Las altas esferas religiosas y políticas establecen la costumbre de veranear regularmente en la zona de San Ángel, que para entonces ya contaba con grandes casas de campo, que le conferían a la zona un carácter señorial; entre ellas figuraban las haciendas de: Goicoechea, Casa Blanca, Francisco Chavarria, Obispo de Madrid y del Marqués de Sala Nevada.
- 1763** El fraile carmelita Francisco de Ajofrín, en su paso por Nueva España, menciona en su diario “un lugar muy divertido que llaman Santo Ángel, de bello temperamento, mucha fruta y alegre cielo”. A fines de este año las aguas del sur y las de los montes del este y oeste bajan convirtiendo a la ciudad en una isla por varios meses.
- 1772** Una manga de agua causó grandes daños en el valle, salvándose la ciudad al encontrar el agua salida por Nochistongo.
- 1786** Se terminan después de 178 años de trabajo las obras del canal de Huehuetoca y el tajo de Nochistongo.
- 1795** Las arenas y atierres del río Cuautitlán fueron cegando la laguna occidental de Zumpango y reduciendo el vaso y desbordándose sobre el lago de San Cristóbal.
- 1796-1798** Se construyen dos canales, con el fin de desaguar directamente en el tajo de Huehuetoca los lagos de Zumpango y de San Cristóbal; el primero con una longitud de 8,900 m y el segundo de 1,300 respectivamente.
- 1830** Para este año la ciudad contaba con 9,040 m de cañería principal y 43,952 de cañería secundaria, ambas para el abastecimiento de agua potable. Las 42 fuentes públicas existentes eran suministradas por 6,197 m de cañería principal y las fuentes privadas y casas particulares eran abastecidas por la cañería secundaria. Existían 384 tomas gratuitas y 387 gozaban del servicio sin motivo alguno.

- 1856** Se le adjudican al general Aureliano Rivera los terrenos que iban desde los muros del convento Carmelita hasta la Plaza de Chimalistac. Sin embargo, no pudo pagar el precio convenido, vendiendo sus derechos y a la postre se desarrolló ahí la colonia del Carmen.
- 1857** El abastecimiento de agua a la ciudad era de 873 m<sup>3</sup> diariamente por el acueducto de Tlaxpana, y con 364 por el Salto del Agua; existían 144 pozos artesianos, de los cuales 24 eran para riego y 120 al servicio de casas particulares.
- 1861** El 6 de mayo se divide al Distrito Federal en cinco territorios uno de los cuales era el partido de Tlalpan, con las municipalidades de San Ángel (a la que pertenecía esta delegación), Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa e Iztacalco. También pertenecía al partido de Tacubaya, con la municipalidad de Mixocac junto con las de Tacubaya, Tacuba y Santa Fe.
- 1865** El 19 de noviembre se cierra la compuerta del canal de Santa Martha, para salvar a la ciudad de otra inundación, pues era necesario bajar el nivel del lago de Texcoco, que ocupaba una superficie de 68,321 ha.
- 1897** El 24 de enero se inician las obras en la ciudad, de la construcción de atarjeas para desechos domésticos, colectores para recogerlos y tubos de agua para el lavado de las atarjeas. Toda la red de drenaje de la ciudad era recibida por tres colectores generales: el Central, el del Sur y el del Norte.
- 1900** Los pueblos que forman la municipalidad de San Ángel son: Tizapán, San Jerónimo, Magdalena Atlitic, Contreras, San Nicolás Totolapan, San Bernabé Tepetiac, San Bartolomé Ameyalco, Santa Rosa Xochiac, Tetelpa, Tlacopac y Chimalistac. Las haciendas de: Goicoechea, La Cañada, San Nicolás Eslava, Anzaldo y Guadalupe; Los ranchos de: Perea, Era, Buenavista, Toro, Acopilco, Padierna, Olivar, Palma, Arenquigua y Gálvez. Las fábricas: de manta "La Hormiga"; de tejidos de algodón "Contreras"; de papel "Santa Teresa", "Loreto" y "La Loma". Los molinos de trigo: "Prieto" y "Batancito".
- 1905** La escasez de agua era considerada como causa permanente de insalubridad en la ciudad y a causa de este problema comienzan las obras de saneamiento y la entubación de hierro para el suministro del agua potable que se extendió considerablemente. Se recibía un promedio de 34,587 lpm de agua, repartiéndose entre 8,190 tomas por medio de 115,401 m de tubería abastecidos por los manantiales de Salazar, Río Hondo, Desierto de los Leones, Santa Fe y Chapultepec.
- 1913** Al terminar las obras de provisión de agua potable, la red abastecía once mil tomas domiciliarias.

- 1917** A iniciativa del arqueólogo Manuel Gamio, se perforan en la zona de Copilco varios túneles por debajo de la capa de lava producto de la erupción del volcán Xitle; de cuatro a seis metros de espesor, encontrándose un cementerio en el que abundan piezas de barro cocido, colocadas como ofrendas al lado de los esqueletos, los cuales se han conservado *in situ*.
- 1924** A fines de este año la red de agua potable abastecía 19,669 tomas domiciliarias, incrementándose el 80 por ciento con referencia a las suministradas en 1913; para hacer frente a este aumento en el consumo de agua potable, fue necesario disminuir las horas de abastecimiento llegando hasta 11 hrs. diarias como promedio, quedando vacías las tuberías de la red con grave peligro para los casos de incendio. El problema más serio de este año fue el de saneamiento y desagüe ya que las instalaciones eran insuficientes para toda la ciudad. Las obras de saneamiento y desagüe no tenían sólo el objeto de mejorar las condiciones sanitarias, sino también evitar el peligro latente de las inundaciones. Los colectores del drenaje recibían las aguas negras, las pluviales y las aguas de Tacubaya y Mixcoac, estos colectores corrían grave peligro de ahogarse en una tormenta y desbordar las aguas negras sobre las calles. Para solucionar este problema se reconstruyó el canal de San Lázaro. A fines de este año se le calculó una superficie a la ciudad de 2,975 ha, de las cuales solamente el 86 por ciento se encontraba servida con drenaje.
- 1927** Se desincorporan del municipio de San Ángel los pueblos de: La Magdalena, San Jerónimo, San Bernabé, Santa Rosa; las haciendas de Contreras, Eslava, Cieneguillas, La Cañada; los molinos de Miraflores, Calderón y el Batán de Ansaldo. Para conformar un nuevo Municipio (La Magdalena Contreras). Para este año existían 22,452 tomas privadas; hubo un incremento en las tuberías de 21,000 m con una longitud total de 313,085 m para toda la ciudad.
- 1928** El Distrito Federal se divide en trece delegaciones foráneas que sustituyen a los antiguos Municipios (Azcapotzalco, Coyoacán, Cuajimalpa, General Anaya, Guadalupe Hidalgo, Iztacalco, Iztapalapa, La Magdalena Contreras, Milpa Alta, San Ángel, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco).
- 1929** Uno de los principales manantiales de la ciudad era el del Desierto de los Leones ubicado en esta delegación. En la división política del Distrito Federal, el 1 de enero de este año, queda dividido su territorio en un departamento central y trece delegaciones; dentro del departamento central se encontraba el municipio de Mixcoac y de las trece delegaciones una era la delegación de San Ángel. El gobierno del Distrito Federal estaba a cargo del Presidente de la República, quien lo ejercía por medio de un organismo administrativo y político llamado Departamento del Distrito Federal. Se construyen las presas de Tecamachalco y Dolores al oeste de la ciudad.
- 1930-1940** Durante la administración Cardenista fueron impulsadas las obras de infraestructura, como la instalación de colectores para las aguas negras, el tendido de tuberías para agua potable y la pavimentación de las principales calles y avenidas.
- 1931** El pueblo de San Ángelo Mártir se convierte en Villa Álvaro Obregón en honor del presidente electo que ahí fue asesinado.

- 1932-1933** La delegación toma su nombre el 9 de enero, en honor a la memoria del General Álvaro Obregón. El abastecimiento del agua potable era deficiente en algunas delegaciones y en otras su carencia fue total. Los sistemas de abastecimiento de agua que hasta entonces se conocían eran en obras de captación, el albije, la presa de derivación de agua de río, manantiales, pozos comunes y pozos artesianos; la manera de conducirla fue por medio de animales de carga, canales de tierra descubiertos, canales de madera y mampostería, conductos de fierro y de concreto, necesitándose hasta 160 km de conductos para llevar el agua a la ciudad; se almacenaba en tanques descubiertos y en tanques de concreto perfectamente cerrados. Los servicios de agua eran deficientes tanto en su calidad como en la cantidad.
- 1933** Se estimaba que en este año con 220,000 m<sup>3</sup> de agua se abastecían a 600,000 hab, consumiendo 363 l/ hab en 11 horas de servicio diario.
- 1935** El 17 de julio se erigió el monumento al general Álvaro Obregón en el Jardín de la Bombilla con una obra del escultor Ignacio Asúnsolo. El manantial del Desierto producía 100 lps; los leones 30 y los ajolotes 20; de ellos, 50 litros se usaban para abastecer Mixcoac y 100 para Tacubaya, y con el resto se abastecía al sistema de la región suroeste del valle. Otros manantiales de la región surtían 22 lps a los pueblos de Álvaro Obregón y de Magdalena Contreras, por medio de los acueductos de San Bartolo y de Hueyatla. Se construyeron 45 km de atarjeas y 21 se reconstruyeron; los albañales llegaron a 28 km y 13 de reconstrucción.
- 1937** El hundimiento anual del subsuelo de la ciudad fue de cuatro centímetros.
- 1938-1947** El hundimiento anual del subsuelo de la ciudad fue de 14 centímetros.
- 1940** La apertura de la avenida de Los Insurgentes propició el fraccionamiento de terrenos y la construcción de residencias.
- 1941** El 4 de febrero sale el reglamento de zonificación industrial quedando las zonas V y VI en Álvaro Obregón, comprendiendo la primera las colonias Abraham González, Carola, 8 de Agosto y Lomas de Becerra, destinadas a la industria del cemento, cal y yeso; y la segunda comprendía las colonias de Observatorio y Bella Vista.
- 1942** Se inician las obras del río Lerma. Se terminan las obras de saneamiento en Tacubaya y Mixcoac, con la construcción de subcolectores y redes de atarjeas. La parte sur del Distrito Federal contaba con un conducto ligado al Gran Canal que no era suficiente para drenar las zonas de Mixcoac, Villa Obregón, Coyoacán, Tlalpan y Xochimilco.
- 1945** En la ciudad se construyen 12,500 m de colectores de diferentes diámetros y un túnel de 700 m de longitud y de 1.80 m de diámetro; también se hicieron 43,000 m de albañales domiciliarios en 9,800 casas. Se amplía la red de colectores y subcolectores de alivio, en una longitud total de 52,363 m; la red de atarjeas de 68,297. Se construyen 7,613 pozos de visitas sobre atarjeas y colectores y 10,500 coladeras pluviales; también se construyen cárcamos y plantas de bombeo en distintos puntos de la ciudad.

- 1946-1952** Entre las actividades desarrolladas en estos años se hace referencia a las obras de provisión y mantenimiento del agua potable, como la construcción del sistema de bombeo de Xotepingo, la habilitación de 33 pozos artesianos para capturar 2,000 lps y el tendido de 538,772 m de tubería para la distribución de agua potable, incluyendo diversos pueblos de varias delegaciones y colonias proletarias. El informe también señala que en épocas de lluvia la ciudad sufría inundaciones de aguas negras y pluviales; esta situación obedecía principalmente a tres causas que eran: la incapacidad de los colectores y atarjeas para evacuar el agua pluvial, el hundimiento acelerado del subsuelo de la ciudad y el retardo en la evacuación del agua, debido a la disminución de la pendiente del Gran Canal.
- 1948-1954** El hundimiento del subsuelo de la ciudad en promedio fue de 30 cm y en algunas partes llegó hasta los 50 cm.
- 1950** Con la apertura de la Av. Insurgentes se edificaron fraccionamientos residenciales tales como: Guadalupe Inn, Florida, Hacienda Chimalistac y Pedregal de San Ángel. Ya saturadas las zonas centrales de la ciudad se comienzan a edificar viviendas en la zona de lomeríos y varios poblados rurales como San Bartolo Ameyalco y Santa Rosa Xochiac fueron absorbidas por la mancha urbana. El servicio de agua potable, según el censo de este año se suministraba esta delegación de la siguiente manera: 6,112 con agua entubada dentro de la vivienda, 10,850 por una sola toma para varias viviendas, por medio de aljibes y pozos y 972 viviendas sin agua.
- 1952** Se construye en la delegación la unidad habitacional Santa Fe, con 2,199 viviendas.
- 1956** Se construyen en la ciudad cuatro vasos reguladores con capacidad total de 3.5 millones de m<sup>3</sup>, que almacenaban el agua del río de los Remedios, sin problemas de desbordamiento. La obra más importante en esta delegación, para resolver el riesgo de las inundaciones, fue la construcción del interceptor que partía del río de la Magdalena en Villa Obregón, terminando en el río de los Remedios, con una longitud de 16,700 m, un diámetro de 4 m y capacidad de 24 m<sup>3</sup>/s.
- 1959** Surgen las colonias Residencial Jardines del Pedregal, Las Águilas y Olivar del Conde.
- 1960** Los servicios de agua potable para este año en la delegación eran los siguientes: de las 38,958 viviendas existentes; 11,746 contaban con agua entubada dentro de la vivienda; 23,815 contaban con agua fuera de la vivienda pero dentro del edificio y 3,397 sin agua entubada dentro de la vivienda o del edificio. Para el control de las inundaciones se construyen 4 presas en las barrancas de Becerra y Tacubaya, con capacidad de 230,000 m<sup>3</sup>. Se construye la unidad habitacional Independencia, con 2,234 viviendas.
- 1964** Se terminan las obras de construcción y pavimentación de las avenidas de Mixcoac, Tequilasco y Barranca del Muerto.
- 1966** Se terminan las ampliaciones de la red de colectores con 520 km, 2900 km de atarjeas y la instalación de 29 plantas de bombeo ubicadas en diversas zonas de la ciudad. En el gran canal se amplían y construyen entre los km 0 y 7, plantas de bombeo intercalados con la red de alcantarillado, con descarga en los colectores del gran canal de desagüe, que era el único emisor de eliminación de aguas negras y pluviales de la capital, hasta lograr una capacidad de 173 m<sup>3</sup>/s.
- 1967** Se inicia la magna obra llamada Drenaje Profundo. Se abre la circulación en el tramo del anillo periférico de Insurgentes Sur a la Av. San Jerónimo. Se construye la conexión del estacionamiento del estadio de Ciudad Universitaria con Av. San Jerónimo.

- 1970** A mediados de este año la delegación contaba en servicios de agua potable con 39,552 con agua entubada dentro de la vivienda; 30,232 que recurrían a la llave pública; 4,348 sin agua; de estas viviendas 50,868 contaban con drenaje y 23,264 carecían de él. El río Tacubaya se entuba en el tramo que conecta la plaza del mismo nombre y la calle del Faisán de la colonia Pino Suárez; y en el río donde cruza Anillo Periférico, en el punto de contacto con la Av. Conscripto y el río San Ángel o río Tizapán. Se terminan las obras de construcción de 21 tanques de regularización, con capacidad conjunta de 484,000 m<sup>3</sup>, un tanque de oscilación, más de 67.640 km en la red primaria de agua y 443.683 km en la red secundaria. El 29 de diciembre la Ley Orgánica del D.D.F., divide al Distrito Federal en 16 delegaciones eliminando los doce cuarteles y repartiéndolos en las delegaciones. Surgen en la delegación las colonias Alta Vista, Lomas de Santo Domingo y Cristo Rey.
- 1971–1980** Dentro de la delegación surgen las colonias Miguel Hidalgo, Olivar de los Padres, La Herradura, Loma Bonita, Lomas de los Ángeles, Ampliación las Águilas, San Clemente, Ampliación Los Alpes, Colina del Sur, 2ª y 3ª sección de Olivar del Conde, Lomas de Cápula, Barrio Norte, Minas de Cristo, Nicanor Arvide, Francisco Villa, Lomas de Becerra, Las Butacas, El Pocito, La Presa, Las Golondrinas, Los Presidentes, Jajalpa, La Mexicana, Lomas de Santa Fe, La Pólvora, Los Pirules, El Árbol, Liberación Proletaria y Piloto López Mateos.
- 1974** Se inaugura el museo Álvaro y Carmen T. de Carrillo Gil en Av. Revolución No. 1608.
- 1975** Se inaugura el 9 de junio la obra de Drenaje profundo, constituyendo la cuarta salida artificial de las aguas de la Cuenca de México. Este sistema de drenaje eliminaba el riesgo de una inundación catastrófica, ya que la plaza de la constitución se encontraba a más de 5 m abajo del nivel de las aguas negras del Gran Canal. Esta magnífica obra está compuesta de dos interceptores y un emisor central; el interceptor oriente con un diámetro de 5 m, una longitud de 10.3 km y una capacidad de conducción de 85 m<sup>3</sup>/s; el interceptor central cuenta con un diámetro de 5 m, con longitud de 7.9 km y una capacidad de conducción de 90 m<sup>3</sup>/s. Estos dos interceptores son recogidos por el emisor central, que cuenta con un diámetro de 6.5 m, su longitud es de 50 km y su capacidad de conducción es de 220 m<sup>3</sup>/s. En conjunto el sistema de drenaje llega a los 68 km de extensión y consta de 35 lumbreras.
- 1980** En este año la distribución del agua potable y el drenaje en la delegación era de la siguiente forma: 75,330 viviendas contaban con agua entubada dentro de la misma, 39,128 se abastecían de llaves públicas o de agua entubada fuera de ellas pero dentro del edificio y 6,971 no contaban con agua; en cuanto al drenaje 88,180 contaban con él y 33,249 no lo tenían.

### 2.3 INFRAESTRUCTURA ACTUAL DE AGUA POTABLE

El nivel de servicio de agua potable en la delegación Álvaro Obregón es del 100 por ciento, cuyas principales fuentes de abastecimiento son los volúmenes aportados por los pozos de los sistemas Lerma y Cutzamala, junto con los ubicados en el perímetro delegacional que son administrados por la DGCOH y particulares, complementándose con los del sistema de manantiales del poniente de la ciudad de México, como se observa en el plano 1. El Ramal Sur del Lerma conduce los gastos que abastecen a la delegación, proveniente del sistema de pozos profundos del valle de Lerma hacia la ciudad de México, en tanto que el Acueducto Periférico conduce el agua proveniente del sistema Cutzamala, derivándose tres líneas que se conectan al Ramal Sur del Lerma, complementando el suministro de agua a la población de la delegación. En este apartado se presentan tablas con la principal infraestructura que administra la DGCOH, siendo la relación siguiente un resumen de esta infraestructura.

Tabla 3.1 Resumen de la infraestructura de agua potable

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Unidad</i>
Manantiales	5	Manantial
Pozos operados por la DGCOH	35	Pozo
Pozos particulares	5	Pozo
Acueducto	17,400	m
Tanques de agua potable	68	Tanque
Plantas de bombeo y rebombeo	17	Planta
Red primaria (diámetro igual o mayor a 50 cm)	64.6	km

#### 1.1.1 Captación, conducción e interconexión

##### 1.1.1.1 Manantiales

Tabla 3.2 Relación de manantiales existentes en la delegación

<i>No.</i>	<i>Manantial</i>	<i>Subsistema</i>	<i>Alimenta a:</i>	<i>Beneficia a:</i>
1	Sta. Rosa Xochiac	Independiente	Tanque AO-16	Santa Rosa Xochiac
2	San B. Ameyalco	Independiente	Tanque Morelos	San Bartolo Ameyalco
			Tanque AO-15	San Bartolo Ameyalco
			Tanque Zacamulpa	San Bartolo Ameyalco
3	Santa Fe	A. Obregón	Tanque Palo Alto	Lomas de Bezares
			Tanque Santa Fe 2	Santa Fe y COVE
4	El Ranchito (*)	Independiente	Tanque Santa Lucía	Santa Lucía
5	Xometitla (*)	Independiente	Tanque AO-17	Santa Rosa Xochiac

Fuente: Dirección Técnica, DGCOH, GDF, 1999.

Nota: (\*) Manantiales ubicados en Cuajimalpa.



### Acuíferos y pozos

El acuífero de esta delegación se encuentra localizado en la zona geohidrológica IV, el cual tiene espesores de 200 metros en el poniente y hasta 500 metros al oriente, donde es cubierto por un estrato de sedimentos finos de origen lacustre; los pozos administrados por la DGCOH se encuentran distribuidos en sitios estratégicos de la jurisdicción (tabla 3.2), y los pozos particulares generalmente se ubican en la zona industrial para el consumo de la misma (tabla 3.3).

Tabla 3.3 Pozos operados por la DGCOH

No.	Nombre del pozo	Ubicación	Cauda l (lps)	Área principal de servicio	Observaciones
1	Alta Vista	Cda. de la Cerca, casi esq. Av. Altavista, Col. Alta Vista	36	Colonias Atlamaya, Flor de María y Alta Vista	En operación
2	Alfonso XIII				Fuera de servicio
3	Arenal de San Ángel	Calle Arenal e Ignacio Allende, Col. Hacienda de Guadalupe Chimalistac	55	Colonias Chimalistac, Guadalupe Inn y Lomas de San Ángel Inn	En reparación
4	Avenida Central	Av. Central y C. 10, Col. San Pedro de los Pinos	40	Colonias 8 de Agosto, Tolteca y San Pedro de los Pinos	En operación
5	Axotla	Juárez esq. Morelos, Esc. "Benemérito de las Américas", Col. P. Axotla	15	Colonias Florida y Pueblo Axotla	En operación
6	Barranca del Muerto	B. del Muerto y Av. 5 de Mayo, U. H. Lomas de Plateros		Colonias Barranca del Muerto, Axotla y Mixcoac	Fuera de servicio
7	Campestre	San Carlos y Reynosa, Col. Alta Vista		Colonias San Ángel, Tlacopac y Alta Vista	Cancelado
8	Casso	Prolongación Av. Central y Calle 18, Col. San Pedro de los Pinos	13	Colonias San Pedro de los Pinos, Carola, 8 de Agosto y Tolteca	En operación
9	Castañeda	Av. Centenario s/n, entre Milpa Alta y Gpe. Hidalgo, Col. Merced Gómez	s/d	Colonias Las Águilas, Los Alpes y Merced Gómez	
10	Castañeda 5	Dr. Miranda entre Miguel Ocaranza y Av. Centenario s/n, Col. Lomas de Plateros	37	Colonias Cascada, Molino de Rosas y Lomas de Plateros	En operación
11	Castañeda 6				Cancelado
12	Cristo Rey	Camino Real de Toluca y Calle 10, Col. Cristo Rey	s/d	Colonias Tolteca, Cristo Rey, Victoria 1a. y Carola	Clausurado por mala calidad
13	Gota de Oro				Cancelado

14	Huertas del Carmen	Paseo del Río esq. Secreto, Col. Chimalistac	36	Colonias Chimalistac y Ermita	En operación
----	--------------------	--	----	-------------------------------	--------------

**Tabla 3.3 Pozos operados por la DGCOH (continuación)**

<b>No.</b>	<b>Nombre del pozo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Caudal (lps)</b>	<b>Área principal de servicio</b>	<b>Observaciones</b>
15	Jardines del Pedregal 1	Av. San Jerónimo No. 262 esq. Paseo del Pedregal, Col. Jardines del Pedregal	17	Col. Jardines del Pedregal	En operación
16	Jardines del Pedregal 2	Av. San Jerónimo No. 262, esq. Paseo del Pedregal Col. Jardines del Pedregal		Col. Jardines del Pedregal	Recuperación de nivel
17	Jardines del Pedregal 3	Fuego No. 690, entre Grieta y del Farallón, Col. Jardines del Pedregal		Col. Jardines del Pedregal	Recuperación de nivel
18	Jardines del Pedregal 4B	Av. del Cráter No. 729, Col. Jardines del Pedregal	23	Col. Jardines del Pedregal	En operación
19	Jardines del Pedregal 5B	Picacho 279, entronque Crioque, Col. Jardines del Pedregal		Col. Jardines del Pedregal	
20	Jardines de San Jacinto	Dr. Gálvez esq. Plaza San Jacinto, Col. San Ángel	39	Cols. Agrícola y Chimalistac	En operación
21	Lomas de San Ángel Inn	Calle Vergel, esq. Calle de la Loma, Col. Lomas de San Ángel Inn		Cols. La Herradura y Lomas de San Ángel Inn	Para reposición
22	Merced Gómez 1	Tacuba esq. 5 de Mayo, Col. Merced Gómez		Col. Merced Gómez	Fuera de operación
23	Merced Gómez 2	Av. Centenario esq. Alta Tensión, Col. Merced Gómez		Cols. Las Águilas y Los Alpes	Para reposición
24	Olivar del Conde	Cda. Calle 7 y Av. del Rosal, Col. Olivar del Conde		Red y Olivar del Conde	Cancelado
25	Olivar de los Padres	Av. Toluca esquina Transmisiones, Col. Olivar de los Padres	6	Cols. Tizampano y Miguel Hidalgo	En operación
26	Periférico 22 ( Directo 22J)				

27	Santa Lucía	Calle de Santa Cecilia s/n, Col. Hogar y Redención	35	Cols. Olivar del Conde, 2a. Secc. Olivar del Conde y Hogar y Redención	En operación
28	Santa Lucía Mixcoac				En rehabilitación
29	Santa Fe N° 1				

Tabla 3.3 Pozos operados por la DGCOH (continuación)

<b>No.</b>	<b>Nombre del pozo</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Caudal (lps)</b>	<b>Área principal de servicio</b>	<b>Observaciones</b>
30	Tacubaya 1	Campo Florido y Canario, Col. Bellavista		Red general, Col. Bellavista	
31	Tacubaya 2	Av. Minas entre Sur 122 y 3a. Cda. Acueducto, Col. Cove		Tanque Fabriquita, Col. Cove	Fuera de servicio
32	Tacubaya 3	Prolongación Artificios y Cda. Artificios, Col. Belén de las Flores	13	Cols. Belén de las Flores, Pólvora y Capulín	En operación
33	Tetelpan	P. de Tetelpan, Km. 18 carretera al Desierto de los Leones	13	Cols. La Peñita, San José del Olivar y Alcantarilla.	En operación
34	Tizapán (*)	Calle Morelos, entre Av. Toluca y Veracruz, Col. Tizapán	51	Cols. Progreso, La Otra Banda y Tizapán.	Recuperación de nivel
35	Jardines del Pedregal N° 5			Col. Jardines del Pedregal.	Recuperación de nivel
<b>TOTAL</b>					

Fuente: Dirección de operación, DGCOH, GDF, 1999.

Nota: \* Instalación automatizada.

Tabla 3.4 Pozos particulares

No.	Propietario / nombre del pozo	Ubicación
1	Fábrica de Papel Loreto y Peña Pobre, S.A. (3 pozos)	Altamirano No. 4, Col. San Ángel
2	Círculo Francés de México, A.C.	Av. Francia No. 75, Col. Florida
3	Televisa, S.A.	Blvr. Adolfo López Mateos No. 232, Col. Lomas de San Ángel Inn
4	Inmuebles e Inversiones, S.A.	Av. San Antonio No. 425, Col. Arvide
5	Panteón Jardín, S.A.	Carretera al Desierto de los Leones Km. 14 ½, Col. Flor de María

Fuente: Dirección de Servicios Hidráulicos a Usuarios, DGCOH, GDF, 1999.

Nota: En caso de requerir información sobre su caudal consultar a la Comisión de Aguas del D. F.

### Acueductos

Tabla 3.5 Relación de acueductos

Nombre	Ubicación		Diámetro o (cm)	Longitud (m)		Abastece a la delegación por las derivaciones
	Calles	Colonias		Total	En la deleg.	
Ramal Norte del Lerma	Carretera México-Toluca y Constituyentes	San Gabriel, Lomas de Santa Fe, Belén de las Flores, Estado de Hidalgo, Las Américas y Acueducto	122		7,000	Línea Vista Hermosa- Constituyentes
Ramal Sur del Lerma		Paseo de las Lomas, Villa Verdún, Rancho San Francisco, Rincón de la Bolsa y Torres de Potrero	320	10,000	4,900	Santa Lucía, Las Águilas y Las Torres
Ramal del Acueducto Periférico		San Bartolo Ameyalco y Lomas de la Hera	400		5,500	Santa Lucía, Villa Verdún y Las Torres

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF, 1999.

**Líneas de interconexión**

Tabla 3.6 Líneas de interconexión

<b>Estructuras que conecta</b>	<b>Ubicación</b>		<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Longitud (m)</b>	
	<b>Calles</b>	<b>Colonias</b>		<b>Total</b>	<b>En la deleg.</b>
Línea Sta. Lucía: Trifurcación Sta. Lucía-Tanques Sta. Lucía Circular, 5, 4, 3, 2, y 1	San Isidro, Desierto del Colorado, Guadalupe Victoria, Av. Tamaulipas y Av. Sta. Lucía	Reacomodo Santa Lucía y Santa Lucía	122	12,640	8,380
Línea Sta. Fe: Manantial Sta. Fe-Tanques Liberación y Becerra	Cda. Loma de Zamora y Camino a Sta. Fe	Santa Fe, La Mexicana, La Cebada y Lomas de Becerra	51	2,650	2,650
Línea Centenario: Tanque Villa Verdún-Tanques Bosques de Tarango, AO-1, AO-3, AO-4, AO-5, AO-6 y AO-12	Av. Centenario	Villa Verdún, Bosques de Tarango, Cooperativa Ceguayo, Tlacuitlapa, Lomas de Puerta Grande, Valentín Gómez Farías, La Martinica, Centenario y Lomas de Tarango	30 y 51	6,380	6,380
Línea Las Águilas: Portal 29-Tanques Las Águilas 6, 5, 4, 3, 2,1 y Oscilador Liga Maya	Calz. de las Águilas	L. de Axomiatta, L. de Gpe., Lomas de las Águilas, Pte. Colorado San Clemente, Ampl. Las Águilas, Ampl. Los Alpes y las Águilas	30 y 51	7,940	7,940
Línea Portal 29–El Olivar: Portal 29–Tanques Colegio de Policía, AO-27, Alcantarilla, Lienzo y El Olivar	Av. Toluca, Calz. Olivar de los Padres y Calz. Desierto de los Leones	Rincón de la Bolsa, Alcantarilla, Olivar de los Padres y San José del Olivar	15, 30 y 51	5,840	5,450
Línea Vista Hermosa- Constituyentes: Trifurcación El Cartero-Tanques Pólvora, Palo Alto, Maderos 3, Maderos 2 y La Fabriquita 1 y 2		Lomas de Vista Hermosa, Palo Alto, San Gabriel, Lomas de Santa Fe, Lomas Altas, Las Américas y Sears Roebuck	30 y 122	8,860	7,360
Línea Las Torres: Derivación Las Torres-Tanques CAO-8, Torres 4, Mimosa, AO-14, AO-29 y Oscilador Jardín del Arte	Av. de las Torres, Glaciar, Av. Torres de Ixtapantonco, Consa y Río de la Magdalena	Torres de Potrero, La Angostura, Olivar de los Padres, Tizapán, Barrio Loreto y Copilco El Bajo	122	12,380	7,180

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF, 1999.

**Almacenamiento y bombeo**

**Tanques**

Tabla 3.7 Relación de tanques

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Capacidad (m³)</b>	<b>Tirante máximo (m)</b>	<b>Elevación (msnm)</b>	<b>Recibe agua de:</b>	<b>Distribuye a:</b>
81	Sta. Lucía 5	Lerma y San Francisco por Av. Tamaulipas, Col. Corpus Christi	7,500	5.00	2,514	T. Circular Santa Lucía	T. Sta. Lucía 4, Cols. Sta. Lucía y Corpus Christi

**Plantas de bombeo**

Tabla 3.8 Plantas de bombeo y rebombeo

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Recibe agua de:</b>	<b>Envía agua de:</b>	<b>Caudal (lps)</b>
1	San Bartolo Ameyalco	Carr. al Desierto de los Leones y Cedros (km 23.5), Col. San Bartolo Ameyalco	Manantial San Bartolo Ameyalco	Tanque Morelos y San Bartolo Ameyalco	70
2	Morelos	Morelos y Vicente Guerrero, Col. San Bartolo Ameyalco	Planta de bombeo San Bartolo Ameyalco	Tanque Zacamulpa	40
3	Santa Fe	Pasaje Bellavista s/n y Cda. Vasco de Quiroga, Col. Pueblo de Santa Fe	Manantial Santa Fe	T. Sta. Fe y L. de Bezares	36
4	Santa Fe 1	Progreso y Corregidora, Col. Pueblo de Santa Fe	Planta de bombeo Santa Fe	Santa Fe	60
5	Trif. Judío Lerma	Crisantemo y Morelos, Col. Torres de Potrero	Planta de bombeo AO-8	Tanque Torres 4, Col. Torres de Potrero	180
6	AO-8	Av.de las Torres y Av. Azahares, Col. Torres del Potrero	Rebombeo El Judío	Tanque la Hera y Col. La Hera	10
7	Cedros	Reims s/n y Montpellier, Col. Villa Verdum	--	--	32
8	El Caballito	Arboledas frente a Cda. Cerezo, Col. Paraje del Caballito	--	--	15
9	Santa Rosa Xochiac	Real de Guadalupe y Ojo de Agua, Col. Santa Rosa Xochiac	--	--	20

10	Tlayacapa	Av. San Isidro, entrada por Prados de la Montaña, Clubo de Golf Prados de la Montaña	--	--	410
11	Trif. Judío Cutzamala	Olimpia entre Cda. de Cedros y Cda. de Pinos, Col. Lomas de los Cedros	--	--	15
12	Villa Verdum	Calzada de las Águilas y Reims, Col. Villa Verdum	--	--	56
13	La Era AO-10	Alcanfores y Av. del Trabajo, Col. Lomas de la Era	Planta de bombeo AO-8	Tanque El Limbo	30
14	Axomiatla	Calz. de Las Águilas s/n y Ulises, Col. Lomas de Axomiatla	Planta de bombeo Axomiatla 2	Tanque Zacamulpa	10
15	El Limbo	Av. 29 de Octubre y Flor de Valencia, Col. Lomas del Chamontoya	Rebombeo La Hera	Tanque El Capulín, Col. Lomas del Limbo	70
16	Axomiatla 2	Av. Las Águilas y Agamenón, Col. Lomas de Axomiatla	Planta de bombeo Portal 29	Rebombeo Axomiatla 2	65
17	Portal 29	Reims y Montpellier, Col. Villa Verdún	Acueducto Lerma Ramal Sur	Tanque Axomiatla	40
18	Jardines del Pedregal No. 4-A	Av. Cráter No. 729 y Colegio, Col. Jardines del Pedregal	Tanque Jardines del Pedregal No. 4	Col Jardines del Pedregal	60

Tabla 3.8 Plantas de bombeo y rebombeo

No	Nombre	Ubicación	Recibe agua de:	Envía agua de:	Caudal (lps)
19	Picacho	Picacho No. 279 y Crioque, Col. Jardines del Pedregal	--	--	85
20	Jardines del Pedregal No. 5-A	Av. Picacho entronque Crioque, Col. Jardines del Pedregal	Tanque Jardines del Pedregal No. 5	Col Jardines del Pedregal	30
21	Jardines del Pedregal No. 5-B	Av. Picacho entronque Crioque, Col. Jardines del Pedregal	Tanque Jardines del Pedregal No. 5	Col Jardines del Pedregal	30
22	Jardines del Pedregal No. 6-A	Av. Cascada No. 246, entre Crater e Iglesia, Col. Jardines del Pedregal	Tanque Jardines del Pedregal No. 6	Col Jardines del Pedregal	40
23	Portal 29 Nuevo	Reims y Montpellier, Col. Villa Verdum	--	--	241
<b>T O T A L</b>					<b>1,645</b>

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF, 1999.

**Distribución****Red primaria**

La red primaria la integran tuberías con diámetro mayor o igual a 50 centímetros, la cual tiene una longitud de 64.6 kilómetros.

Tabla 3.9 Red primaria

<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (km)</i>
50.00	31.30
91.50	0.80
122.00	28.90
183.00	1.20
Mayor a 183.00	2.70
<b>T O T A L</b>	<b>64.90</b>

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF.

**Red secundaria**

Se cuenta con 834.9 kilómetros de tubería con diámetro menor a 51 centímetros.

Tabla 3.10 Red secundaria

<i>Diámetro (cm)</i>	<i>Longitud (km)</i>
40.00	0.60
30.00	104.80
25.00	11.30
20.00	10.80
15.00	161.00
10.00	520.00
7.50	14.20
5.00	6.10
Menor a 5.0	6.10
<b>T O T A L</b>	<b>834.90</b>

Fuente: Dirección de Operación, DGCOH, GDF, 1999.



## Tomas domiciliarias

Tabla 3.11 Consumos domésticos de agua potable por hogar

<b>No. de habitantes por hogar</b>	<b>No. de hogares</b>	<b>No. total de habitantes</b>
1	613	613
2	0	0
3	2,043	6,130
4	2,683	10,731
5	2,295	11,475
6	1,501	9,008
7	916	6,409
8	560	4,484
9 y más	70,720	636,476
<b>TOTAL</b>	<b>149,864</b>	<b>685,327</b>

Fuente: Distrito Federal, Censo de Población y Vivienda 95, Resultados Definitivos, Tabuladores básicos, INEGI.

Tabla 3.12 Número de tomas con gran consumo, no domésticas registradas por diámetro

<b>Diámetro</b>	<b>No. Tomas</b>
13	67
19	369
25	265
32	31
38	56
51	65
64	3
76	17
102	6
150	**
200	**
250	**
<b>T O T A L</b>	<b>879</b>

Fuente: "IX Censo Industrial, 1990" "IX Censo Comercial, 1990" "IX Censo de Servicios, 1990" INEGI.

Nota: \*\* No se cuenta con la información.

## 2.4 DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

Actualmente la delegación cuenta con un 100 por ciento de cobertura del servicio de agua potable en aquellas zonas consideradas regulares, para cubrir el servicio de distribución cuenta con 834.9 km de red secundaria y 64.6 Km de red primaria que se abastecen principalmente del Ramal Sur del Lerma y del Acueducto Periférico, en menor proporción de los manantiales Santa Rosa, San Bartolo Ameyalco, El Ranchito, Santa Fe y Del Partidor; así como con 29 pozos operados por la DGCOH que se encuentran en esta jurisdicción. Ver figura 4.1.

El Ramal Sur de Lerma aporta a la delegación un gasto de 0.870 m<sup>3</sup>/s, por medio de cuatro líneas de conducción: Vista Hermosa - Constituyentes, Santa Lucía, Las Águilas y Las Torres. Por su parte el Ramal Sur del Acueducto Periférico también le abastece mediante tres líneas de derivación, las que se conectan al Ramal Sur del Lerma: Santa Lucía, Villa Verdún y Las Torres con un gasto adicional de 0.865 m<sup>3</sup>/s. Dentro de la delegación el ramal sur del Acueducto Periférico cuenta con una longitud total de 5,500 m con diámetros de 4 metros (Ver figura 4.1), el cual adicionalmente a su capacidad de conducción y ser el principal sistema de distribución de agua en bloque en el Distrito Federal, cuenta solo en su trayectoria dentro de la delegación con una capacidad de almacenamiento de 69,000 m<sup>3</sup>.

### Abastecimiento de la zona norte

La Línea Vista hermosa presenta un diámetro que va de 0.30 a 1.22 m. de diámetro y parte del tanque El Cartero para alimentar al tanque Palo Alto a través de una línea de 20". De este tanque se alimentan los tanques de La Curva, La Pólvora, así como el tanque rompedor 2 Santa Fe. De este último se alimenta el Tanque Unidad Belén.

Este último tanque (Palo Alto), abastece al tanque Madereros 4 y este al Madereros 3; del tanque Madereros 3 se alimentan el tanque La Vereda y al Madereros 2 y este último a los tanques Fabriquititas 1 y 2. Los tanques Fabriquititas también reciben agua del manantial Santa Fe. Las colonias beneficiadas son Belén de Las Flores, Las Américas, Acueducto y El Capulín.

Las líneas y los tanques antes señalados proporcionan a la parte norte de la delegación presiones altas que alcanzan hasta los 2 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual aunado a la antigüedad de las tuberías, con edad entre los 15 y los 35 años, el tipo de material de los tubos (extru-pak) y su bajo mantenimiento genera un alto índice de fugas, que alcanzan de acuerdo a informes de la DGCOH del análisis de fallas por fugas valores del 10 al 15%.

### Abastecimiento de la zona central norte

A partir de la Trifurcación Santa Lucía se inicia la línea Santa Lucía con longitud de 12.64 Km con tubería de 48" de diámetro. El tanque denominado Santa Lucía se alimenta de la trifurcación por medio del rebombeo Tlayacapa. El tanque Santa Lucía 5 es abastecido por la trifurcación Santa Lucía. El Santa Lucía 5 alimenta el tanque Tamaulipas y a su vez este al tanque Jacarandas. El tanque Águilas 5 también abastece al tanque Santa Lucía 4. Del tanque Santa Lucía 4 se alimenta el tanque AO-24, este a su vez alimenta al AO-25 y este al AO-26. También el Santa Lucía 4 alimenta al AO-23 y este al AO-22. El tanque Santa Lucía 4 alimenta al tanque Santa Lucía 3.

El tanque Santa Lucía 3 alimenta al tanque Santa Lucía 2 y de este se alimenta al tanque Batallón de San Patricio. Del tanque Santa Lucía 2 se alimenta el tanque Santa Lucía 1. A partir de este último se alimenta a la Delegación Benito Juárez. Las colonias beneficiadas son: Santa Lucía, Ampliación Piloto, Garcimarrero, Presidentes, Colinas del Sur, Olivar del Conde, Lomas de Tarango, Puerta Grande, Herón Proal, Hogar y Redención, Alfonso XIII, La Cascada, entre otras más.

### **Abastecimiento de la zona central sur**

A partir del Portal 29 se inicia la línea Las Aguilas con longitud de 5.7 Km de tubería de 48" de diámetro. Del Portal 29 se alimenta el tanque Aguilas 6; de este se alimenta el tanque Aguilas 5. El tanque Aguilas 5 alimenta al AO-20 y de este se alimenta el AO-21, ambos Fuera de operación. El Aguilas 5 alimenta al tanque Aguilas 4; y este al tanque Aguilas 3. Este último alimenta al tanque Aguilas 2. Del Aguilas 2 se alimenta el tanque Oscilador Liga Maya. El conjunto de tanques de esta línea beneficia a las colonias: Lomas de Guadalupe, Lomas de las Aguilas, Puente Colorado, San Clemente, Segundo Parque, Tercer Parque, Ampliación Las Aguilas, Los Alpes, Ampliación Alpes, y Las Aguilas, Tlacopan, Campestre.

Cabe mencionar que los tanques El Lienzo y Oscilador Jardín del Arte, alimentan además a las delegaciones Coyoacán y Benito Juárez respectivamente.

Línea Villa Verdún, inicia en el tanque El Portal 29, con una tubería de 12 pulgadas de diámetro (30 cm), abastece al tanque - planta de bombeo Axomiatla, por una parte beneficia a la colonia Lomas de Atacaxco y además eleva el agua a los tanques Axomiatla y Villa Verdún 1 y 2; del nuevo rebombeo Portal 29 se alimenta al tanque Nuevo Villa Verdún con capacidad de 50,000 m<sup>3</sup>, de este parte una línea de 20 pulgadas (50 cm) que se desarrolla por la Av. Centenario que abastece al tanque: Bosques de Tarango; este a su vez, alimenta al tanque AO-1; Este último tanque alimenta al AO-2 y AO-3. El tanque AO2 alimenta al tanque AO-4 y al AO-5, este último Fuera de servicio. Las colonias atendidas por ésta línea son: Bosques de Tarango, El Rincón, Tlacuitlapa, 1er. Reacomodo Tlacuitlapa, Balcones de Ceguayo, Punta Ceguayo y Reacomodo Palmas Axotitla Del rebombeo Portal 29 se alimenta el tanque Colegio de Policía, de este continua la línea de conducción para alimentar al tanque AO-27 y este último alimenta al tanque Alcantarilla.

### **Abastecimiento de la zona sur**

Línea Las Torres, inicia en la trifurcación El Judío con una longitud de 8.6 km. y un diámetro de 48 pulgadas (122 cm), su trazo se realiza sobre la Av. del mismo nombre; en su recorrido interconecta a los tanques de regulación y almacenamiento Torres 4, Mimosa, Lienzo, CAO y Oscilador Jardín del Arte. A partir del tanque El Lienzo se alimenta al tanque AO-29. El pozo San Angel Inn alimenta al tanque El Olivar.

### **Abastecimiento de la zona poniente**

Del Ramal Lerma Norte surte al rebombeo Tlayacapa que abastece al tanque Ibero. Los manantiales de San Bartolo Ameyalco surten al rebombeo Morelos que envía su caudal al tanque Zacamulpa. También del manantial Santa Fe se alimenta al rebombeo Santa Fe 1 que abastece al tanque Santa Fe 2; además, del rebombeo Santa Fe 1 se envía una parte del caudal al rebombeo Santa Fe 2 que surte al tanque La Curva.

Los manantiales que abastecen a la delegación Alvaro Obregón, aportan un caudal de 0.193 m<sup>3</sup>/s, y son: el Santa Rosa que abastece al tanque AO-16, San Bartolo Ameyalco que alimenta a los tanques Morelos, Zacamulpa y al AO-15, el manantial Santa Fe que alimenta a los tanques Fabriquititas, Pólvora, AO-30 y AO-31. Los manantiales el Ranchito y Repartidor alimenta al conjunto de tanques de Santa Rosa Xochiac 1, 2, 3, 4, 5, 6, y al tanque AO-17. Estos manantiales benefician a las colonias del mismo nombre a través de descargas directas a la red o con el apoyo de tanques de almacenamiento.

### **Abastecimiento de las partes altas**

También existen diversas plantas de rebombeo que se encargan de elevar el agua a zonas urbanas localizadas por arriba de la cota de servicio que dan los acueductos del poniente, entre estas se tienen las siguientes: Rebombeo El Judío que alimenta al rebombeo AO-8 el cual a su vez envía el agua al tanque AO-7, que beneficia a la colonia Torres del Potrero; también del rebombeo AO-8 se alimenta al rebombeo de La era que surte al tanque Limbo, el cual beneficia al tanque Capulines y a la colonia Lomas del Limbo. El rebombeo Axiomiatla surte al tanque Axiomiatla 2 que dota del servicio a la colonia Lomas de Axiomiatla.

El rebombeo localizado en el Portal 29, que se alimenta del Ramal Lerma Sur, envía su caudal al rebombeo Axiomiatla 1, que surte a los tanques Axiomiatla y Villa Verdún; del Axiomiatla 1 se envía parte al rebombeo Axiomiatla 2 para abastecer al tanque Zacamulpa. Del mismo rebombeo del Portal 29 se alimenta al rebombeo Cedros que abastece a la colonia Rancho San Francisco. A su vez, del tanque Villa Verdún se alimenta al rebombeo Villa Verdún que beneficia a la colonia Villa Verdún.

### **Abastecimiento con pozos profundos**

De los 29 pozos con que cuenta la delegación, sólo 20 se encuentran en operación; los cuales aportan un gasto conjunto de 0.545 m<sup>3</sup>/s. Estos pozos abastecen directamente a la red de distribución de sus localidades.

En cuanto a la presencia de fugas, la delegación ocupa el segundo lugar en cuanto al número de fugas reparadas, 13.7% de 42,242 fugas en el D.F., este alto porcentaje refuerza la idea de la existencia de un gran volumen de agua perdida en redes de distribución y tomas domiciliarias.

Por otra parte, existen diversos asentamientos carentes del servicio de agua potable, entre los cuales se pueden señalar los siguientes: Belén de las Flores, El Paraíso, Lomas de Becerra, Santa Lucía, Tetlalpan, El Rincón, Ampliación Puente Colorado, El Mirador, Cascada, Milagrosa, Tlahuitalpa y Corpus Christi.

## 2.5 PROBLEMÁTICA DEL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

En los últimos años se ha presentado una gran inmigración en esta delegación, lo cual se ha reflejado en los altos valores de la tasa de crecimiento, pues como se ha podido apreciar en los datos de población, ésta se incrementó de 456,709 habitantes en 1970 a 725,630 lo que ha originado una serie de problemas entre los que destacan el suministro insuficiente de agua potable, irregularidad en la tierra, asentamientos anárquicos situados en lugares inadecuados o que han rebasado la cota de servicio y algunos de los cuales tienen pendientes muy pronunciadas mismos que presentan problemas técnicos de abasto.

En algunas colonias existe baja presión ocasionada principalmente por la falta del líquido, la mala operación de las válvulas obsoletas hacen que el suministro del líquido escasee en las redes de distribución que se conectan a los tanques.

En lo referente a altas presiones, estas se presentan con mayor frecuencia, debido al exceso de la carga hidráulica originada por las grandes pendientes que existen en la zona, en donde estas llegan a ser mayores a 50.

El exceso de presión en las tuberías trae como consecuencia un alto índice de fugas en la red primaria y secundaria, se ha observado que el mayor número de fugas se presentan en los meses de Mayo, Julio, Octubre, Noviembre y Diciembre, esto se debe probablemente a que la demanda de agua, en algunos meses es menor; por lo que la presión en la red donde se tiene equipo de bombeo tiende a incrementar debido a la operación inadecuada de las válvulas; por otro lado, al saturarse el suelo, este tiende a reblandecerse, originando con ello pérdidas de soporte en la tubería que no cumple con el colchón mínimo y con la carga del tránsito vehicular, se genera la ruptura de los conductos.

### Zonas con servicio intermitente o faltas de agua

La falta de un control técnico de las válvulas que componen el sistema hidráulico de la delegación ha provocado el manipuleo del sistema de manera empírica, provocando un servicio tandeado y especulativo, ya de cuerdo al caudal ofertado por la DGCOH a la población de la delegación, este puede proporcionar una dotación de 431 l/hab/día, muy superior al especificado en el Reglamento de Construcciones del Gobierno del Distrito Federal, el cual señala una dotación de confort de 150 l/hab/día.

Por otra parte, es necesario continuar con las interconexiones de la red primaria y ampliar la red secundaria, siendo necesario definir una política operativa de los tanques que permita dejar en sus zonas de influencia el agua requerida por la población y permitir el traslado de volúmenes de agua potable hacia las delegaciones deficitarias del oriente del Distrito Federal.

Tabla 5.1 Zonas con servicio intermitente o faltas de agua potable

No.	Colonia	Calles	No. de habitantes	Frecuencia u horario	Orientación	Abastecida por:
AP-1	Pueblo de San Bartolo Ameyalco	Toda la colonia	2,000	Constantes faltas de agua	Sur	Tanque Zacamulpa
AP-2	La Angostura	Toda la colonia	1,000	Constantes faltas de agua	Sur	Tanque Zacamulpa
AP-3	Pueblo Santa Rosa Xochiac	Partes altas	3,000	Tandeo 3 a 4 veces por semana	Suroeste	Manantiales
AP-4	Lomas de Chamontoya	Toda la colonia	5,000	Tandeo 3 a 4 veces por semana	Suroeste	Tanque Limbo

AP-5	Tlacoyaque	Toda la colonia	2,500	Tandeo 3 a 4 veces por semana	Suroeste	
AP-6	Paraje el Caballito	Toda la colonia	2,000	Tandeo 3 a 4 veces por semana	Suroeste	
AP-7	Las Aguilas Parque	Toda la colonia	2,000	Constantes faltas de agua	Centro	
AP-8	Merced Gomez	Toda la colonia	3,000	Constantes faltas de agua	Centro	
AP-9	Pueblo Santa Fe	Toda la colonia	2,000	Constantes faltas de agua	Noreste	
AP-10	Tizapán	Varias calles	1,000	Constantes faltas de agua	Sureste	
AP-11	Barrio Loreto	Varias calles	500	Constantes faltas de agua	Sureste	
AP-12	Progreso	Varias calles	500	Constantes faltas de agua	Sureste	
AP-13	Villa Verdum	Toda la colonia	1,000	Constantes faltas de agua	Sureste	
AP-14	Pueblo Tetelpan y Olivar de los Padres	Varias calles	2,000	Constantes faltas de agua	Sur	
AP-15	Conjunto Habitacional Tlayapaca	Toda la colonia	2,000	Constantes faltas de agua	Poniente	
AP-16	Lomas de San Angel Inn	Varias calles	3,000	Constantes faltas de agua	Noreste	

Fuente: Dirección Técnica. DGCOH, GDF.

### Zonas con baja presión

Las bajas presiones en la delegación tiene como origen la falta de líneas de interconexión de la red primaria, válvulas en mal estado que se encuentran caídas y la mala operación del sistema, al no tenerse definido una política operativa de las zonas de influencia de los tanques de la delegación.

Tabla 5.2 Zonas con baja presión

No.	Colonia	No. de habitantes	Orientación	Presión en la red kg/cm <sup>2</sup>	Abastecido por:	Causa
AP-17	Jardines del Pedregal	4,000	Sureste	0.5		Falta de tubería de distribución de diámetro adecuado
AP-18	Hacienda de Chimalistac	4,000	Este	0.4		
AP-19	Florida	4,000	Este	0.5		
AP-20	Chimalistac	3,000	Este	0.4		

AP-21	Guadalupe Inn	5,000	Este	0.5		
AP-22	Altavista	4,000	Este	0.5		

Fuente: Dirección Técnica. DGCOH, GDF.

### Zonas con mayor índice de fugas

La problemática de fugas en la delegación tiene como origen la antigüedad de las tuberías, la falta de mantenimiento en las redes y sus accesorios, el servicio tandeado en algunas zonas de la delegación que origina la fatiga de las tuberías y como causas principales el mal estado de las tomas domiciliarias y las altas presiones en algunas zonas de la delegación.

Tabla 5.3 Zonas con mayor incidencia de fugas

No.	Colonia	Calles	No. de fugas	Orientación	% Respecto a la delegación	Causa
AP-24	Olivar de los Padres	Av. Toluca	93	Sur	4.5	Alta presión, zona de minas
AP-25	Molino de Santo Domingo	San José	43	Noreste	8.0	
AP-26	Olivar del Conde	Av. Hidalgo	40	Norte	2.5	Alta presión asociada con hundimiento de terreno zona de minas
AP-27	Águilas	Calzada las Águilas	25	Centro	2.8	
		Cóndor	24		2.7	
AP-28	Presidentes	Adolfo López Mateos	23	Norte	3.0	
AP-29	Lomas de Ángeles de Tetelpan	Calle 2	17	Centro	2.1	
AP-30	Lomas Axiomatla	Calzada las Águilas	17	Centro	1.3	
AP-31	Lomas Tarango	Lomas del Convento	21	Este	1.6	
AP-32	Jardines del Pedregal	Sismo	15	Sureste	3.7	Alta presión con tubería mal instalada en zona rocosa

# CAPÍTULO 3: SECTORIZACIÓN HIDROMÉTRICA



## INTRODUCCIÓN:

Uno de los propósitos del gobierno del Gobierno del Distrito Federal en materia de servicios, consiste en otorgar un abastecimiento de agua potable eficiente, es decir, proporcionar a la población el caudal necesario para cubrir los requerimientos de cada habitante y que este caudal llegue por la red de distribución con la calidad y presión adecuada. No obstante, la magnitud del Sistema de Abastecimiento de la Ciudad de México, impide cumplir cabalmente con este propósito ya que la problemática que enfrenta es diversa y varía espacial y temporalmente, en este contexto las pérdidas ocupan un lugar preponderante, pues se tiene identificado como un fenómeno de ocurrencia en la totalidad de la red y cuantificado en 37% del caudal suministrado, acentuándose en algunas zonas de la región poniente de la ciudad de México cuyas áreas de servicio son abastecidas por una red de distribución limitada por barrancas que llegan a tener desniveles considerables, del orden de 150 m, por lo que estos desniveles tienden a provocar presiones excesivamente altas en áreas extensas de la red, ocasionando colapsos que provocan fugas.

Lo anterior adquiere gran importancia si se considera que la región oriente de la ciudad de México se ha caracterizado en los últimos años por contar con un servicio de agua potable deficiente debido a diversas razones tales como:

- El crecimiento urbano irregular (presionado por la alta migración hacia la ciudad de México), la escasez de vivienda y la baja plusvalía de la tierra en la zona periférica impidieron la oportuna y ordenada planeación de la zona.
- La infraestructura de agua potable existente fue construida en su mayor parte, durante las últimas dos décadas y particularmente en la parte temprana de la década de los noventa, bajo un programa gubernamental de “asistencia social” que aportaba los materiales y dejaba a los futuros usuarios la planeación, ejecución y supervisión de las obras. Por esta razón la eficiencia de lo construido ha sido baja y costosa.

El poniente de la ciudad de México está en las faldas de las sierras de esa zona y es un área con desniveles considerables del terreno y surcada por una serie de barrancas profundas que corren de poniente a oriente.

El abastecimiento de agua potable de esta zona proviene de los conductos que traen agua de los sistemas Cutzamala y Lerma. De los conductos principales se derivan líneas de conducción de poniente a oriente que corren por los lomos entre barrancas y conducen el agua de un tanque a otro mas bajo en una serie de tanques que sirven de controladores de presión, además de su función de regulación de flujos. A partir de estos tanques se abastecen los sectores urbanos de la zona que se encuentran debajo de ellos y limitados por las barrancas.

En la figura 1 se muestra la zona, destacando las curvas de nivel cada 100 m. Puede verse que el abastecimiento de Cutzamala y Lerma llega a alrededor de la elevación 2600 m. y el agua se conduce hacia el oriente bajando rápidamente hasta la elevación 2300 m., es decir 300m. mas abajo.

En la figura se señalan las barrancas que delimitan una serie de sectores urbanos cuyas redes están, o pueden estar, aisladas del resto de la red de distribución.

Se muestran también las líneas principales de conducción que bajan el agua de un tanque a otro mas bajo.

Muchos de estos sectores que son abastecidos por una red de agua limitada por las barrancas llegan a tener desniveles considerables, del orden de 150 m. La figuras 2 y 3 muestran ejemplos de esto en los sectores de Camino al Desierto y Sta. Lucía.

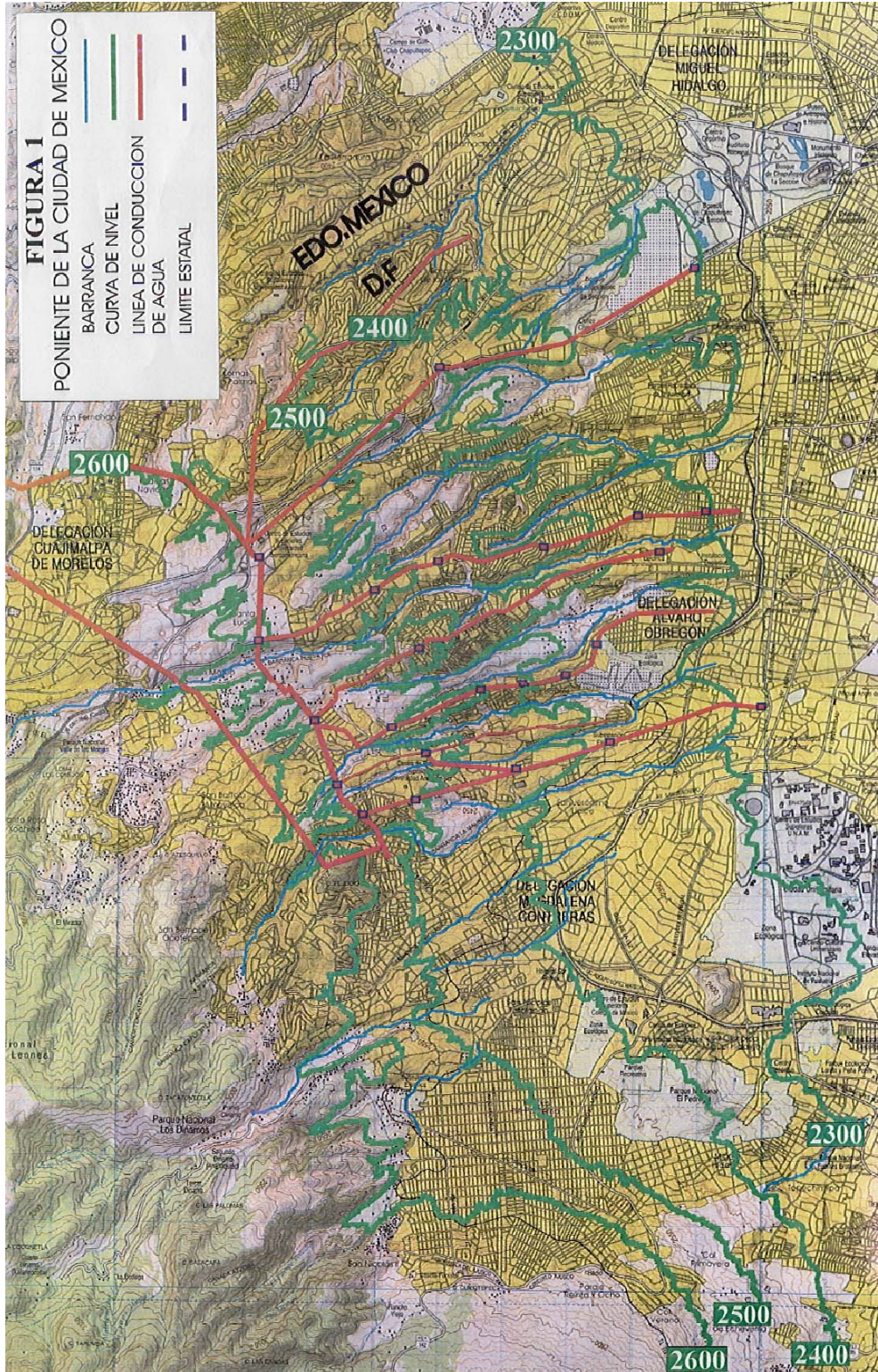
Estos desniveles tienden a provocar presiones excesivamente altas en zonas extensas de las redes. El personal de operación palia este problema cerrando parcialmente una serie de válvulas de seccionamiento que provocan pérdidas de carga para reducir las presiones. En la jerga de los operadores se dice que estas válvulas están “calibradas”.

Sin embargo, durante las horas de la noche se reducen los consumos y los flujos en la red y por lo tanto las pérdidas, tanto las de fricción como las pérdidas locales provocadas por las válvulas “calibradas”, se reducen proporcionalmente al cuadrado de los flujos. Las presiones por lo tanto aumentan considerablemente y la experiencia es que los operadores encuentran con frecuencia fugas visibles por la mañana.

En este trabajo se estudió el área del poniente para proponer la instalación de válvulas reguladoras de presión y de seccionamiento para delimitar sectores de red con presión controlada.

El área del poniente se dividió en cuatro zonas

Cada zona fue dividida en sectores que en forma natural están aislados o que podían aislarse con facilidad y cada sector fue estudiado para ubicar las válvulas mencionadas. Se hizo en cada caso una estimación del ahorro de fugas que se obtendría debido al mero hecho de controlar las presiones.



## Sectorización Hidrométrica

### 3.1 Concepto.

La Sectorización tiene como principio la división de la red de distribución de agua potable en sectores hidrométricos (distritos) definidos a partir de la red primaria que pueden aislarse hidráulicamente del resto la red con movimientos de válvulas de seccionamiento

Esta división tiene como finalidad controlar el flujo en la red (gasto y presión) a través de válvulas de control mejorando la distribución a los usuarios y detectando problemas durante la misma.

Se utiliza entre otras cosas, para precisar un diagnóstico, detectar fugas, facilitar su eliminación y optimizar el control de perdidas de agua.

El personal de operación cierra parcial o totalmente una serie de válvulas para mantener la presión en la red lo mas baja posible y cuyo efecto es reducir las fugas.

Debido a la falta de suficientes válvulas de control y de mecanismos automáticos las presiones suben sobre todo en la noche, especialmente cuando hay desniveles grandes como en el poniente. Debido a la necesidad de mantener bajas las presiones, la conducción de agua de una zona a otra de la ciudad está limitada.

La reparación de fugas en una parte de la red provoca un aumento de presión en otras partes de la misma, y por lo tanto también de fugas, con lo cual la mayor parte del agua ahorrada se pierde en otras zonas. Para que los ahorros se reflejaran en el suministro habría que llegar a reparar la mayor parte de la red. Para acelerar estos resultados hay que sectorizar la red y controlar las presiones en cada sector.

### 3.2 Objetivo

- Distribuir equitativamente entre la población de la Ciudad de México los caudales disponibles de fuentes de abastecimiento propias y externas.
- Cuantificar los caudales suministrados a la red en un periodo de tiempo determinado con el fin de conocer con exactitud las pérdidas.
- Priorizar zonas de rehabilitación de redes y obtener una mayor efectividad en reparaciones futuras.
- Un rango más amplio de planeación al conocer detalladamente el estado de la red por Sectores Hidrométricos.
- La operación en conjunto o separadamente de la red primaria y de la red secundaria.
- Prolongar la vida útil de la red de distribución ya que impide la formación sobrepresiones .
- Realizar programas efectivos de recuperación caudales (abatimiento del índice de fugas).
- Adicionalmente el ahorro se capitaliza como aumento de agua disponible para mejorar el servicio en zonas con déficit..

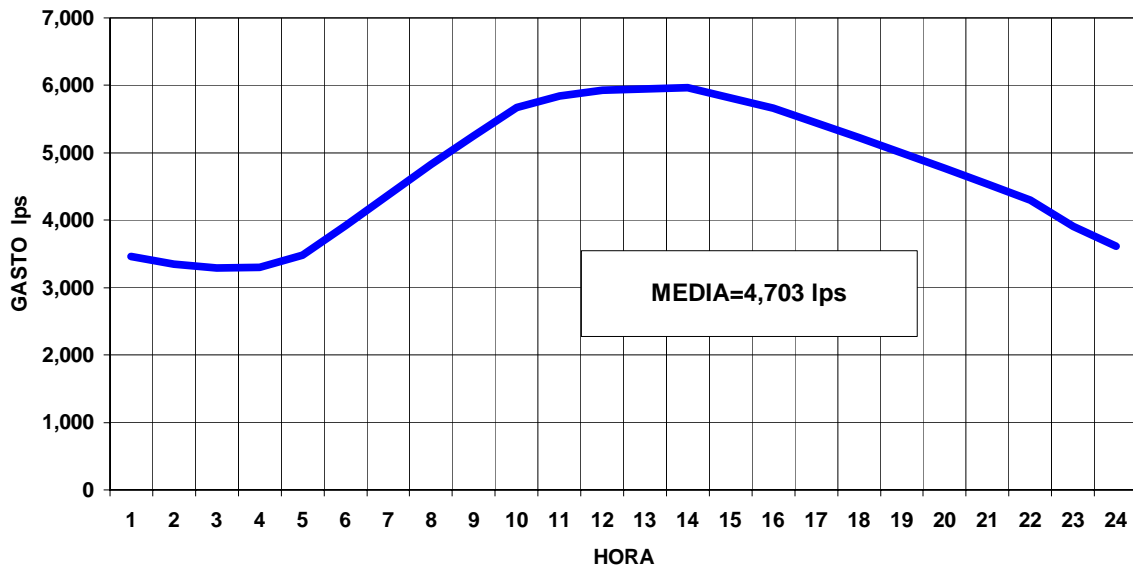


La demanda estimada actual en el área de estudio es de 4,703 lps, las fugas supuestas en la simulación son de alrededor del 40%, es decir unos 1,800 lps.

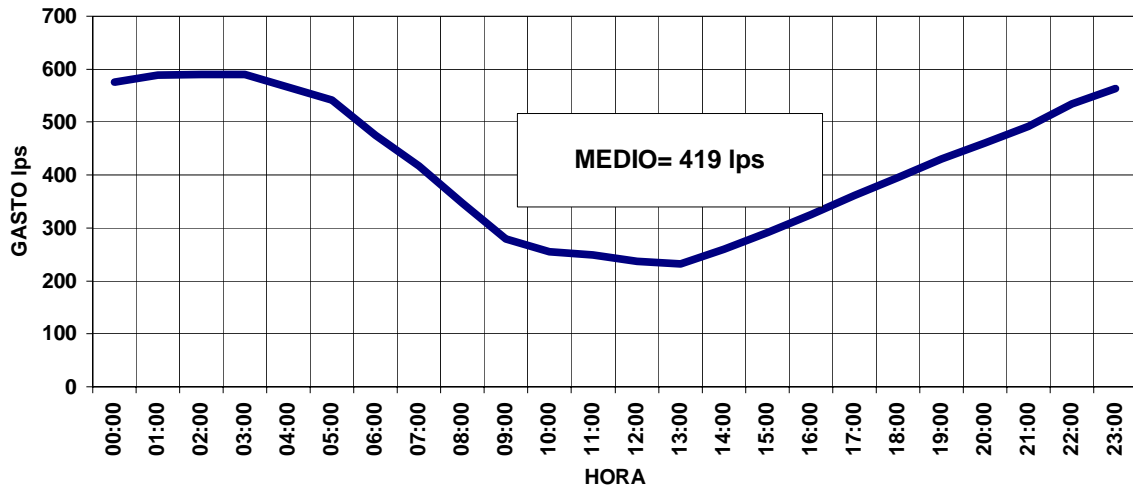
Con la instalación de las válvulas reguladoras de presión se estima un ahorro de 419 lps, para llegar al 30.8% de fugas con respecto a la demanda reducida, aunque como se apuntó anteriormente es de esperar que los ahorros reales sean mayores a estos estimados.

Las gráficas que siguen muestran la demanda actual y al ahorro estimado de fugas con su variación horaria.

**DEMANDA TOTAL DE LA ZONA ESTUDIADA**



## AHORROS ESTIMADOS TOTALES



De los análisis se llegó a la necesidad de instalar 538 válvulas reguladoras de presión con diámetros entre 1 ½ " y 12" y 1080 válvulas de seccionamiento en su mayor parte de 4".

El costo estimado de estas instalaciones es de 80 millones de pesos y dado que el costo marginal del agua para la ciudad de México es actualmente de alrededor de \$10 / m<sup>3</sup>, el ahorro debido a esta disminución de demanda sería de:

$$419 \text{ lps} = 13.2 \text{ mill de m}^3 / \text{año}$$

$$13.2 \text{ mill de m}^3 * \$ 10 / \text{m}^3 = \$132 \text{ mill /año}$$

y considerando una tasa de actualización de un 12%, el beneficio actualizado es de :

$$132 / 0.12 = \$ 1,100 \text{ millones}$$

Es decir la relación beneficio-costos es de:

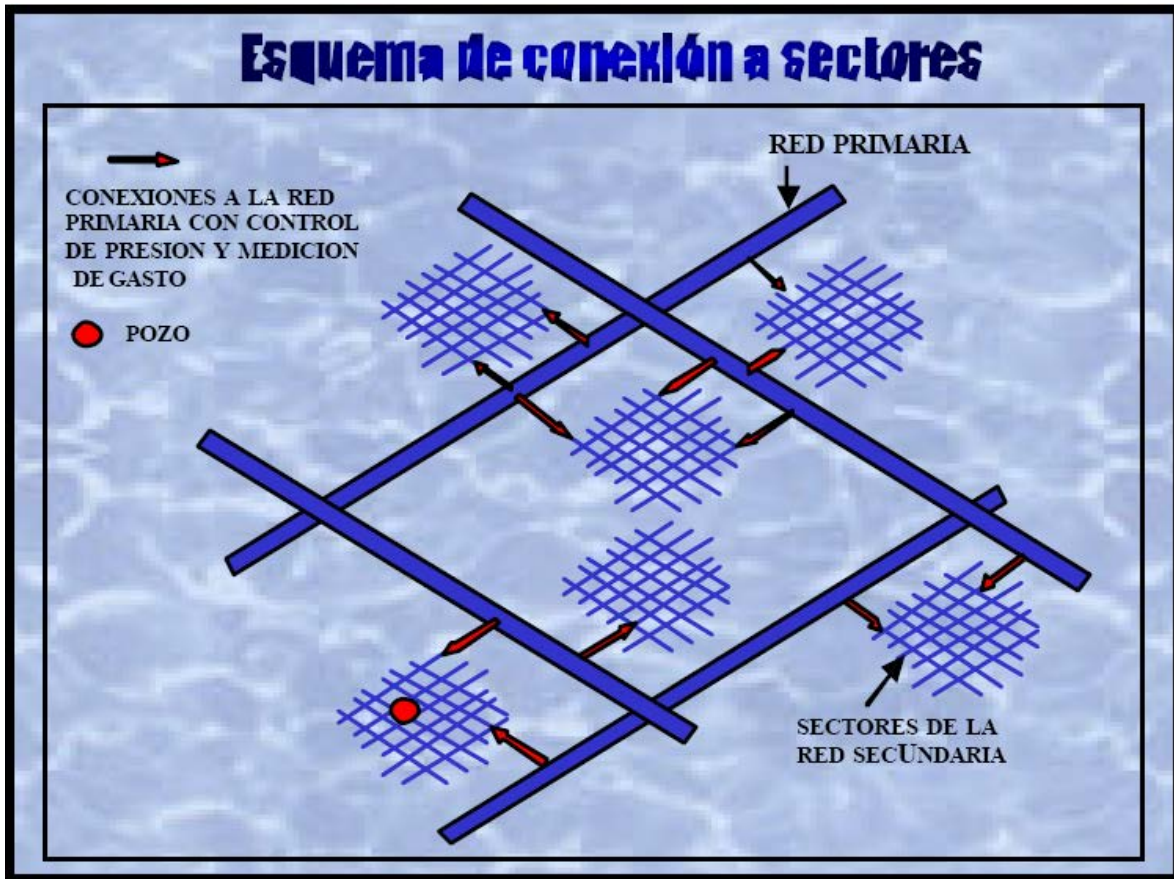
$$B / C = 1,100 / 80 = 14$$

Independientemente de que este control de presiones permitirá realizar la detección y reparación de fugas en forma eficaz como se explicó antes y se podría esperar un ahorro de fugas por estas reparaciones de un gasto semejante al estimado por el solo hecho de controlar las presiones.

Es necesario ampliar la medición de gastos y presiones en toda el área y sería recomendable hacerlo en cada sector antes y después de poner en operación las válvulas reguladoras de presión con lo que conocería el ahorro realmente logrado.



Esquema de la Idea principal de la sectorización.



### Consideraciones para seleccionar el área a sectorizar

Ya sea que se decida sectorizar la totalidad del sistema, o en principio habilitar un sector piloto (cuya área a estudiar se definirá de entre las localidades propuestas por consenso con el Área Técnica del Organismo Operador), se considerará la topografía, la localización e influencia de tanques de almacenamiento y regulación, zonas de presión, divisiones naturales de la red tales como vías de ferrocarril, grandes avenidas, ríos, barrancas, así como la geometría de la red y las políticas de operación.

### 3.3 Control de Presiones en Sectores Hidrométricos

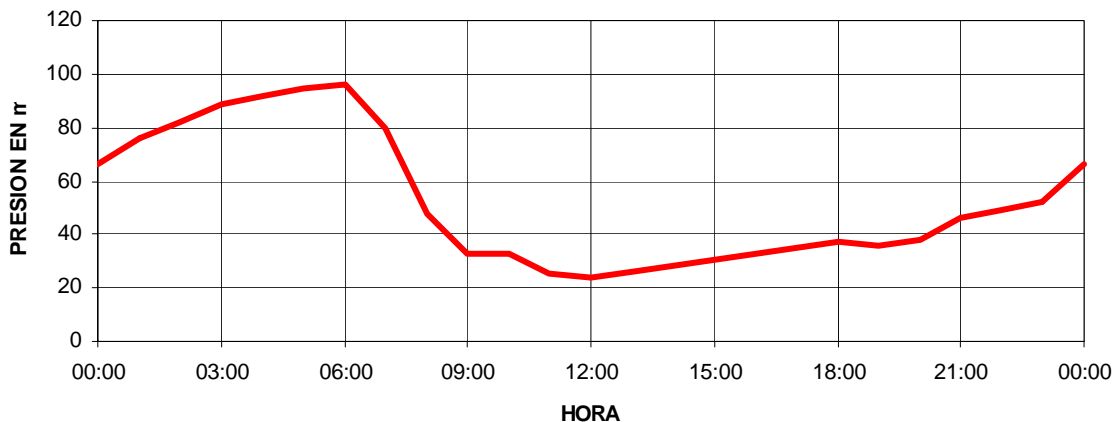
#### NECESIDAD DEL CONTROL DE PRESIONES

Estudios previos realizados por la DGCOH llegan a estimaciones de fugas para toda la ciudad del orden del 40 % del suministro, aproximadamente  $13 \text{ m}^3/\text{seg}$ . Las presiones altas en la zona del poniente contribuyen seguramente en forma importante a este elevado índice de fugas.

La práctica de los operadores de “calibrar” válvulas de seccionamiento controla las presiones en forma mas o menos eficaz durante el día, pero por la noche las presiones aumentan considerablemente. La existencia de fugas provoca que en la noche se mantengan flujos en la red mayores que si no las hubiera y por lo tanto presiones menores que las que se presentarían sin fugas en la red.

**Esto significa que una reparación de fugas en estos sectores disminuiría los flujos nocturnos y aumentaría las presiones que a su vez provocarían mayores fugas en las roturas no reparadas y, peor aún, por la aparición de nuevas roturas.**

Como ejemplo, en la red del sector de Camino al Desierto, el desnivel entre el tanque de abastecimiento (el tanque de la Alcantarilla) y los puntos más bajos de la red es de 160 m. En un punto bajo de la red se midieron las siguientes presiones:



Como se ve en la gráfica, las presiones mínimas son de 25 m y crecen hasta 95m cuando los flujos nocturnos se reducen y por lo tanto las pérdidas provocadas sobre todo por las válvulas calibradas.

Una parte considerable de los flujos nocturnos se debe a las fugas, que deben ser mayores por la noche al aumentar las presiones. Si estas fugas fueran reparadas y se redujeran, por tanto los flujos en la red, las presiones aumentarían para acercarse a los 16 kg/cm<sup>2</sup> (160 m) que es la carga del tanque sobre estos puntos más bajos. Hay que recordar que las pérdidas por fricción y las locales provocadas por las válvulas "calibradas" se reducen con el cuadrado de los flujos.

El fenómeno descrito puede explicar porque la disminución de consumos en la zona del poniente, de alrededor del 15%, que se ha registrado en los últimos tres años, desde que se instaló el servicio medido en forma generalizada, no se refleja en forma notable en los suministros a la red. Es muy probable que estos ahorros en los consumos hayan provocado aumento de presión en la red y el correspondiente de las fugas.

Hay experiencias en otras ciudades (León, Puebla) en donde al aislar un sector y reparar fugas se midieron demandas de agua en ese sector mayores después de la reparación que antes de ella, ante la perplejidad de los operadores. La explicación está en el mecanismo descrito.

La forma de romper este círculo vicioso y lograr que la reparación de fugas sea eficaz, consiste en instalar un control de presiones mediante válvulas reductoras de presión y delimitar zonas de control de presión en cada uno de los sectores. Se logrará así una reducción de fugas por el solo hecho de controlar las presiones e impedir que aumenten durante la noche y que al reparar las fugas no se generen otras por el aumento de presiones consiguiente.

La influencia que tienen las presiones sobre el nivel de fugas se puede ver en una gráfica determinada por el British Water Council a partir de un estudio en varias redes del Reino Unido. En esta gráfica influyen tanto los gastos de fugas debidos a la presión como la incidencia de roturas de la red.

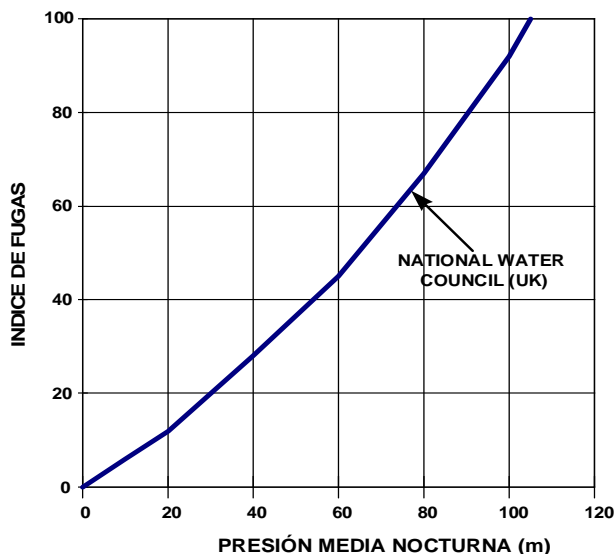
***La lectura de esta gráfica es la siguiente:***

Para 30 m de presión media nocturna se tiene un índice de 20

Para 60 m de presión media nocturna se tiene un índice de 45.

Es decir, la expectativa de fugas sería de más del doble si la presión de la red es de 60 m en vez de 30 m.

**RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y FUGAS**



### 3.4 VÁLVULAS REDUCTORAS Y SOSTENEDORAS DE PRESIÓN

#### VÁLVULA AUTOMÁTICA VAMEX TIPO "Y" REDUCTORA Y SOSTENEDORA DE PRESIÓN MODELO 1134

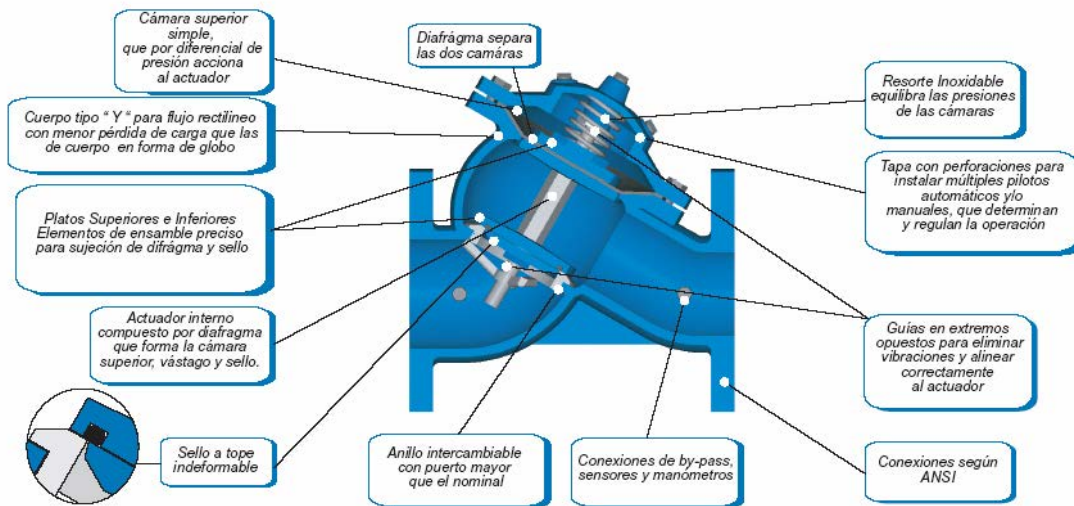
##### FUNCIÓN:

Con el primer piloto sostiene la presión predeterminada a la llegada de la válvula, para en caso de que la demanda aguas abajo sea mayor no permita que toda la presión se descuelgue a la parte baja, solo dejará pasar la presión que exceda la presión a sostener, simultáneamente reduce con el segundo piloto hidráulico la presión de salida manteniéndola estable independientemente de las variaciones de presión a la entrada de la válvula. La válvula automática VAMEX reductora y sostenedora de presión está comandada por dos pilotos externos y que debidamente calibrados permitirán que la válvula principal abra parcialmente y module, cumpliendo simultáneamente dos funciones distintas comandadas por cada uno de los pilotos, la primera es mantener una presión mínima constante reteniendo la presión a la entrada de la válvula dejando pasar la presión excedente siendo que si la presión baja la válvula se ajustara obturando é inclusive cerrando si la presión llegara a ser igual o menos a la preestablecida a sostener, y la presión de salida será controlada para que no exceda la presión que se requiera siendo esta una presión menor controlada a la descarga manteniéndola estable independientemente de las variaciones aguas atrás, al momento de no haber demanda de flujo la válvula seccionará, cuando se reinicie la demanda vuelve a regular, en el caso de que la demanda aumente la válvula .....

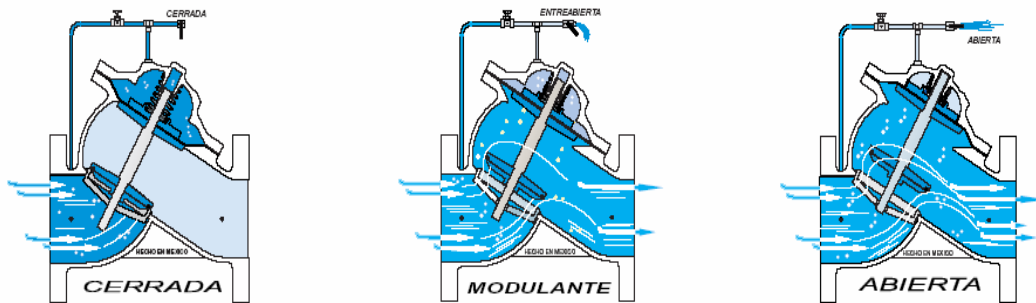
##### PRINCIPIO DE OPERACIÓN

La válvula automática VAMEX opera bajo el principio de diferencial de presiones, maneja todo el flujo en la cámara baja ó principal y la superior en la cual presurizando y despresurizando se equilibra la presión dentro de la válvula permitiendo que abra, cierre ó module, a la entrada de la cámara superior cuenta con una válvula de aguja con la que si la válvula esta muy estrangulada ( parcialmente cerrada) en su descarga a la cámara superior se retardara la velocidad con que se presurice y por consecuencia la velocidad de cierre será lenta y por consecuencia para la apertura será mas rápida, ya que por lo regular la descarga de la cámara superior es mayor a la de la descarga de la aguja, pero si la aguja esta menos estrangulada ( parcialmente abierta) la velocidad de cierre será rápida mas no violenta y por consecuencia para la apertura será lenta ya que aunque la Descarga De la cámara superior es mayor a la de la descarga de la aguja el volumen que esta dejando pasar la aguja es alto y eso provoca que tarde en cerrar en lo que se rompe el equilibrio entre el volumen que entra y el que se descarga con estas acciones nos permitirá tener control en la velocidad de respuesta a la apertura como al cierre. El actuador está diseñado de tal modo que en la cámara superior se tenga una mayor área logrando con esto la operación de la válvula con una mínima presión. VAMEX diseño sus válvulas considerando el cuerpo tipo "Y" por su baja pérdida de carga, por tener un paso recto aunado a un operador de diafragma que en comparación con un actuador de pistón es mucho más ligero y sensible a la operación, así mismo el puerto por donde maneja el control del flujo el área es más grande compensando la posible perdida que pudiera generar las guías teniendo como resultado una eficiente conducción del flujo requerido, para mayor precisión consulte nuestras tablas de pérdida de carga.

Esta válvula es guiada en dos puntos, lo cual ayuda a que el cierre sea más preciso y no necesita de camisas para guiar al actuador, por que de lo contrario por el área tan grande de fricción que tiene el pistón contra la camisa que lo guía estaríamos mermando la capacidad de respuesta de la válvula. Con la válvula de aguja se establecerá la velocidad de operación de la válvula, y calibrándola con precisión permitirá que al momento de actuar los pilotos, sea el flujo adecuado el que llegue a la cámara superior que el que pueda descargar, logrando una apertura respuesta más precisa en su operación.



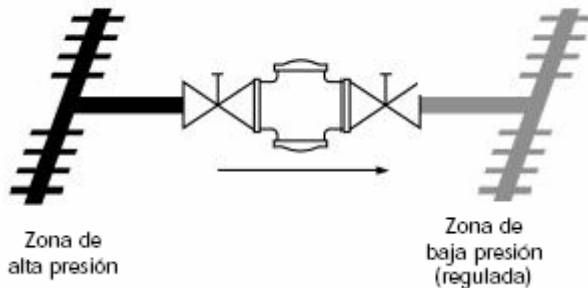
**PRINCIPIO DE OPERACIÓN**



## VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN ROSS VALVE MODELO 40WR

### Aplicaciones esenciales

Controla los sistemas donde la presión de aporte (entrada) es superior a la presión deseada de salida.



Si la presión de aporte es superior a la capacidad del usuario, la válvula Ross 40WR modulará para permitir únicamente el paso de la cantidad de agua necesaria para que se mantenga una presión no superior a la regulada.

### Funcionamiento

Para regular el flujo interno y externo de la cámara de control, un circuito externo de tuberías controla con precisión la posición del pistón. El circuito incluye:

#### 1. En la entrada a la cámara de control

a) La tubería externa, la cual a su vez va unida a la entrada al cuerpo de la válvula – Introduce agua en la válvula hacia la cámara de control.

b) Válvula de aguja - Limita el flujo de agua que entrar en la cámara de control (puede ajustarse para aumentar o disminuir la velocidad a la cual el agua entra en la cámara de control).

#### 2. En la salida a la cámara de control

a) Tubería externa - También unida al desagüe de la válvula, dirige el agua que sale de la cámara de control hacia agua abajo.

b) Piloto hidráulico - Controla el agua que sale de la cámara de control mediante un diafragma que está en equilibrio entre la tensión de un resorte en la parte superior, y la presión agua abajo en su parte inferior. (La tensión del resorte es regulable y se puede ajustar cuando los requerimientos de presión cambien). Dada la interacción directa entre la unidad de control y el pistón modulante, la válvula distribuye automáticamente el flujo mientras controla la presión agua abajo deseada.

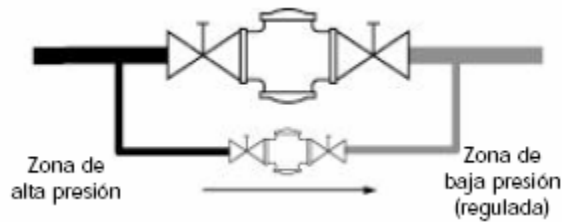
1. Cuando el agua sale de la válvula a un nivel de presión regulado,
  - a) La unidad de control hace que la cantidad de agua que entra sea igual a la que sale de la cámara de control.
  - b) El pistón permanece en una posición intermedia entre abierta y cerrada.
2. Cuando la presión agua abajo (usuario) aumenta,
  - a) La presión agua abajo se comunica por el tubo externo, dentro del piloto, empujando el diafragma del piloto hacia arriba.
  - b) El asiento del piloto se cierra gradualmente.
  - c) El agua continúa fluyendo a través de la válvula de aguja hacia la cámara de control, donde no hay salida.
  - d) El agua que entra en la cámara de control hace que aumente la presión y hace que el pistón baje.
  - e) La válvula se cierra gradualmente.
3. Cuando la presión agua abajo (usuario) disminuye,
  - a) Disminuye la presión agua abajo en el desagüe del piloto.
  - b) La presión debajo del diafragma del piloto desciende por debajo de la presión regulada del resorte, empujándolo hacia abajo.
  - c) El asiento del piloto se abre gradualmente.
  - d) La presión en la cámara de control disminuye gradualmente mientras mayor sea la cantidad de agua que sale que la que entra por la válvula de aguja.
  - e) El pistón se levanta gradualmente y la válvula se abre.

Recomendación:

Cuando hay variación en los caudales se puede instalar una válvula grande modelo 40WR pensando en los mayores caudales, y una más pequeña que funcione sólo para los caudales pequeños (23WR o 82EP), tal y como sigue a continuación:

La válvula pequeña - Usualmente ajustada para unos niveles de descarga de presión de 3 a 5 psi por encima del nivel de la válvula grande. Esta válvula controlará las necesidades de flujos bajos.

La válvula grande - Se abre únicamente cuando las demandas excedan la capacidad de la válvula pequeña y la presión descienda a la presión regulada en la válvula grande.



Dentro de los beneficios se incluyen:

1. Reduce los costos de mantenimiento que se dan cuando una válvula grande funciona con flujos pequeños.
2. Reduce el ruido producido por una válvula grande cuando ésta funciona con flujos pequeños.
3. Evita la repetición de ciclos de pequeños movimientos de apertura y cierre de una única válvula grande que funcione en flujos bajos y las resultantes fluctuaciones de presión.
4. Provee un servicio ininterrumpido mientras se realiza el mantenimiento de una de las válvulas.
5. Minimiza los daños de una única unidad grande.

## Especificaciones Modelo 40WR

### Reductora de Presión (40WR)

La válvula reductora de presión mantendrá una presión agua abajo predeterminada a pesar de la variación en el flujo de salida. La válvula reductora de presión reducirá la presión entrante. Descarga una presión constante a pesar de las variaciones del flujo o los cambios en la presión de entrada. La válvula reductora de presión será resistente, con un diámetro de "N" pulgadas, bridas de 125 libras / 250 libras y un diseño de cuerpo en globo / de ángulo de paso total.

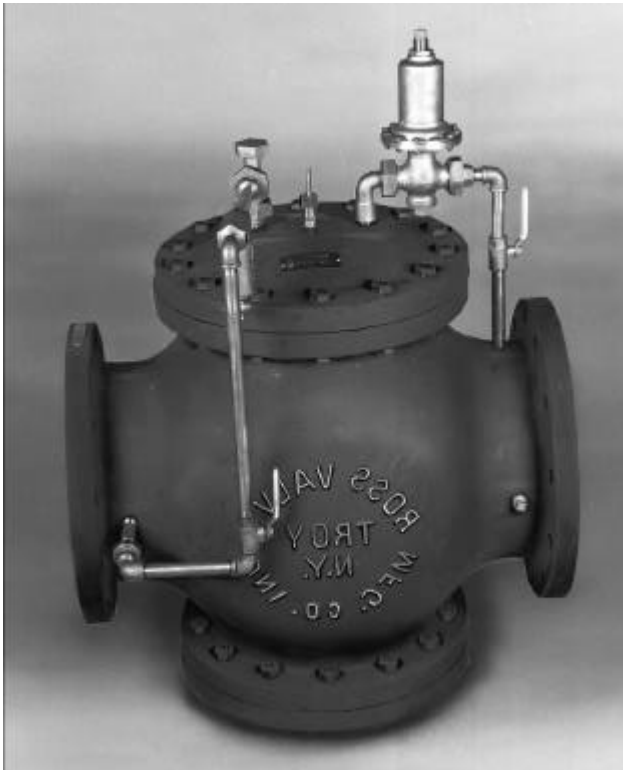
La válvula reductora de presión será totalmente montada en bronce, mandada mediante un piloto externo, con un pistón interno de movimiento libre de flotación (actuado sin resortes, diafragmas o levas). Tendrá un asiento único de diámetro igual al diámetro de la entrada y salida de la válvula. El pistón deberá tener un desplazamiento del 25% del diámetro del asiento. Para una correcta alineación (para evitar la acción del empuje lateral y el agarrotamiento del pistón), el pistón deberá ser guiado tanto por encima como por debajo del asiento a una distancia de al menos el 75% del diámetro del asiento.



El pistón deberá llevar un obturador de cierre amortiguado de manera que habrá un cambio gradual en el área de paso del flujo en el momento que el pistón de la válvula se aproxima al asiento. El obturador de cierre amortiguado se moverá con el pistón para provocar la pérdida de carga mínima cuando la válvula esté totalmente abierta, así como para garantizar un cierre eficaz. La válvula deberá tener empaques de cuero (u otro material blando idóneo a juicio del ingeniero) para obtener un cierre hermético e impedir la fricción o asiento metal-metal. La válvula deberá llevar una varilla que indica la posición del pistón y por tanto el grado de apertura de la válvula.

La válvula deberá incluir grifos portamanómetros para ensayos o pruebas. El piloto que controla el funcionamiento de la válvula deberá tener un rango de regulación, será de fácil acceso y deberá ser posible que pueda ser quitado de la válvula mientras ésta se encuentra bajo presión.

El piloto y todas las tuberías y conexiones necesarias para un funcionamiento adecuado deberán ser suministrados y montados con la válvula en fábrica. Las válvulas de bola deberán ser instaladas en las tuberías de control para aislar completamente al piloto cuando las condiciones de mantenimiento o reparación lo requieran. El circuito de control deberá estar provisto de un filtro externo con grifo para limpieza, con el fin de proteger el piloto y las válvulas de aguja. La válvula estará diseñada de tal forma que se pueda reparar y desmontar sin tener que retirar de la conducción el cuerpo de la misma.



# CAPÍTULO 4: DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA EPANET

## 4.1 INTRODUCCIÓN:

### QUE ES EPANET

EPANET es un programa de computadora que realiza simulaciones en periodos prolongados del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua en redes de suministro a presión. Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses.

EPANET efectúa un seguimiento de la evolución de los caudales en las tuberías, las presiones en los nudos, los niveles en los depósitos, y la concentración de las especies químicas presentes en el agua, a lo largo del periodo de simulación discretizado en múltiples intervalos de tiempo. Además de la concentración de las distintas especies, puede también simular el tiempo de permanencia del agua en la red y su procedencia desde las diversas fuentes de suministro.

EPANET se ha concebido como una herramienta de investigación para mejorar nuestro conocimiento sobre el avance y destino final de las diversas sustancias transportadas por el agua, mientras ésta discurre por la red de distribución. Entre sus diferentes aplicaciones puede citarse el diseño de programas de muestreo, la calibración de un modelo hidráulico, el análisis del cloro residual, o la evaluación de las dosis totales suministradas a un abonado. EPANET puede resultar también de ayuda para evaluar diferentes estrategias de gestión dirigidas a mejorar la calidad del agua a lo largo del sistema.

Entre estas pueden citarse:

- alternar la toma de agua desde diversas fuentes de suministro
- modificar el régimen de bombeo, o de llenado y vaciado de los depósitos
- implantar estaciones de tratamiento secundarias, tales como estaciones de reclaración o depósitos intermedios
- establecer planes de limpieza y reposición de tuberías.

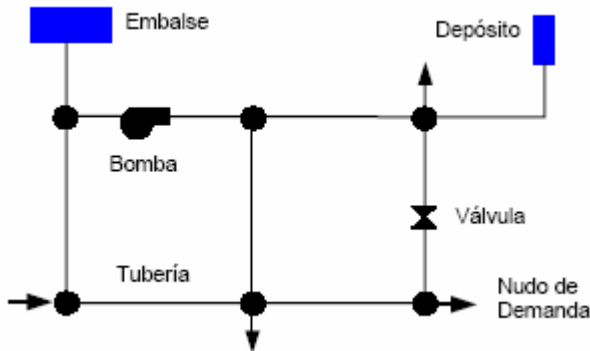
EPANET proporciona un entorno integrado bajo Windows, para la edición de los datos de entrada a la red, la realización de simulaciones hidráulicas y de la calidad del agua, y la visualización de resultados en una amplia variedad de formatos. Entre éstos se incluyen mapas de la red codificados por colores, tablas numéricas, gráficas de evolución y mapas de isolíneas.

## 4.2 EL MODELO DE LA RED.

En este capítulo se describe el modo en que se modelan con EPANET los distintos componentes físicos y no físicos que configuran un sistema de distribución de agua, y sus parámetros operacionales. En capítulos posteriores se tratará con más detalle el modo de introducir estos componentes desde el programa. Se ofrece también una visión general de los métodos de cálculo que emplea EPANET para simular el comportamiento hidráulico de la red y la evolución de la calidad del agua en la misma.

### Componentes físicos

EPANET modela un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas por sus nudos extremos. Las líneas representan tuberías, bombas, o válvulas de control. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (en adelante los denominaremos en general Nudos de Caudal), y también depósitos o embalses. La figura siguiente muestra cómo se interconectan todos estos objetos entre sí para formar el modelo de una red.



**Figura.** Componentes físicos de un Sistema de Distribución de Agua

### Nudos de Caudal

Los *Nudos de Caudal* son los puntos de la red donde confluyen las tuberías o bien sus extremos, y a través de ellos el agua entra o sale de la misma (también pueden ser sólo puntos de paso). Los datos básicos imputados a los nudos son: la cota respecto a un nivel de referencia (usualmente el nivel del mar)

- La demanda de agua (flujo que abandona la red)
- La calidad inicial del agua

Los resultados obtenidos para los nudos, en cada uno de los periodos de simulación, son:

- La altura piezométrica (energía interna por unidad de peso del fluido, o bien suma de la cota más la altura de presión)
- La presión
- La calidad del agua

Los nudos de caudal pueden también:

- presentar una demanda variable en el tiempo
- tener asignados distintos tipos de demanda (doméstica, industrial, etc)
- presentar una demanda negativa, indicando que el caudal entra a la red a través del nudo
- ser punto de entrada de una fuente contaminante a la red
- tener asociado un emisor (o hidrante), cuyo caudal de salida depende de la presión.

## Embalses

Los *Embalses* son nudos que representan una fuente externa de alimentación, de capacidad ilimitada, o bien un sumidero de caudal. Se utilizan para modelar elementos como lagos, captaciones desde ríos, acuíferos subterráneos, o también puntos de entrada a otros subsistemas. Los embalses pueden utilizarse también como puntos de entrada de contaminantes. Las propiedades básicas de un embalse son su altura piezométrica (que coincidirá con la cota de la superficie libre del agua si éste se encuentra a la presión Atmosférica), y la calidad del agua en el mismo, caso de realizar un análisis de calidad. Dado que un embalse actúa como un elemento de contorno del sistema, su altura o calidad del agua no se verán afectados por lo que pueda ocurrir en la red. Por consiguiente, no existen resultados derivados del cálculo en los mismos. No obstante, su altura puede hacerse variar con el tiempo asociándole una curva de modulación (ver el epígrafe *Curvas de Modulación* más adelante).

## Depósitos

Los *Depósitos* son nudos con cierta capacidad de almacenamiento, en los cuales el volumen de agua almacenada puede variar con el tiempo durante la simulación.

Los datos básicos de un depósito son:

- La cota de solera (para la cual el nivel del agua es cero)
- El diámetro (o su geometría si no es cilíndrico)
- El nivel del agua inicial, mínimo y máximo del agua
- La calidad inicial del agua.

Los principales resultados asociados a un depósito, a lo largo de la simulación, son:

- La altura piezométrica (cota de la superficie libre)
- La presión (o nivel del agua)
- La calidad del agua.

El nivel del agua en los depósitos debe oscilar entre el nivel mínimo y el nivel máximo. EPANET impide la salida del agua del depósito cuando está a su nivel mínimo y cierra la entrada de agua cuando está a su nivel máximo. Los depósitos también pueden utilizarse como puntos de entrada de contaminantes a la red.

## Emisores

Los emisores son dispositivos asociados a los nudos de caudal que permiten simular el flujo de salida a través de una tubería u orificio descargando a la atmósfera. El caudal de salida por un emisor varía en función de la presión disponible en el nudo, conforme a la ecuación:

$$Q = Cp^\gamma$$

Donde  $q$  = caudal,  $p$  = presión,  $C$  = coeficiente de descarga, y  $\gamma$  = exponente de la presión. En el caso de las tuberías y rociadores el exponente  $\gamma$  toma el valor 0,5 mientras que el coeficiente de descarga viene proporcionado por el fabricante, en unidades lps/m<sup>0.5</sup> (gpm/psi<sup>0.5</sup>), y representa el caudal que sale por el emisor para una caída de presión en el mismo de 1 m (1 psi).

Los emisores se emplean para simular el caudal que sale a través de un rociador en una red de extinción de incendios, o a través de un hidrante en un sistema de riego a presión.

También pueden emplearse para simular una fuga en una tubería conectada al nudo (en este caso el coeficiente de descarga y el exponente de la presión en la fuga deben

estimarse) o para calcular el caudal de incendios en un nudo (esto es, el caudal extra que puede suministrarse para una presión residual mínima). Para esto último basta imponer un valor elevado al coeficiente de descarga (p. ej. 100 veces el caudal máximo esperado) y modificar la cota del nudo agregándole el valor de la presión mínima requerida, en m (pies). EPANET interpreta los emisores como una propiedad del nudo, y no como un componente independiente. Cuando se especifica un emisor y una demanda normal en un nudo, el valor que presenta EPANET en los resultados de salida incluye a ambos, la demanda normal y el caudal que atraviesa el emisor.

## Tuberías

Las tuberías son líneas que transportan el agua de un nudo a otro. EPANET asume que las tuberías están completamente llenas en todo momento, y por consiguiente que el flujo es a presión. La dirección del flujo es siempre del nudo de mayor altura piezométrica (suma de la cota más la presión, o bien energía interna por unidad de peso) al de menor altura piezométrica. Los principales parámetros de una tubería son:

- Los nudos inicial y final
- El diámetro
- La longitud
- El coeficiente de rugosidad (para calcular las pérdidas de carga)
- Su estado (abierta, cerrada, o con válvula de retención).

El parámetro de estado permite simular el hecho de que una tubería posea válvulas de corte o válvulas de retención (válvulas que permiten el paso del flujo en un solo sentido) sin tener que modelar estos elementos explícitamente.

Los datos de una tubería relacionados con los modelos de calidad son:

- El coeficiente de reacción en el medio
- El coeficiente de reacción en la pared.

Los resultados en una tubería contemplan:

- El caudal de circulación
- La velocidad del flujo
- La pérdida de carga unitaria
- El factor de fricción para la fórmula de Darcy-Weisbach
- La velocidad media de reacción (a lo largo de la tubería)
- La calidad media del agua (a lo largo de la tubería).

La pérdida de carga (o de altura piezométrica) en una tubería debida a la fricción por el paso del agua, puede calcularse utilizando tres fórmulas de pérdidas diferentes:

- La fórmula de Hazen-Williams
- La fórmula de Darcy-Weisbach
- La fórmula de Chezy-Manning

La fórmula de Hazen-Williams es la más utilizada en EEUU. Sin embargo, no puede utilizarse para líquidos distintos del agua, y fue desarrollada originalmente sólo para flujo turbulento. Desde el punto de vista académico, la fórmula de Darcy-Weisbach es la más correcta, y es aplicable a todo tipo de líquidos y regímenes. Finalmente, la fórmula de Chezy-Manning es utilizada usualmente para canales y tuberías de gran diámetro, donde la turbulencia está muy desarrollada. Todas las fórmulas emplean la misma ecuación básica para calcular la pérdida de carga entre el nudo de entrada y el de salida:

$$h_L = Aq^B$$

Donde  $h_L$  = pérdida de carga (en unid. longitud),  $q$  = caudal (en unid. volumen/tiempo),  $A$  = coeficiente de resistencia, y  $B$  = exponente del caudal. En la Tabla 3.1 se listan las

expresiones del coeficiente de resistencia y el valor del exponente del caudal para cada una de las fórmulas de pérdidas indicadas. Cada fórmula utiliza un coeficiente de rugosidad distinto, el cual debe determinarse empíricamente. En la Tabla 3.2 se listan los rangos de variación de estos coeficientes, para tubería nueva de distintos materiales. En la práctica hay que ser conscientes de que el valor de estos coeficientes puede cambiar considerablemente con la edad de las tuberías. Al aplicar la fórmula de Darcy-Weisbach, EPANET emplea distintos métodos para calcular el factor de fricción  $f$ , dependiendo del tipo de régimen:

- Para flujo laminar ( $Re < 2.000$ ) emplea la fórmula de Hagen–Poiseuille
- Para flujo turbulento ( $Re > 4.000$ ) emplea la aproximación explícita de Swamee y Jain a la fórmula de Colebrook-White
- Para el flujo de transición ( $2.000 < Re < 4.000$ ) aplica una interpolación cúbica al diagrama de Moody

**Tabla** Fórmulas de Pérdida de Carga para tubería llena (las pérdidas se expresan en mca y el caudal en m3/seg)

Fórmula	Coficiente de Resistencia (A)	Expon. Caudal (B)
Hazen-Williams	$10,674 C^{-1,852} d^{4,871} L$ (*)	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 f(e,d,q) d^{-5} L$ (‡)	2
Chezy-Manning	$10,294 n^2 d^{-5,33} L$ (¶)	2

donde: C = Coeficiente de rugosidad de Hazen-Williams  
 $\epsilon$  = Coeficiente de rugosidad de Darcy-Weisbach (m)  
 $f$  = factor de fricción (depende de  $\epsilon$ ,  $d$ , y  $q$ )  
 $n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning  
 $d$  = diámetro de la tubería (m)  
 $L$  = longitud de la tubería (m)  
 $q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

**Tabla 3.2** Coeficientes de Rugosidad para Tubería Nueva

Material	C Hazen-Williams (universal)	$\epsilon$ Darcy-Weisbach (mm)	n Manning (universal)
Fundición	130 – 140	0,25	0,012 – 0,015
Hormigón o revest. de Hormigón	120 – 140	0,3 – 3,0	0,012 – 0,017
Hierro Galvanizado	120	0,15	0,015 – 0,017
Plástico	140 – 150	0,0015	0,011 – 0,015
Acero	140 – 150	0,03	0,015 – 0,017
Cerámica	110	0,3	0,013 – 0,015

Las tuberías pueden abrirse o cerrarse en determinados instantes de la simulación o bajo ciertas condiciones específicas, por ejemplo cuando el nivel de un depósito rebasa por encima o por debajo unos ciertos límites, o cuando la presión en un nudo supera o queda por debajo de ciertos umbrales.

### Pérdidas Menores

Las pérdidas menores (también denominadas pérdidas localizadas) pueden interpretarse como debidas al incremento de la turbulencia que se produce en los cambios de dirección, codos, accesorios, etc. La importancia de incluir o no tales pérdidas depende del tipo de red modelada y de la precisión de los resultados deseada. EPANET permite asociar a cada tubería un coeficiente de pérdidas menores. El valor de la pérdida será el producto de dicho coeficiente por la altura dinámica en la tubería, esto es:

$$h_L = K \left( \frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde  $K$  = coeficiente de pérdidas menores,  $v$  = velocidad del flujo (unid. longitud/tiempo), y  $g$  = aceleración de la gravedad (unid. longitud/tiempo<sup>2</sup>). La Tabla 3.3 proporciona el valor del coeficiente de pérdidas menores para algunos de los accesorios más comunes. Estos valores son solo indicativos, ya que  $K$  depende de la geometría del accesorio, del número de Reynolds y en algunos casos también de las condiciones del flujo.

**Tabla 3.3** Coeficientes de *Pérdidas Menores* para algunos Accesorios

ACCESORIO	COEF. PERDIDAS
Válvula de Globo, todo abierta	10,0
Válvula de Angulo, todo abierta	5,0
Válv. Retenc. Clapeta, todo abierta	2,5
Válvula compuerta, todo abierta	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio mediano	0,8
Codo de radio grande	0,6
Codo a 45 grados	0,4
Codo de Retorno (180°)	2,2
Té Estándar - flujo recto	0,6
Té Estándar - flujo desviado	1,8
Entrada brusca	0,5
Salida brusca	1,0

### Bombas

Las bombas son líneas que comunican energía al fluido elevando su altura piezométrica. Los datos principales de una bomba son sus nudos de aspiración e impulsión y su curva característica a velocidad nominal (o relación entre caudal trasegado y la altura comunicada). En lugar de dar la curva característica, el comportamiento de una bomba puede también modelarse admitiendo que trabaja a potencia constante para cualquier combinación de caudal y altura, lo que permite determinar la altura comunicada al fluido en función del caudal de paso.

Los resultados principales asociados a una bomba son el caudal trasegado el incremento de altura comunicada al fluido. El flujo a través de una bomba es de sentido único, y EPANET no permite a la bomba operar fuera del rango delimitado por su curva característica. Se pueden considerar también bombas de velocidad variable, sin más que



especificar el valor de su velocidad relativa de giro, con las mismas restricciones anteriormente mencionadas. Por definición, a la curva original de la bomba suministrada como dato, se le supone una velocidad relativa de 1. De este modo, si la velocidad de giro se duplica, entonces la velocidad relativa sería 2; y si gira a mitad velocidad, entonces sería 0,5. Al cambiar la velocidad de giro de la bomba, su curva característica se desplaza y cambia de forma (ver el epígrafe Curvas Características, más adelante). Al igual que las tuberías, las bombas puede pararse o arrancarse durante la simulación en instantes prefijados, o cuando se cumplan determinadas condiciones en la red. También se puede controlar el modo de funcionamiento de una bomba asociándole una Curva de Modulación a su velocidad de giro. EPANET permite además calcular el consumo energético de una bomba y su coste. Para ello cada bomba puede tener asociada una curva de rendimiento y una curva de modulación de los costes energéticos. Si éstos no se especifican, se adoptarán los valores globales asignados para todo el proyecto en Opciones de Energía. Como antes se ha dicho, el caudal a través de una bomba es de sentido único. Si las condiciones de funcionamiento del sistema exigen una altura mayor que la que puede proporcionar la bomba, EPANET parará la bomba. Si lo que se requiere es un caudal superior al máximo de su curva, EPANET extrapolará la curva de la bomba hasta obtener el caudal requerido, incluso si ello diera lugar a una altura negativa. En ambos casos se emitirá un mensaje de advertencia.

## Válvulas

Las válvulas son líneas que limitan la presión o el caudal en un punto determinado de la red. Los datos principales de una válvula son:

- Los nudos aguas arriba y aguas abajo
- El diámetro
- La consigna
- Su estado (forzado o no)

Los resultados asociados con una válvula son básicamente el caudal de paso y la pérdida de carga.

Los tipos de válvulas contemplados en EPANET son:

- Válvulas Reductoras de Presión (en inglés PRV)
- Válvulas Sostenedoras de Presión (en inglés PSV)
- Válvulas de Rotura de Carga (en inglés PBV)
- Válvulas Limitadoras de Caudal (en inglés FCV)
- Válvulas de Regulación (en inglés TCV)
- Válvulas de Propósito General (en inglés GPV).

Las Válvulas Reductoras de Presión tratan de limitar la presión en el nudo aguas debajo de la válvula, para que no exceda de un valor de consigna prefijado. EPANET determina en cada momento en cuál de los tres estados posibles se encuentra la válvula:

- *Parcialmente abierta* (esto es, activa) para mantener la presión aguas abajo en el valor de consigna prefijado, siempre y cuando la presión aguas arriba sea superior al valor de consigna.
- *Completamente abierta*, si la presión aguas arriba es inferior al valor de consigna
- *cerrada*, si la presión aguas abajo excede a la del nudo aguas arriba (para medir el flujo inverso)

Las Válvulas Sostenedoras de Presión tratan de mantener la presión en el nudo aguas arriba de la válvula. EPANET determina asimismo en cada momento en cuál de los tres estados posibles se encuentra la válvula:

- *Parcialmente abierta* (esto es, activa) para mantener la presión aguas arriba en el valor de consigna prefijado, siempre y cuando la presión aguas abajo sea inferior al valor de consigna.
- *Completamente abierta*, si la presión aguas abajo es superior al valor de consigna.
- *cerrada*, si la presión aguas abajo excede a la del nudo aguas arriba (para impedir el flujo inverso).

Las Válvulas de Rotura de Carga fuerzan el valor de la caída de presión a través de la válvula. El flujo a través de la válvula puede ser en cualquier dirección. Estas válvulas no representan a ningún componente físico, pero son muy útiles para simular situaciones en las que la caída de presión a través de la válvula es conocida<sup>7</sup>.

Las Válvulas Limitadoras de Caudal limitan el caudal de paso a través de la válvula a un valor prefijado. El programa emite un mensaje de advertencia si no puede conseguirse dicho caudal, a no ser que hubiera un aporte de energía (esto es, si el caudal a válvula abierta fuera inferior al de consigna)<sup>8</sup>. Las Válvulas de Regulación son bidireccionales y simulan una válvula parcialmente cerrada, cuyo comportamiento queda determinado por el valor del coeficiente de pérdidas menores en la válvula. Usualmente los fabricantes proporcionan la relación entre dicho coeficiente y el grado de apertura de la válvula. Las Válvulas de Propósito General se utilizan para representar una línea cuya relación pérdida-caudal es proporcionada por el usuario, en lugar de seguir el comportamiento típico de las válvulas establecido por las fórmulas hidráulicas convencionales.

Pueden utilizarse para modelar una turbina, el descenso dinámico de un pozo o una válvula reductora de presión controlada por caudal. Las válvulas de corte (tipo compuerta) y las válvulas de retención (o antirretorno), cuya acción es abrir o cerrar totalmente el paso del flujo, no se consideran como líneas independientes, sino que deben incorporarse como propiedades de la tubería en la cual se alojan. Cada tipo de válvula tiene una consigna diferente, relacionada con su comportamiento (la presión en el caso de las Reductoras y Sostenedoras, la caída de presión para las de Rotura de Carga, el caudal para las Limitadoras de Caudal, el coeficiente de pérdidas para las de Regulación y la curva de pérdidas para las de Propósito General). La consigna de control de una válvula puede inhibirse especificando en un momento determinado que ésta se encuentra totalmente abierta o totalmente cerrada. Tanto el estado de una válvula como su consigna pueden modificarse a lo largo de una simulación utilizando las leyes de control. Debido al modo en que internamente se ha modelado el comportamiento de las diferentes válvulas, hay que cumplir ciertas normas a la hora de añadir las válvulas al esquema de la red:

- una Válvula Reductora, una Válvula Sostenedora ó una Válvula Limitadora de Caudal no puede conectarse directamente a un embalse o depósito (utilizar una tubería de pequeña longitud para enlazarlos en tal caso)
- dos Válvulas Reductoras no pueden compartir el nudo aguas abajo, ni conectarse en serie
- dos Válvulas Sostenedoras no pueden compartir el nudo aguas arriba, ni conectarse en serie
- una Válvula Sostenedora no puede conectarse al nudo aguas abajo de una Válvula Reductora.

### **Componentes No Físicos**

Además de los componentes físicos, EPANET utiliza tres tipos de componentes complementarios – curvas de comportamiento, curvas de modulación y leyes de control

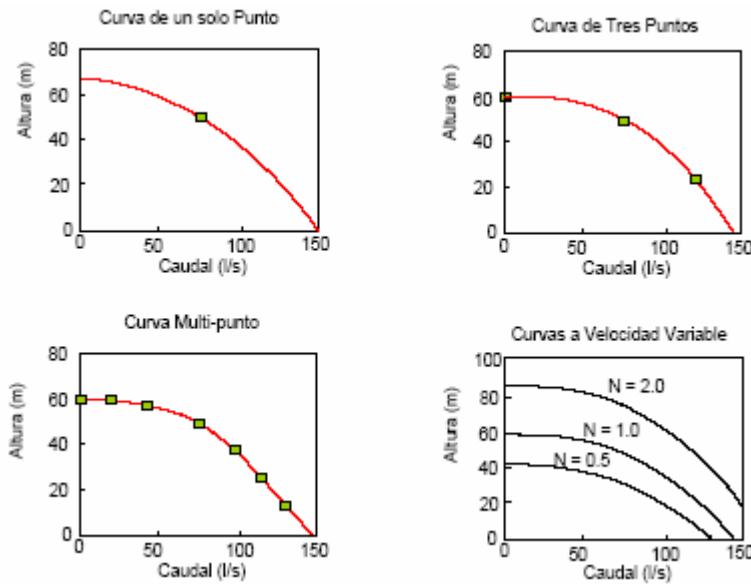
para describir el comportamiento y modo de operación del sistema. Curvas de Comportamiento

Las Curvas de Comportamiento (o Curvas simplemente) son objetos que contienen pares de datos ordenados, los cuales representan una relación entre dos magnitudes. Dos o más objetos físicos pueden compartir la misma curva. En un modelo de EPANET se pueden declarar los siguientes tipos de Curvas:

- Curvas Características
- Curvas de Rendimiento
- Curvas de Cubicación
- Curvas de Pérdidas

Curva Característica (de una Bomba)

La Curva Característica de una Bomba representa la relación entre la altura comunicada al fluido y el caudal de paso, a su velocidad nominal de giro. La altura es la energía comunicada al fluido por unidad de peso, o bien, la diferencia de presiones entre la salida y la entrada de la bomba, y se representa sobre el eje vertical Y, en metros (pies). El caudal se representa sobre el eje horizontal X, en las unidades de caudal elegidas. Para que la curva característica de una bomba sea válida, la altura debe disminuir al aumentar el caudal. EPANET ajustará diferentes tipos de curvas, en función del número de puntos Suministrado



**Figura 3.2** Ejemplos de *Curvas Características* de una Bomba

*Curva de un solo Punto* – Una curva de un solo punto queda definida por una única relación altura-caudal, que normalmente representará el punto de funcionamiento deseado o nominal de la bomba. EPANET añade dos puntos más a la curva, uno a caudal nulo, cuya altura supone que es un 133 % de la altura nominal, y otro a altura cero, cuyo caudal correspondiente asume que es el doble del caudal nominal. De este modo la curva es tratada finalmente como una curva de tres puntos.

*Curva de Tres Puntos* – Cuando la curva de una bomba se define mediante tres puntos, éstos se interpretan como: un punto de funcionamiento a Caudal Bajo (altura a caudal nulo o a caudal mínimo), un punto de funcionamiento al Caudal de Diseño (caudal y altura nominales de la bomba), y un punto de funcionamiento a Caudal Máximo (caudal y altura a caudal máximo). EPANET intenta ajustar una curva continua del tipo:

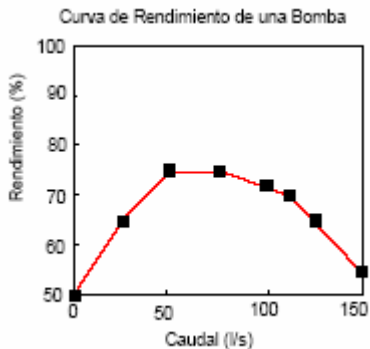
$$h_G = A - Bq^C$$

Que pase por los tres puntos especificados, para definir el comportamiento completo de la bomba. En la expresión anterior  $h_G$  es el incremento de altura,  $q$  el caudal de paso, y  $A$ ,  $B$ , y  $C$  son constantes de la curva de ajuste.

*Curva MultiPunto* – La curva de una bomba se interpreta como una curva multipunto si el número de pares de valores altura-caudal proporcionados es dos, cuatro o más de cuatro. EPANET completa en este caso la curva de la bomba uniendo los puntos proporcionados mediante tramos rectos. Para bombas de velocidad variable, la curva de la bomba se modifica a medida que cambia la velocidad. Se admite que las relaciones de caudales  $Q$  y alturas  $H$  entre dos puntos semejantes, para dos velocidades de giro cualesquiera  $N_1$  y  $N_2$ , guardan las relaciones:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

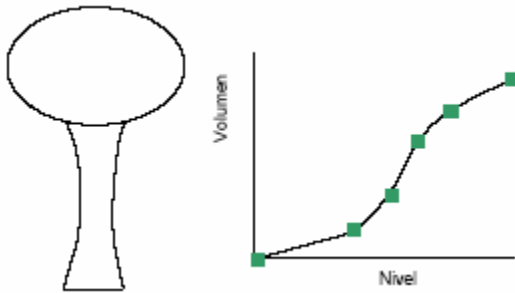
EPANET parará una bomba si el sistema demanda una altura superior a la correspondiente al primer punto de la curva (p.ej. la altura a caudal cero). Es requisito suministrar una curva característica para cada bomba del sistema, a menos que la bomba trabaje a potencia constante *Curva de Rendimiento (de una Bomba)* La Curva de Rendimiento de una Bomba relaciona el rendimiento, en tanto por ciento (eje Y), con el caudal de paso, en las unidades elegidas (eje X). Un ejemplo de una curva de rendimiento se muestra en la Figura 3.3. El rendimiento se entiende como global del grupo impulsor, e incluye tanto las pérdidas totales de la bomba como las pérdidas eléctricas o de otro tipo del motor de arrastre. La curva de rendimientos se utiliza únicamente para el cálculo energético. Si ésta no se declara, se asumirá un rendimiento fijo para todos los puntos de trabajo.



**Figura 3.3** Curva de Rendimiento de una Bomba

### Curva de Cubicación (de un Depósito)

La Curva de Cubicación de un Depósito relaciona el volumen de agua almacenado, en metros (pies) cúbicos (eje Y), con el nivel de agua en el mismo, en metros (pies) (eje X). Se utiliza, en caso necesario, para representar con mayor precisión el comportamiento de los depósitos cuya sección transversal varía con la altura. Los niveles máximo y mínimo abarcados por la curva deben contener a los niveles máximo y mínimo entre los cuales opera el depósito. En la figura 3.4 se muestra un ejemplo de una curva de cubicación.



**Figura 3.4** Curva de Cubicación de un Depósito

Curvas de Pérdidas (de una Válvula de Propósito General) Una Curva de Pérdidas se utiliza para relacionar la pérdida de carga a través de una Válvula de Propósito General, en metros o en pies (eje Y), con el caudal de paso, en las unidades de caudal elegidas (eje X). Permite modelar componentes y situaciones en las cuales existe una relación única entre el caudal y la pérdida de carga, como válvulas reductoras de presión controladas por caudal, turbinas o curvas de descenso dinámico de un pozo.

### Curvas de Modulación

Las Curvas de Modulación (o Patrones), son una secuencia de factores multiplicativos que, aplicados sobre un valor base, hacen que éste varíe con el tiempo. Las Curvas de Modulación se asocian a las demandas en los nudos, a las alturas de los embalses, a la velocidad de giro de las bombas, a las inyecciones de contaminantes en la red, y al precio de la energía. El intervalo de tiempo para todos los patrones es un mismo valor, el cual se establece en las *Opciones de Tiempo* del proyecto (ver Apartado 8.1). Dentro de un intervalo se admite que el valor de la magnitud permanece constante, e igual al producto del valor base por el factor multiplicativo correspondiente a dicho intervalo. Aunque todas las curvas de modulación tengan el mismo intervalo de tiempo, cada una puede contener un número diferente de periodos. Cuando el tiempo de simulación excede al definido por el número de periodos de la curva, ésta se repite a partir del primer periodo. Como ejemplo del modo en que se aplican las curvas de modulación consideremos un nudo de demanda, con una demanda media de 10 l/s.

Supongamos que el intervalo de tiempo se ha establecido en 4 horas, y que la curva de modulación asociada a dicho nudo es la siguiente:

Periodo	1	2	3	4	5	6
Multiplicador	0,5	0,8	1,0	1,2	0,9	0,7

En tales circunstancias, la variación temporal de la demanda aplicada en dicho nudo será:

Horas	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24	24-28
Demanda	5	8	10	12	9	7	5

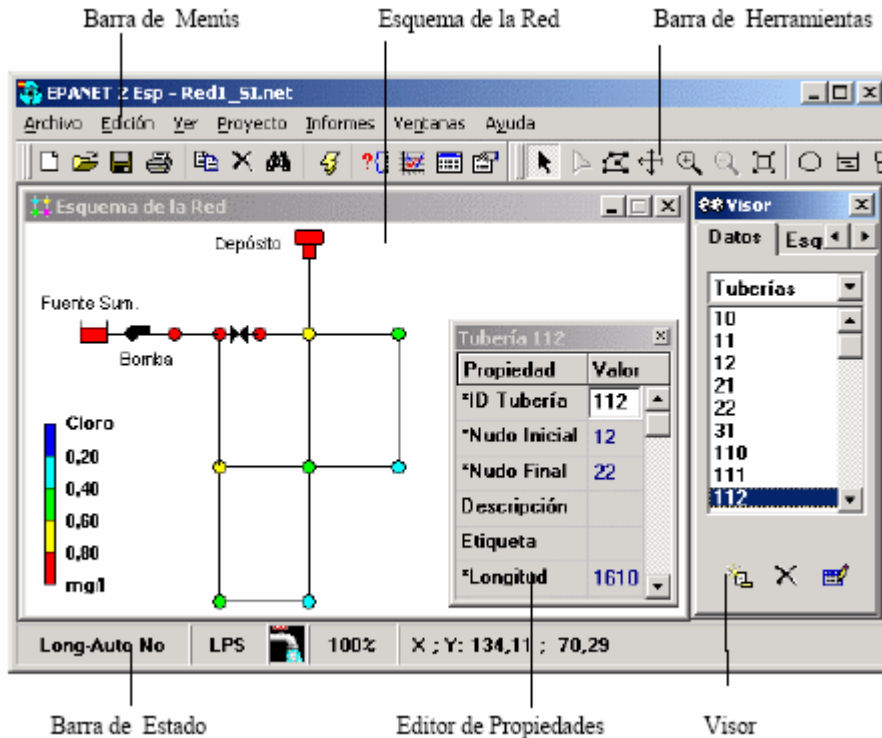
### **El Modelo de Simulación Hidráulica**

El modelo de simulación hidráulica de EPANET calcula las alturas piezométricas en los nudos y los caudales en las líneas, dados los niveles iniciales en los embalses y depósitos, y la sucesión en el tiempo de las demandas aplicadas en los nudos. De un instante al siguiente se actualizan los niveles en los depósitos conforme a los caudales calculados que entran o salen de los mismos, y las demandas en los nudos y niveles en los embalses conforme a sus curvas de modulación. Para obtener las alturas y caudales en un determinado instante se resuelven simultáneamente las ecuaciones de conservación del caudal en los nudos y las ecuaciones de pérdidas en todos los tramos de la red. Este proceso, conocido como “equilibrado hidráulico”, requiere el uso de métodos iterativos para resolver las ecuaciones de tipo no lineal involucradas. EPANET emplea a tal fin el “Algoritmo del Gradiente”.

### 4.3 EL ENTORNO DE TRABAJO DE EPANET

#### Introducción

La figura siguiente muestra el entorno de trabajo básico de EPANET. En ella pueden observarse los siguientes elementos de la interface: una *Barra de Menú*, dos *Barras de Herramientas*, una *Barra de Estado*, la ventana del *Esquema de la Red*, la ventana del *Visor* y la ventana del *Editor de Propiedades*. Cada uno de estos elementos se describe con detalle en las secciones siguientes.



#### La Barra de Menús

La *Barra de Menús* ocupa la parte superior de la ventana principal de EPANET, y contiene un conjunto de menús utilizados para controlar el funcionamiento del programa. Estos son:

##### Menú de Archivo

El *Menú de Archivo* contiene los comandos utilizados para abrir y guardar los archivos de datos, así como para imprimir. Estos son:

- Menú de Archivo
- Menú de Edición
- Menú Ver
- Menú de Proyecto
- Menú de Informes
- Menú de Ventanas
- Menú de Ayuda

## Menú de Archivo

El *Menú de Archivo* contiene los comandos utilizados para archivos de datos, así como para imprimir. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Nuevo	Crea un nuevo proyecto de EPANET
Abrir...	Abre un proyecto existente
Guardar	Guarda el proyecto actual
Guardar como...	Guarda el proyecto actual con otro nombre
Importar	Importa los datos de la red o de su esquema desde otro archivo
Exportar	Exporta los datos de la red o de su esquema a otro archivo
Preparar Página...	Fija los márgenes, encabezados y pies de página para imprimir
Vista Previa	Muestra una vista previa de la ventana actual
Imprimir	Imprime la ventana actual
Preferencias...	Establece las preferencias para el modo de trabajo del programa
Salir	Sale de EPANET

## Menú de Edición

El *Menú de Edición* contiene los comandos utilizados para editar y copiar. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Copiar a...	Copia el contenido de la ventana activa actual (esquema, informe, gráfico o tabla) al portapapeles o a un archivo
Seleccionar Objeto	Permite seleccionar un objeto del esquema de la red
Seleccionar Vértice	Permite seleccionar los vértices del trazado de las tuberías sobre el esquema de la red
Seleccionar Región	Permite seleccionar una región sobre el esquema de la red
Seleccionar Todo	Selecciona toda el área ocupada por el esquema de la red
Editar Grupo...	Edita una propiedad elegida para el grupo de objetos que caen dentro de la región delimitada sobre el esquema



## Menú Ver

Las opciones del *Menú Ver* controlan cómo se visualiza el esquema de la red. Estas son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Dimensiones...	Permite modificar las dimensiones del esquema y sus unidades
Mapa de Fondo	Permite visualizar un mapa de fondo
Desplazar	Permite desplazar el esquema de la red
Acercar	Permite acercar el esquema de la red
Alejar	Permite alejar el esquema de la red
Encuadre	Redibuja el esquema completo de la red
Buscar...	Localiza un elemento dado de la red y lo centra
Consultar...	Localiza los elementos de la red que cumplen un criterio dado
Vista General	Activa/desactiva la visualización de un mapa global de la red
Leyendas	Activa/desactiva la visualización de las leyendas y permite su edición
Barra Herramientas	Activa/desactiva la visualización de las barras de herramientas
Opciones del Esquema...	Fija las opciones para la visualización del esquema

## Menú de Proyecto

El *Menú de Proyecto* incorpora los comandos relacionados con el análisis del proyecto en curso. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Resumen...	Proporciona un resumen de las características del proyecto
Valores por Defecto...	Permite editar las propiedades por defecto del proyecto
Datos Calibración...	Maneja los ficheros de datos para la calibración de la red
Opciones de Cálculo...	Permite editar las diversas opciones de cálculo
Calcular	Realiza la simulación

## Menú de Informes

El *Menú de Informes* contiene los comandos utilizados para visualizar los resultados de la simulación en diversos formatos. Estos comandos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Estado	Muestra los cambios habidos en el estado de los elementos de la red a la largo de la simulación
Energías Calibración	Proporciona la energía consumida por cada bomba Compara los valores medidos con los calculados mediante la simulación
Reacciones	Informa sobre las velocidades medias de reacción en los distintos elementos de la red
Completo...	Crea un informe completo de los resultados para todos los nudos y líneas, en cada uno de los instantes de la simulación, y los guarda en un fichero de texto
Gráficos...	Crea curvas de evolución, perfiles longitudinales, curvas de dis-tribución y mapas de isolíneas para la magnitud seleccionada
Tablas...	Crea una tabla con los valores numéricos de las magnitudes elegidas, para los nudos y líneas seleccionados
Opciones...	Controla el estilo de presentación de informes, gráficas o tablas

## Menú de Ventanas

El *Menú de Ventanas* contiene los siguientes comandos:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Organizar	Reorganiza todas las ventanas hijas dentro de la ventana principal
Cerrar Todo	Cierra todas las ventanas abiertas (excepto la del Esquema y la del Visor)
Lista de Ventanas	Lista todas las ventanas abiertas, y señala la ventana activa actual

## Menú de Ayuda

El *Menú de Ayuda* contiene los comandos dirigidos a obtener la ayuda requerida durante el uso de EPANET. Estos son:

<i>Comando</i>	<i>Descripción</i>
Temas de Ayuda	Muestra una ventana con los temas de ayuda de la aplicación
Unidades	Lista las unidades de medida para todas las magnitudes utilizadas en EPANET
Novedades	Informa de las novedades introducidas en la versión 2.0
Guía Rápida	Ofrece una breve introducción para el uso de EPANET
A cerca de...	Muestra información sobre la versión de EPANET en

uso, y la traducción al español

Se puede también acceder a la ayuda en línea desde los diferentes contextos, presionando la tecla F1.













### Las Barras de Herramientas

Las *Barras de Herramientas* proporcionan un acceso rápido a los comandos utilizados con mayor frecuencia. Se dispone de dos barras de herramientas:

- La Barra de Herramientas Estándar
- La Barra de Herramientas del Esquema









Las barras de herramientas pueden ajustarse debajo de la barra del Menú Principal o bien ser arrastradas a cualquier lugar del espacio de trabajo de EPANET. Cuando se separan de la barra de Menús pueden también redimensionarse. Además, pueden hacerse visibles u ocultarse seleccionando la opción de Menú **Ver >> Barra Herramientas**.







La *Barra de Herramientas Estándar* contiene los botones para el acceso rápido a los comandos más usados.

-  Crea un proyecto nuevo de EPANET (**Archivo >> Nuevo**)
-  Abre un proyecto existente (**Archivo >> Abrir...**)
-  Guarda el proyecto actual (**Archivo >> Guardar**)
-  Imprime la ventana activa actual (**Archivo >> Imprimir**)
-  Copia los elementos seleccionados de la ventana actual al portapapeles o a un fichero (**Edición >> Copiar a...**)
-  Borra el elemento actualmente seleccionado
-  Busca un determinado elemento sobre el esquema de la red (**Ver >> Buscar...**)
-  Ejecuta una simulación (**Proyecto >> Calcular**)
-  Realiza una consulta visual sobre los elementos de la red (**Ver >> Consultar...**)
-  Crea una nueva ventana gráfica de resultados (**Informes >> Gráficos...**)
-  Crea una nueva ventana de resultados numéricos (**Informes >> Tablas...**)
-  Modifica las opciones de la ventana activa actual (**Ver >> Opciones del Esquema... ó Informes >> Opciones...**)

La Barra de Herramientas del Esquema

La *Barra de Herramientas del Esquema* contiene una serie de botones para facilitar la edición y manipulación del Esquema de la Red.

-  Selecciona un objeto del esquema de la red (**Edición >> Seleccionar Objeto**)
-  Selecciona los vértices de las líneas (**Edición >> Seleccionar Vértice**)
-  Delimita una región sobre el esquema de la red (**Edición >> Seleccionar Región**)
-  Permite desplazar el esquema de la red (**Ver >> Desplazar**)
-  Acerca el esquema de la red (**Ver >> Acercar**)
-  Aleja el esquema de la red (**Ver >> Alejar**)
-  Redibuja el esquema completo de la red (**Ver >> Encuadre**)
-  Añade un Nudo de Caudal sobre el esquema de la red

-  Añade un Embalse sobre el esquema de la red
-  Añade un Depósito sobre el esquema de la red
-  Añade una Tubería sobre el esquema de la red
-  Añade una Bomba sobre el esquema de la red
-  Añade una Válvula sobre el esquema de la red
-  Añade un Rótulo sobre el esquema de la red

## La Barra de Estado

La *Barra de Estado* está situada al pie del entorno de trabajo de EPANET y se divide en cinco secciones, las cuales ofrecen la siguiente información:

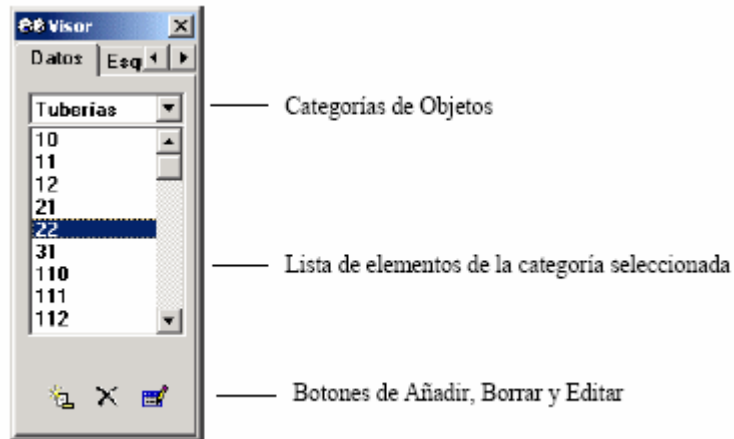
- **Long-Auto** – indica si el cálculo automático de la longitud de las tuberías está activado o desactivado
- **Unidades de Caudal** – muestra las unidades de caudal actuales
- **Nivel de Zoom** – muestra el nivel de zoom actual del esquema (100 % corresponde a la vista completa)
- **Estado de la Simulación** – se representa mediante el icono de un grifo, con el siguiente significado:
  - si no sale agua, los resultados no están disponibles
  - si sale agua, los resultados son válidos y están disponibles
  - si el grifo aparece roto, los resultados están disponibles pero pueden no ser válidos porque algún dato ha sido modificado.
- **Posición XY** – muestra la posición del puntero del ratón, en las coordenadas del esquema.

## El Esquema de la Red

El *Esquema de la Red* es una representación esquemática en dos dimensiones de los diferentes componentes de la red. La localización de los objetos y las distancias entre ellos no tienen porqué corresponderse con la escala real. Las propiedades seleccionadas de estos objetos, como por ejemplo la calidad del agua en los nudos o la velocidad de circulación por las tuberías, pueden mostrarse en una escala de colores. Los códigos de colores se describen en una leyenda, y pueden modificarse. El esquema puede ampliarse añadiendo nuevos objetos, mientras que los ya existentes pueden editarse, borrarse o restituirse. A efectos de referencia, puede también incorporarse un dibujo de fondo detrás del esquema, conteniendo información sobre calles o curvas de nivel. El esquema puede ampliarse hasta cualquier escala y desplazarse de un extremo a otro. Los nudos y líneas pueden dibujarse en diferentes tamaños, se pueden añadir símbolos para representar los objetos, flechas para indicar el sentido del flujo, así como asociar etiquetas a los elementos de la red para mostrar su identificativo o el valor numérico de la magnitud elegida. Finalmente, el esquema puede ser impreso, copiado al portapapeles de Windows o exportado como fichero DXF o bien como fichero metafile de Windows.

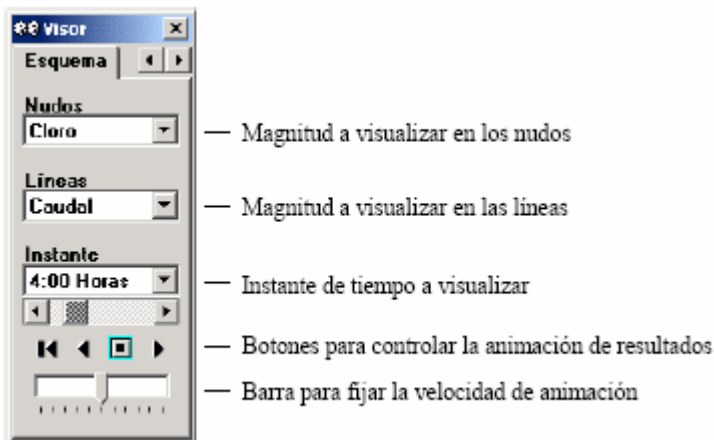
## El Visor de Datos

El *Visor de Datos* (ver figura) es accesible desde la pestaña de *Datos* de la ventana del Visor. Permite acceder a los diferentes objetos pertenecientes a la red en estudio, clasificados por categorías (Nudos de Caudal, Tuberías, etc). Los botones que figuran del pie de la ventana se utilizan para añadir, borrar o editar dichos objetos.



### El Visor del Esquema

El *Visor del Esquema* (ver figura) es accesible desde la pestaña del *Esquema* de la ventana del Visor. Permite seleccionar las magnitudes e instante de tiempo a Visualizar mediante códigos de colores sobre el Esquema de la Red. También contiene los controles que permiten ver los resultados mediante animación.



Los Botones disponibles para controlar la animación son los siguientes:

- ◀◀ Rebobinar (volver al instante inicial)
- ◀ Animar retrocediendo en el tiempo
- Parar la animación
- ▶ Animar avanzando en el tiempo

La barra de deslizamiento que se encuentra debajo de los botones controla la velocidad de animación.

## El Editor de Propiedades

El *Editor de Propiedades* (ver figura) se utiliza para editar las propiedades de los nudos y líneas de la red, el contenido de los rótulos y también las opciones de cálculo. Se abre al pulsar dos veces con el ratón uno de estos objetos (sobre el Esquema de la Red o el *Visor de Datos*) o bien al pulsar el botón Editar del Visor de Datos. A continuación se dan algunas instrucciones para el uso del Editor.

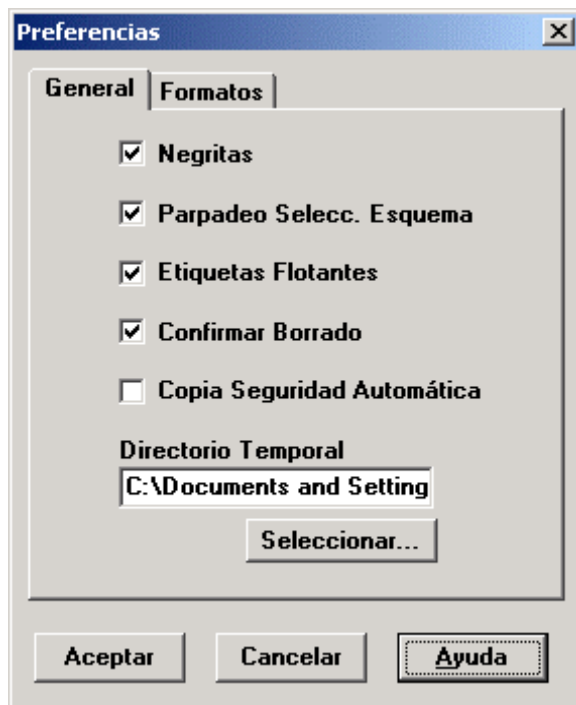
Propiedad	Valor
*ID Tubería	21
*Nudo Inicial	21
*Nudo Final	22
Descripción	
Etiqueta	1965
*Longitud	1610
*Diámetro	250
*Rugosidad	1

- El Editor es una tabla con dos columnas, una para el nombre de la propiedad y otra para el valor de la misma.
- El ancho de las columnas puede modificarse alargando o acortando las cabeceras de las mismas con el ratón
- La ventana del Editor puede moverse o redimensionarse siguiendo los procedimientos normales de Windows.
- Un asterisco junto al nombre de la propiedad indica que ésta es requerida y su valor no puede dejarse en blanco.
- Dependiendo de la propiedad elegida, el contenido del campo puede ser alguno de los siguientes:
  - una caja de texto, donde se debe escribir un valor
  - una lista de opciones desplegable, de las cuales debe elegirse una
  - un botón con puntos suspensivos, cuya pulsación llama a un editor especializado
  - una etiqueta de solo lectura, para mostrar los resultados obtenidos
- La propiedad del Editor actualmente seleccionada se resalta mostrando su fondo en blanco.
- Se puede navegar entre las distintas propiedades mediante el ratón o utilizando las flechas *Arriba* y *Abajo* del teclado.
- Para comenzar a editar la casilla seleccionada introducir directamente un nuevo valor o pulsar la tecla *Intro*.
- Para que EPANET acepte el valor introducido basta pulsar la tecla *Intro* o moverse a otra casilla; para cancelar, pulsar *Esc*.
- Pulsando el botón Cerrar de la esquina derecha de la barra del título, se cerrará el Editor.

## Preferencias del Programa

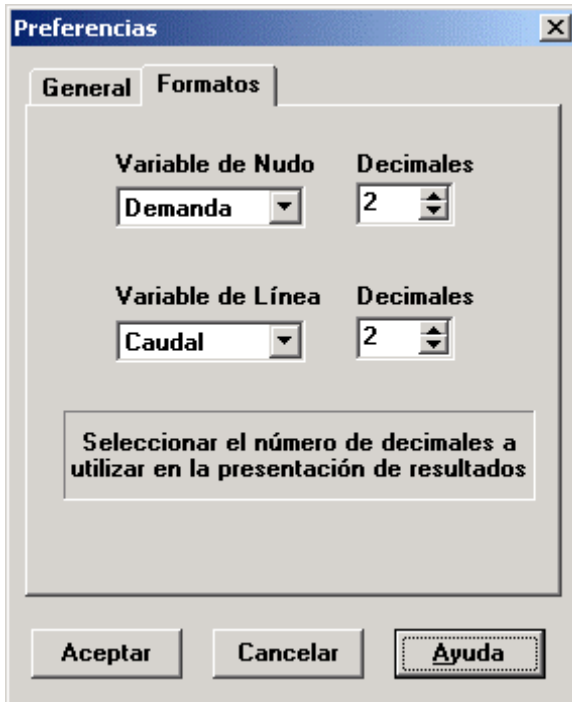
Las *Preferencias del Programa* permiten la personalización de ciertas Características del mismo. Para establecer las preferencias del programa Seleccionar la opción **Preferencias** del menú **Archivo**. Se abrirá un diálogo de Preferencias con dos pestañas, una para las *Preferencias Generales* y otra para la *Preferencias de Formato*. Preferencias Generales Las siguientes preferencias pueden ser fijadas desde la página *General* del Diálogo Preferencias:

<i>Preferencia</i>	<i>Descripción</i>
Negritas	Activa o desactiva el uso de textos en negrita para todas las ventanas de nueva creación
Parpadeo Selecc.	Esquema Activa o desactiva el parpadeo del nudo, línea o rótulo seleccionado sobre el esquema de la red
Etiquetas Flotantes	Activa o desactiva la presentación en una caja de texto emergente, del indicativo ID y el valor de la magnitud actual de un nudo o línea, al paso del cursor sobre él.
Confirmar Borrado	Activa o desactiva la aparición de un diálogo de confirmación antes de borrar cualquier objeto
Copia Seguridad Autom.	Activa o desactiva la realización de una copia de seguridad, etiquetada con la extensión <i>.bak</i> , cada vez que se abre un nuevo proyecto
Directorio Temporal	Nombre del directorio utilizado por EPANET para escribir los archivos temporales



## Preferencias de Formato

La página de *Formato* del diálogo de Preferencias permite controlar el número de decimales con que se mostrarán los resultados de las variables calculadas. Para seleccionar la magnitud asociada a un nudo o línea, cuyos decimales se desea fijar, utilizar las listas desplegables. Para fijar el número de decimales en cada caso, introducir éste directamente en la caja de texto correspondiente o utilizar las ruedecillas de avance y retroceso. El número de decimales utilizados para los parámetros de entrada, tales como el diámetro o la longitud de una tubería, serán los introducidos por el usuario.





## 4.4 EL ENTORNO DE PROYECTO

### Valores por Defecto del Proyecto

Cada proyecto tiene un conjunto de valores por defecto, que serán adoptados a menos que el usuario los modifique. Estos valores por defecto pueden clasificarse en tres categorías:

- Identificativos ID por defecto (son las etiquetas utilizadas para identificar los nudos y líneas en el momento en que se crean)
- Propiedades por defecto de nudos y líneas (p.ej., cota de un nudo, longitud, diámetro o rugosidad de una tubería, etc)
- Opciones hidráulicas por defecto (p.ej., sistema de unidades, ecuación de pérdidas, etc.)

Para fijar los valores por defecto de un proyecto:

1. Seleccionar **Proyecto >> Valores por Defecto...** desde la Barra de Menús.
2. Se mostrará seguidamente un diálogo de *Valores por Defecto* con tres páginas, una por cada una de las categorías anteriores.
3. Validar la casilla situada en la parte inferior derecha del diálogo, si se desea mantener las opciones elegidas para futuros proyectos.
4. Pulsar el botón **Aceptar** para validar los cambios realizados.

A continuación se analizan las particularidades de los distintos valores por defecto, por categorías.

### Identificativos ID por Defecto

La figura 5.1 muestra la página de *Identificativos ID* del diálogo de *Valores por Defecto*. En ella se establece el modo en que EPANET irá asignando automáticamente los identificativos por defecto a los diversos componentes de la red, a medida que son creados. Para cada tipo de objeto se puede introducir un prefijo, o bien dejar el campo en blanco si se pretende que el identificador asignado sea simplemente un número. Finalmente, en la última celda de la página se establece el incremento a utilizar para crear el nuevo número, el cual será añadido al prefijo establecido más arriba para cada componente. Por ejemplo, si definimos el prefijo Q para caracterizar a los Nudos de Caudal, y fijamos el incremento en 5, éstos irán recibiendo los identificativos Q5, Q10, Q15, etc a medida que son creados. Una vez creado un objeto, se puede utilizar posteriormente el *Editor de Propiedades* para modificar su ID si fuera necesario.

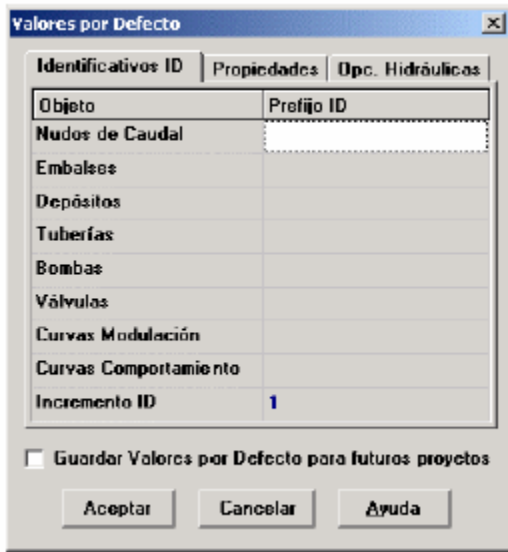


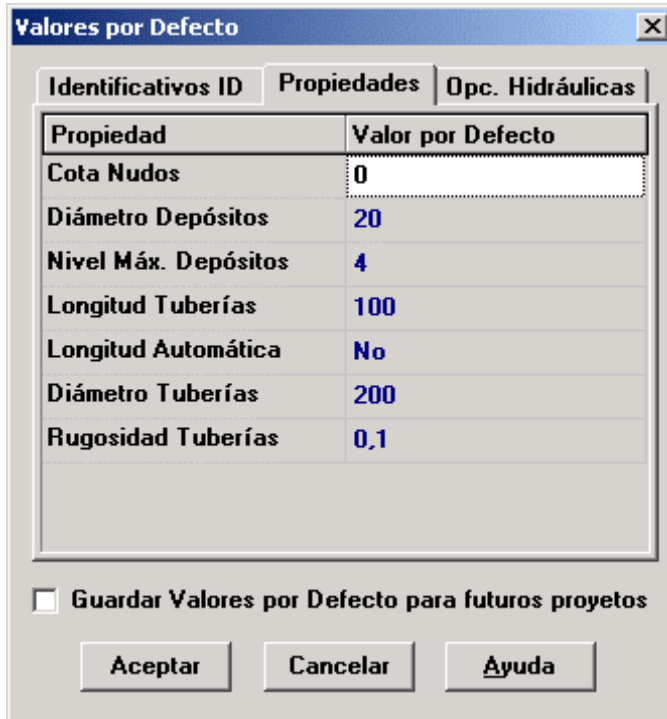
Figura 5.1 Página para establecer los *Identificativos ID por Defecto*

### Propiedades por Defecto de Nudos y Líneas

En la figura 5.2 se muestra la página de *Propiedades* del diálogo de *Valores por Defecto*. En ella se fijan los valores por defecto de algunas propiedades de nudos y líneas, que serán adoptadas en el momento en que éstos se crean. Dichas Propiedades son:

- La Cota de los nudos
- El Diámetro de los depósitos
- El Nivel Máximo del agua en los depósitos
- La Longitud de las tuberías
- La opción Longitud Automática para las tuberías
- El Diámetro de las tuberías
- La Rugosidad de las tuberías

Cuando se activa la propiedad Longitud Automática, la longitud de las tuberías es calculada automáticamente en el momento en que éstas son añadidas o restituidas. Cualquiera de estas propiedades asignadas por defecto puede modificarse posteriormente mediante el *Editor de Propiedades*.



**Figura 5.2** Página para establecer las *Propiedades por Defecto*

### Datos de Calibración

EPANET permite comparar los resultados de una simulación con las medidas de campo, contrastando las *Curvas de Evolución* de un cierta magnitud en un determinado nudo con los valores de campo correspondientes, o mediante *Informes de Calibración* específicos, en los cuales se analizan globalmente los resultados de la comparación para un conjunto de puntos de medida en la red. Para poder efectuar la comparación, las medidas de campo deben alojarse en ficheros de texto, y éstos a su vez deben declararse previamente en el entorno de proyecto de EPANET.

### Ficheros de Calibración

Un *Fichero de Calibración* es un fichero de texto que contiene los valores medidos de una determinada magnitud en uno o más puntos de la red, a lo largo de un cierto periodo de tiempo. El fichero proporciona una serie de valores observados, los cuales pueden contrastarse con los resultados obtenidos por simulación. Para contrastar diferentes magnitudes (p. ej. presiones, flúor, cloro, caudal, etc) o bien la misma magnitud en distintos periodos de muestreo, se deben utilizar ficheros diferentes. Cada línea del fichero debe contener la siguiente información:

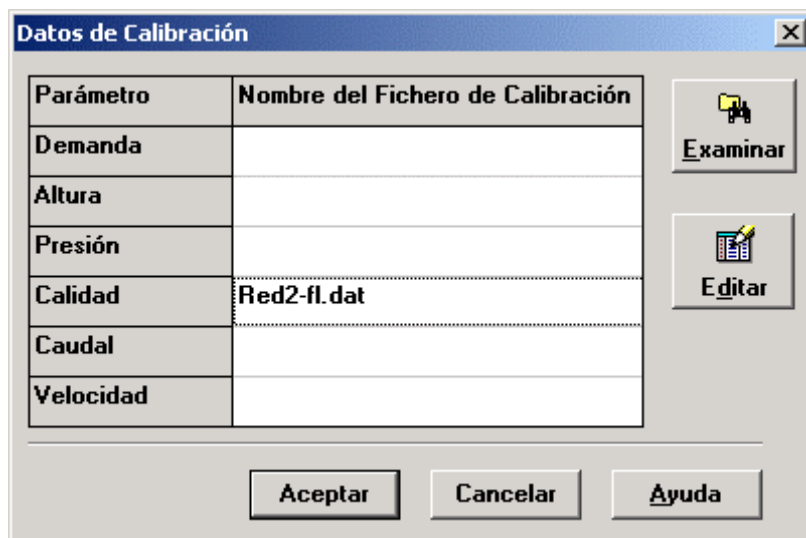
- *Localización* – Identificativo ID del elemento de la red sobre el cual se ha efectuado la medida
- *Instante* - Tiempo (en horas) en que se efectuó la medida
- *Valor* – Resultado de la medida La medida del tiempo debe estar referida a la hora de comienzo de la simulación, con respecto a la cual se desea contrastar el Fichero de Calibración. El instante de tiempo puede introducirse bien como número decimal (p.ej. 27.5) o con el formato horas:minutos (p.ej. 27:30)<sup>11</sup>. Para los datos referentes a una simulación en régimen permanente, el valor del tiempo será 0. Se pueden añadir líneas de

comentario, anteponiéndoles un punto y coma (;). Para una serie de medidas realizadas sobre el mismo punto no es necesario repetir el ID de éste cada vez, pudiendo dejarse la columna correspondiente en blanco, una vez declarado el ID en la primera línea. A continuación se muestra un extracto de un Fichero de Calibración.

#### Registro de los Datos de Calibración

Para registrar en el entorno del proyecto los datos de un *Fichero de Calibración*:

1. Seleccionar **Proyecto >> Datos Calibración...** desde la Barra de Menús.
2. En el diálogo *Datos de Calibración* mostrado en la figura 5.3, seleccionar la celda de texto junto al parámetro cuyos valores se quiere registrar.
3. Introducir el nombre del *Fichero de Calibración* para dicho parámetro, o bien pulsar el botón **Examinar** para localizarlo.
4. Pulsar el botón **Editar** si se desea abrir el *Fichero de Calibración* con el Bloc de Notas de Windows para editarlo.
5. Repetir los pasos 2 a 4 para cualquier otro parámetro del que se posean datos de calibración.
6. Pulsar el botón **Aceptar** para aceptar los nombre de los ficheros introducidos.



#### El Resumen del Proyecto

Para ver un *Resumen* del contenido del proyecto actual, seleccionar la opción **Proyecto >> Resumen...** de la Barra de Menús. Aparecerá el diálogo *Resumen del Proyecto*, en el cual se puede introducir o editar el título del proyecto, y añadir también un texto adicional describiendo los aspectos más relevantes del mismo. Cuando se abra la próxima vez un proyecto previamente almacenado, en el diálogo Abrir Proyecto se mostrarán ambos textos, en un recuadro a la derecha del nombre del fichero seleccionado en cada momento. Ello resulta sumamente útil para localizar el fichero buscado. En el diálogo del Resumen del Proyecto se muestran también determinados datos globales del mismo, tales como el número de nudos, tuberías, bombas, etc.

## Manipulación de objetos.

### Edición y propiedades de los objetos visibles

#### Edición de los Objetos Visibles

Para editar las propiedades de los objetos que pueden observarse sobre el esquema de la red (Nudos de Caudal, Embalses, Depósitos, Tuberías, Bombas, Válvulas o Rótulos) se emplea el *Editor de Propiedades* (ver apartado 4.8). Para editar cualquiera de ellos, seleccionarlo primero sobre el Esquema de la Red o desde el Visor de Datos, y pulsar a continuación el botón *Editar* del Visor (o bien realizar simplemente una doble pulsación sobre el objeto seleccionado). En las Tablas 6.1 a 6.7 se describen las propiedades de cada uno de los objetos, según su tipo.

**Nota:** Las unidades en que se expresan las propiedades de cada objeto dependen de las Unidades de Caudal elegidas. Si se eligen pies cúbicos, galones o acres-pies, entonces se emplearán unidades US para expresar las restantes cantidades. Si para expresar el caudal se eligen litros o metros cúbicos, entonces se emplearán unidades SI para el resto de magnitudes. Las Unidades de Caudal forman parte de las *Opciones Hidráulicas*, accesibles desde el menú **Proyecto >> Valores por Defecto**.

**Tabla 6.1** Propiedades de los *Nudos de Caudal*

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
ID Nudo Caudal	Etiqueta que identifica unívocamente a cada nudo. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del nudo sobre el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el nudo no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del nudo sobre el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el nudo no será representado en el esquema.
Descripción	Cadena de texto opcional, que describe alguna información relevante del nudo.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios), utilizada para clasificar el nudo dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).
Cota	Cota del nudo en metros (pies), respecto a un nivel de referencia común para toda la red. Es una propiedad requerida. La cota se utiliza sólo para calcular la presión en el nudo. No afecta a ningún otro resultado.
Demanda Base	Consumo medio o nominal en el nudo para el principal tipo de consumidor, expresado en las unidades de caudal actuales. Un valor negativo indica que el caudal es entrante al nudo. Si se deja en blanco, el caudal se supone cero.

Curva Modul. Demanda	Identificativo ID de la Curva de Modulación empleada para caracterizar la variación de la demanda en el tiempo, para el principal tipo de consumidor. La curva de modulación está configurada por los factores que, aplicados sobre la Demanda Base, nos determinan la demanda real en cada instante. Si se deja en blanco, se toma la <b>Curva de Modulación por Defecto</b> asignada en las <i>Opciones Hidráulicas</i> (ver apartado 8.1)
Tipos de Demanda	Número de tipos de usuario distintos considerados en el nudo. Pulsando el botón con puntos suspensivos (o presionando la tecla Intro) se abre el <i>Editor de Demandas</i> , que permite asignar las demandas base y sus curvas de modulación para los distintos tipos de usuarios considerados en el nudo. Si se va a considerar una sola demanda, ignorar esta opción
Coeficiente del Emisor	Coeficiente de descarga del emisor (rociador o tobera) ubicado en el nudo. Dicho coeficiente representa el caudal (en las unidades actuales) que sale por el emisor para una caída de presión en el mismo de 1 metro (ó 1 psi). Si no hay ningún emisor en el nudo, dejar en blanco. Ver la sección Emisores en el apartado 3.1 para más detalles
Calidad Inicial	Valor del parámetro de calidad del agua en el nudo, al comienzo de la simulación. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un modelo de calidad o si el valor de la calidad inicial es cero.
Intensidad de la Fuente	Determina la calidad del agua que entra en la red por este punto. Pulsar el botón con puntos suspensivos (o presionar la tecla Intro) para abrir el <i>Editor de Fuentes Contaminantes</i> (ver apartado 6.5 más adelante).

**Tabla 6.2** Propiedades de los *Embalses*

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Embalse	Etiqueta que identifica unívocamente a cada embalse. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del embalse en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el embalse no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del embalse en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el embalse no será representado en el esquema.

Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante del embalse.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar el embalse dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).
Altura Total	Altura piezométrica (cota + presión) del agua en el embalse, en metros (pies). Es una propiedad requerida.
Curva Modulac. de la Altura	Identificativo ID de la Curva de Modulación empleada para caracterizar la variación de la altura total en el tiempo. Dejar en blanco si no se aplica. Esta propiedad resulta útil cuando el embalse representa un punto de conexión a otra red, en el que la variación de la presión es conocida.
Calidad Inicial	Valor del parámetro de calidad del agua en el embalse. Puede dejarse en blanco si no se va a realizar un modelo de calidad o bien si el valor es cero.
Intensidad de la Fuente	Determina la calidad del agua que entra en la red por este punto. Pulsar el botón con puntos suspensivos (o presionar la tecla Intro) para abrir el <i>Editor de Fuentes Contaminantes</i> (ver apartado 6.5 más adelante).

**Tabla 6.3** Propiedades de los *Depósitos*

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Depósito	Etiqueta que identifica unívocamente a cada depósito. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ningún otro nudo. Esta propiedad es obligatoria.
Coordenada X	Posición horizontal del depósito en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el depósito no será representado en el esquema.
Coordenada Y	Posición vertical del depósito en el esquema, medida en las unidades del mismo. Si se deja en blanco, el depósito no será representado en el esquema.
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante del depósito.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar el depósito dentro de una categoría (p. ej. un piso de presión).
Cota de Solera	Cota en metros (pies) de la solera (fondo) del depósito respecto a un nivel de referencia común. Es una propiedad requerida.
Nivel Inicial	Nivel del agua en el depósito respecto a la solera, en metros (pies), al comienzo de la simulación. Es una propiedad requerida.
Nivel Mínimo	Nivel mínimo del agua respecto a la solera a mantener en el depósito, en metros (pies). Durante la simulación no permitirá que el agua descienda por debajo de dicho nivel. Es una propiedad requerida.

Nivel Máximo	Nivel máximo del agua en el depósito respecto a la solera, en metros (pies). Durante la simulación no se permitirá que el agua supere dicho nivel. Es una propiedad requerida
Diámetro	Diámetro del depósito, en metros (pies). Para depósitos cilíndricos será el diámetro real. Para depósitos cuadrados o rectangulares, el diámetro equivalente es igual a 1,128 veces la raíz cuadrada de la sección transversal. Para depósitos aforados mediante una Curva de Cubicación, el valor de este parámetro es irrelevante. En cualquier caso, es una propiedad requerida.
Volumen Mínimo	Es el volumen de agua almacenado en el depósito cuando está a su nivel mínimo, expresado en metros cúbicos (pies cúbicos). Es una propiedad opcional para tener en cuenta el agua almacenada en el fondo del depósito a efectos del modelo de calidad, en el caso de no disponer de una Curva de Cubicación (ver más adelante). Suele coincidir con el denominado volumen de reserva.
Curva de Cubicación	Identificativo ID de la curva de cubicación que relaciona el volumen de agua almacenado con el nivel en el depósito. Si no se proporciona ningún valor se admite que el depósito es cilíndrico.

**Tabla 6.4 Propiedades de las Tuberías**

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Tubería	Etiqueta que identifica unívocamente a cada tubería. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria.
Nudo Inicial	Identificativo ID del nudo en que comienza la tubería. Es una propiedad requerida.
Nudo Final	Identificativo ID del nudo en que termina la tubería. Es una propiedad requerida. Descripción Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la tubería.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar la tubería dentro de una categoría (p. ej. por edad o por material).
Longitud	Longitud real de la tubería, en metros (pies). Es una propiedad requerida.
Diámetro	Diámetro de la tubería, en pulgadas (mm). Es una propiedad requerida.
Rugosidad	Coefficiente de rugosidad de la tubería. Es adimensional para la fórmula de Hazen-Williams o de Chezy-Manning, y tiene



	unidades de mm (milipiés) para la fórmula de Darcy-Weisbach. Es una propiedad requerida.
Coef. Pérd. Menores	Coeficiente de pérdidas menores adimensional asociado con los codos, singularidades, accesorios, etc. Si se deja en blanco se tomará como 0.
Estado Inicial	Especifica si la tubería se encuentra inicialmente <b>Abierta</b> , <b>Cerrada</b> o contiene una <b>Válv. de Retención</b> . En este último caso, la dirección permitida del flujo será del Nudo Inicial al Nudo Final.
Coef. Reacción en el Medio	Coeficiente de reacción en el medio para la tubería. Sus unidades son 1/día, para reacciones de primer orden. Un valor positivo indica crecimiento de la sustancia y un valor negativo decrecimiento. Si se deja en blanco, se aplicará el valor del Coef. Global de Reacción en el Medio declarado en el diálogo Opciones de Reacciones.
Coef. Reacción en la Pared	Coeficiente de reacción en la pared de la tubería. Sus unidades son masa/m <sup>2</sup> /día (masa/ft <sup>2</sup> /día) para reacciones de orden 0 y m/día (ft/día) para reacciones de orden Un valor positivo indica crecimiento y un valor negativo decrecimiento. Si se deja en blanco, se aplicará el valor del Coef. Global de Reacción en la Pared declarado en el diálogo Opciones de Reacciones.

**Tabla 6.5 Propiedades de las Bombas**

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
ID Bomba	Etiqueta que identifica unívocamente a cada bomba. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria.
Nudo Aspiración	Identificativo ID del nudo en el lado de aspiración de la bomba. Es una propiedad requerida.
Nudo Impulsión	Identificativo ID del nudo en el lado de descarga de la bomba. Es una propiedad requerida
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la bomba.
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios) utilizada para clasificar la bomba dentro de una categoría (p. ej. por edad, tamaño o localización)
Curva Característica	Identificativo ID de la Curva Característica que relaciona la altura proporcionada por la bomba con el caudal de paso, a

	la velocidad nominal de giro. Si la bomba va a trabajar a potencia constante (ver campo siguiente), dejar este campo en blanco.
Potencia Nominal	Potencia suministrada por la bomba, en kW (caballos). Utilizar esta opción cuando no se disponga de la curva característica de la bomba. EPANET supone que en este caso la bomba trabaja a potencia constante, independientemente del caudal de paso. Dejar en blanco si se especifica una curva característica en su lugar.
Velocidad Relativa	Velocidad relativa fijada para la bomba (adimensional). Por ejemplo, una velocidad relativa de 1,2 significa que la velocidad de rotación de la bomba es un 20 % mayor que su velocidad nominal.
Curva Modulac. Velocidad	Identificativo ID de la Curva de Modulación empleada para controlar el modo de operación de la bomba. Los coeficientes de la curva se interpretan como valores de la velocidad relativa. Un coeficiente 0 indica que la bomba está parada durante el intervalo de tiempo correspondiente. Dejar en blanco si no se aplica.
Estado Inicial	Estado de la bomba ( <b>Marcha</b> o <b>Parada</b> ) al comienzo de la simulación.
Curva Rendimiento	Identificativo ID de la Curva de Rendimiento de la bomba, que especifica su rendimiento (en tanto por cien) en función del caudal de paso. Esta información se utiliza únicamente para calcular el consumo de energía. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar el rendimiento global Especificado en la sección Opciones de Energía para todo el proyecto (ver Apartado 8.1).
Precio Energía	Precio medio o valor nominal de la energía, por kWh. Se utiliza únicamente para calcular el coste del consumo energético. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar el precio global especificado en la sección Opciones de Energía para todo el proyecto (ver Apartado 8.1).
Curva Modulac. Precios	Identificativo ID de la curva de modulación que describe la variación del precio de la energía a lo largo del día. Cada coeficiente de la curva representa el factor a aplicar sobre el Precio nominal de la Energía (ver campo anterior) para obtener el precio real de la energía en cada periodo. Dejar en blanco si no se aplica o si se va a utilizar la curva global especificada en la sección Opciones de Energía para todo el proyecto

**Tabla 6.6 Propiedades de las Válvulas**

<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>												
ID Válvula	Etiqueta que identifica unívocamente a cada válvula. Puede contener hasta 15 caracteres numéricos o alfanuméricos. No puede coincidir con el ID de ninguna otra línea. Esta propiedad es obligatoria												
Nudo Aguas Arriba	Identificativo ID del nudo aguas arriba de la válvula, por el cual entra el flujo (las Válvulas Reductoras de presión y las Sostenedoras permiten el flujo en una sola dirección). Es una propiedad requerida.												
Nudo Aguas Abajo	Identificativo ID del nudo aguas abajo de la válvula, por el cual sale el flujo. Es una propiedad requerida												
Descripción	Cadena de texto opcional que describe alguna información relevante de la válvula.												
Etiqueta	Cadena de texto opcional (sin espacios), utilizada para clasificar la válvula dentro de una categoría (p. ej. por tipo o por localización).												
Diámetro	Diámetro de la válvula, en mm (pulgadas). Es una propiedad requerida.												
Tipo Válvula	Identificativo del tipo de válvula (Reductora, Sostenedora, Rotura de Carga, Limitadora de Caudal, Regulación, ó Propósito General). Ver el epígrafe <i>Válvulas</i> en el Apartado 3.1 para una descripción de los distintos tipos de válvulas. Es una propiedad requerida.												
Consigna	Es un parámetro requerido que indica las condiciones de operación de la válvula.												
	<table border="0"> <tr> <td>Tipo de Válvula</td> <td>Consigna</td> </tr> <tr> <td>Reductora Presión</td> <td>(m ó psi)</td> </tr> <tr> <td>Sostenedora Presión</td> <td>(m ó psi)</td> </tr> <tr> <td>Rotura Carga Caída de Presión</td> <td>(m ó psi)</td> </tr> <tr> <td>Limit. Caudal Caudal</td> <td>(unidades de caudal)</td> </tr> <tr> <td>Regulación Coef. Pérdidas</td> <td>(sin unidades)</td> </tr> </table>	Tipo de Válvula	Consigna	Reductora Presión	(m ó psi)	Sostenedora Presión	(m ó psi)	Rotura Carga Caída de Presión	(m ó psi)	Limit. Caudal Caudal	(unidades de caudal)	Regulación Coef. Pérdidas	(sin unidades)
Tipo de Válvula	Consigna												
Reductora Presión	(m ó psi)												
Sostenedora Presión	(m ó psi)												
Rotura Carga Caída de Presión	(m ó psi)												
Limit. Caudal Caudal	(unidades de caudal)												
Regulación Coef. Pérdidas	(sin unidades)												

Coef. Pérdidas	Coeficiente adimensional de pérdidas menores, cuando la válvula está completamente abierta. Si se deja en blanco se tomará como 0.
Estado Forzado	Estado forzado de la válvula al comienzo de la simulación. Si se especifica <b>Abierta</b> ó <b>Cerrada</b> , la consigna establecida para la válvula será ignorada y la válvula se comportará como una línea abierta o cerrada, según el caso. Si se especifica <b>Ninguno</b> , entonces el estado de la válvula vendrá determinado por la propia simulación. El estado forzado de una válvula y su consigna pueden variarse a lo largo de una simulación mediante el uso de Leyes de Control. Si el estado forzado de una válvula es Abierta o Cerrada, puede activarse de nuevo utilizando una ley de control para asignarle una nueva consigna.

**Tabla 6.7 Propiedades de los Rótulos**

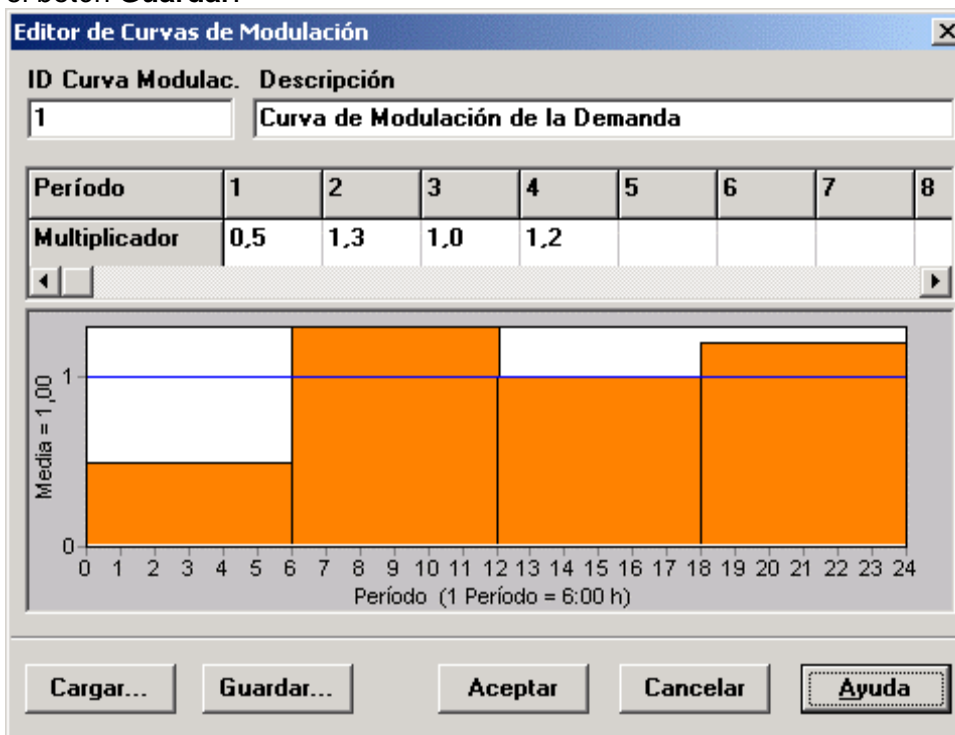
<i>PROPIEDAD</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
Texto	El texto del rótulo.
Coordenada X	Posición horizontal de la esquina superior izquierda del rótulo en el esquema, medida en las unidades del mismo. Es una propiedad requerida.
Coordenada Y	Posición vertical de la esquina superior izquierda del rótulo en el esquema, medida en las unidades del mismo. Es una propiedad requerida.
Nudo de Anclaje	Identificativo ID del nudo que sirve de anclaje del rótulo (ver Nota 1 más abajo). Dejar en blanco si no se quiere anclar el rótulo.
Tipo de Objeto	Tipo de objeto cuya magnitud asociada se desea ver en el rótulo (ver Nota 2 más abajo). Las opciones son <b>Ninguno</b> , un <b>Nudo</b> o una <b>Línea</b> .
ID Elemento	Identificativo ID del elemento (Nudo o Línea) cuya magnitud asociada se desea ver en el rótulo.
Fuente	Abre un diálogo sobre el cual se puede seleccionar el tipo de fuente, tamaño y estilo para el rótulo.

### **El Editor de Curvas de Modulación**

El *Editor de Curvas de Modulación* mostrado en la Figura 6.2, permite editar las propiedades de una curva constituida por factores de modulación en el tiempo, aplicables sobre una magnitud base. Para utilizar este Editor deben rellenarse los siguientes campos:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
ID Curva Modulac.	Identificativo ID de la curva de modulación (un máximo de 15 caracteres numéricos o alfanuméricos)
Descripción	Texto opcional indicativo de lo que representa la curva
Multiplicador	Factor multiplicador aplicable en cada periodo de tiempo de a curva de modulación.

El intervalo de tiempo utilizado para la modulación, se define en las *Opciones de Tiempo*. Su valor actual se muestra al pie de la gráfica. A medida que se van introduciendo nuevos multiplicadores, la curva de modulación es redibujada automáticamente para mostrar su aspecto. Para añadir más periodos de tiempo de los mostrados, pulsar la tecla **Intro** cuando el cursor se encuentre en la última celda del editor. Cuando se termine la edición, pulsar el botón **Aceptar** para consolidar la curva o el botón **Cancelar** para rechazarla. También se puede cargar una curva de modulación previamente almacenada en un fichero con el botón **Cargar**, o almacenar la curva de modulación actual en un fichero con el botón **Guardar**.



**Figura 6.2** Editor de *Curvas de Modulación*

## 4.5 EL ESQUEMA DE LA RED

### Seleccionar el Modo de Presentar el Esquema

Desde la página del Esquema del Visor (Apartado 4.7) se seleccionan los parámetros de nudos y líneas a visualizar en el esquema. Estos se visualizan mediante un código de colores, cada uno de los cuales representa un rango de valores, tal como queda reflejado en las Leyendas del Esquema (ver más adelante).

Los parámetros asociados a los Nudos que pueden visualizarse son:

- Cota
- Demanda Base (valor nominal o demanda media)
- Calidad Inicial (calidad del agua al comienzo de la simulación)
- \*Demanda Real (demanda total en el instante actual)
- \*Altura Piezométrica (cota más altura de presión)
- \*Presión
- \*Calidad del Agua


Los parámetros asociados a las Líneas que pueden visualizarse son:

- Longitud
- Diámetro
- Coeficiente de Rugosidad
- Coeficiente de Reacción en el Medio
- Coeficiente de Reacción en la Pared
- \*Caudal
- \*Velocidad
- \*Pérdida de Carga (por cada 1000 pies (metros) de tubería)
- \*Factor de Fricción (según aparece en la fórmula de pérdidas de Darcy-Weisbach)
- \*Velocidad de Reacción (promediada a lo largo de la tubería)
- \*Calidad del Agua (promediada a lo largo de la tubería)


Los parámetros marcados con un asterisco son valores calculados, los cuales estarán disponibles sólo si se ha realizado previamente una simulación con éxito


### Acercar o Alejar el Esquema

Para *Acercar* el esquema de la red:

1. Seleccionar **Ver >> Acercar** en la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Para acercar el esquema a una escala el doble de la actual (100%), situar el ratón en el centro del área a ampliar y pulsar el botón izquierdo del mismo.
3. Para ampliar una zona determinada, situar el ratón en la esquina superior izquierda de dicha zona, y con el botón izquierdo pulsado, arrastrar el ratón hacia la esquina opuesta, hasta que el rectángulo dibujado abarque toda la zona deseada. Finalmente, soltar el botón del mismo.


Para *Alejar* el esquema de la red:

1. Seleccionar **Ver >> Alejar** en la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Situar el ratón en el punto del esquema que deseamos ocupe el centro de la pantalla, y pulsar el botón izquierdo del ratón.
3. El esquema volverá a su escala anterior, centrado sobre el punto elegido.

Para obtener una *Vista Completa* del Esquema de la Red (100% de escala), seleccionar **Ver >> Encuadre** de la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.

### Desplazar el Esquema

Para *Desplazar* el esquema de la red a través de la ventana:

1. Seleccionar **Ver >> Desplazar** en la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas del Esquema.
2. Pulsar con el botón izquierdo del ratón cualquier punto del área de dibujo y arrastrar el ratón en la dirección que se desee desplazar el esquema.
3. Liberar el botón del ratón para completar el desplazamiento.

Para Desplazar el esquema usando la *Vista General* (ver Apartado 7.8 más adelante):


1. Si la ventana de la Vista General no estuviera visible, abrirla seleccionando la opción **Ver >> Vista General** en la Barra de Menús
2. Situar el puntero del ratón dentro de la ventana de visualización mostrada sobre la Vista General (remarcada en rojo).
3. Con el botón izquierdo del ratón pulsado, arrastrar la ventana de visualización a una nueva posición.
4. Al liberar el botón del ratón, el esquema de la red se desplazará automáticamente para mostrar en la ventana principal la nueva zona delimitada por la ventana de visualización en la VistaGeneral.

### 7.6 Buscar un Objeto

Para Buscar un *Nudo* o una *Línea* sobre el esquema, cuyo identificativo ID es conocido:

1. Seleccionar **Ver >> Buscar** en la Barra de Menús o pulsar el botón sobre la Barra de Herramientas Estándar.
2. En el diálogo del *Buscador sobre el Esquema*, seleccionar la opción **Nudo** o **Línea** e introducir el identificativo ID.

3. Pulsar el botón **Buscar**. Si el nudo o línea existe, será resaltado sobre el esquema, y también en la ventana del Visor. Si el esquema de la red está ampliado, de modo que el nudo o línea buscado cae fuera de la zona visible, se desplazará automáticamente el esquema para hacerlo visible. En el diálogo del Buscador se listarán también los identificativos de todas las líneas que conectan con el nudo encontrado o bien los nudos extremos de la línea encontrada. Para obtener una lista de todos los nudos que actúan como *Fuentes Contaminantes*:

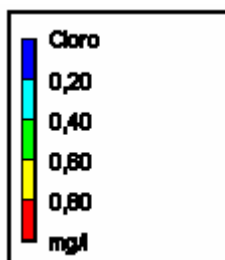
1. Seleccionar **Ver >> Buscar** en la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.

2. En el diálogo del *Buscador sobre el Esquema*, seleccionar la opción **Fuente**.

3. Pulsar el botón **Buscar**.

Sobre el mismo diálogo del Buscador se mostrarán los identificativos ID de todos los nudos que tienen asociada una Fuente Contaminante. Pulsando ahora sobre cualquiera de los identificativos mostrados, éste se verá resaltado en el esquema.

## 7.7 Las Leyendas del Esquema



Se pueden mostrar hasta tres tipos de leyendas. Las *Leyendas de Nudos y Líneas* asocian un color con un rango de valores de la magnitud que está visualizándose sobre el esquema de la red. La *Leyenda Horaria* muestra la hora real correspondiente al instante de la simulación que está visualizándose. Para mostrar u ocultar cualquiera de estas leyendas, seleccionar la opción **Ver >> Leyendas >> Nudos/Líneas/Hora del Día** de la Barra de Menús, o bien pulsar en cualquier punto del área de dibujo con el botón derecho del ratón y seleccionar la opción correspondiente desde el menú emergente. También se puede ocultar una leyenda haciendo una doble pulsación sobre ella con el ratón.

Para mover una leyenda a otra posición:

1. Pulsar sobre la leyenda con el botón izquierdo del ratón.
2. Con el botón pulsado, arrastrar la leyenda a su nueva posición y soltar el botón. Para editar la Leyenda de Nudos:
  1. Seleccionar la opción **Ver >> Leyendas >> Modificar >> Nudos** o bien pulsar sobre la leyenda con el botón derecho del ratón, si está visible.
  2. Sobre el diálogo del Editor de Leyendas mostrado (ver Figura 7.2), modificar los colores e intervalos de la leyenda. Para editar la Leyenda de Líneas se procede de modo similar. El *Editor de Leyendas* (Figura 7.2) se utiliza para fijar los rangos numéricos asignados a los diferentes colores con que se visualizará una determinada magnitud sobre el esquema de la red. Las opciones que ofrece son las siguientes:



- Para delimitar los rangos aplicables, introducir los valores de éstos en los recuadros correspondientes, llevando cuidado de que queden en orden creciente. No es necesario rellenar todos los recuadros.
- Para cambiar un color, pulsar sobre él en la banda de colores auxiliar y seleccionar un nuevo color sobre el *Diálogo de Colores* mostrado.
- Para dividir el rango total de variación de la magnitud seleccionada en el instante actual en cinco intervalos iguales, pulsar el botón **Intervalos Iguales**.
- Para dividir el rango total de variación de la magnitud seleccionada en el instante actual en cinco intervalos, de modo que el número de elementos que entren en cada intervalo sea el mismo, pulsar el botón **Percentiles Iguales**.
- El botón **Rampa de Colores** se utilizara para seleccionar los colores de una lista de gamas de color predeterminada.
- El botón **Invertir Colores** permite invertir el orden de los colores actualmente seleccionados (el color correspondiente al rango inferior pasa a corresponderse con el rango superior y a la inversa)
- Para mostrar la leyenda enmarcada en un recuadro, validar la opción **Marco**

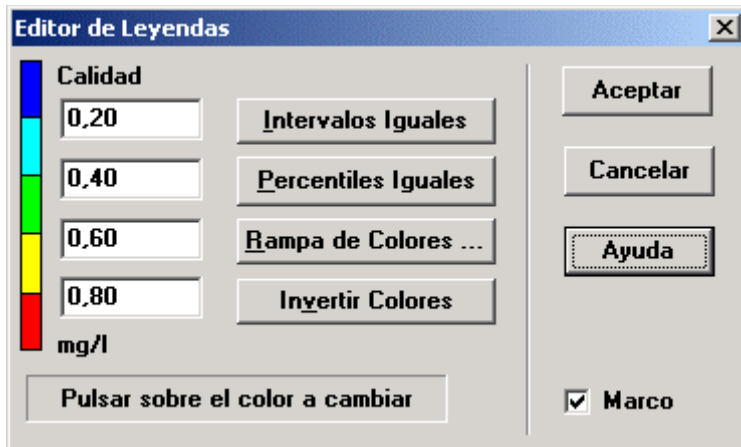

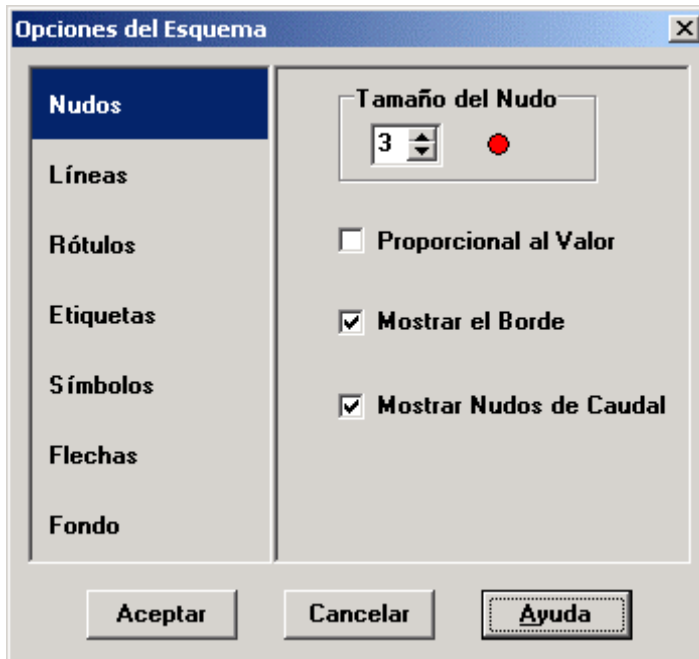


Figure 7.2 Diálogo del *Editor de Leyendas*

### Opciones de Visualización del Esquema

Existen diversas formas de abrir el diálogo de *Opciones del Esquema* (ver figura 7.3), el cual se utiliza para modificar el modo en que el esquema de la red es visualizado:

- Seleccionar **Ver >> Opciones del Esquema**, de la Barra de Menús, o bien
- Pulsar el botón *Opciones*  de la Barra de Herramientas Estándar, cuando la ventana activa es la ventana del Esquema de la Red, o bien
- Pulsar con el botón derecho del ratón en cualquier parte vacía del área de Dibujo y seleccionar **Opciones del Esquema** del menú emergente mostrado. El diálogo de *Opciones del Esquema* contiene en su lado izquierdo un selector de Categorías, que da acceso a la página de opciones de cada categoría. Éstas son:




**Figura 7.3** Diálogo de *Opciones del Esquema*

- *Nudos* (controlan el tamaño de los nudos y si éste desea hacerse proporcional al valor de la magnitud asociada)
- *Líneas* (controlan el grosor de las líneas y si éstas quieren hacerse proporcionales al valor de la magnitud asociada)
- *Rótulos* (activan o desactivan la visualización de los rótulos)
- *Etiquetas* (muestran u ocultan el identificativo ID y el valor de la magnitud asociada a los nudos y líneas)
- *Símbolos* (controlan la visualización o no de los símbolos que representan a depósitos, bombas y válvulas)
- *Flechas* (controlan la visibilidad y el estilo de las flechas que indican la dirección del caudal en las líneas)
- *Fondo* (cambian el color del fondo del esquema)

## 4.6 ANÁLISIS DE LA RED

### Opciones de Cálculo

Existen cinco grupos de opciones para controlar el modo en que EPANET va a llevar a cabo los cálculos: *Hidráulicas*, *Calidad*, *Reacciones*, *Tiempos* y *Energías*. Para establecer cualquiera de estas opciones:

1. Seleccionar la categoría *Opciones* en el Visor de Datos, o bien seleccionar **Proyecto >> Opciones de Cálculo...** de la Barra de Menús.
2. Seleccionar desde la ventana del Visor el grupo de opciones deseado: Hidráulicas, Calidad, Reacciones, Tiempos o Energías.
3. Si el Editor de Propiedades no estuviera aún visible, pulsar el botón *Editar*  de la ventana del Visor (o pulsar la tecla **Intro**).
4. Editar la opción deseada desde el Editor de Propiedades. Una vez se está editando un grupo de opciones determinado desde el Editor de Propiedades, se puede cambiar al grupo anterior o siguiente simplemente pulsando las teclas **AvPág** o **RePág**. Respectivamente. Opciones Hidráulicas

Las *Opciones Hidráulicas* controlan el modo en que se van a llevar a cabo los cálculos hidráulicos. Estas son las siguientes:

<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Unidades de Caudal	Unidades en las cuales serán expresados los caudales en los nudos y los caudales de paso por las líneas. Si se eligen litros o metros cúbicos, entonces las restantes magnitudes serán expresadas en unidades métricas. Si se eligen galones, pies cúbicos o pies-acres, entonces las restantes magnitudes se expresarán en unidades convencionales US. Hay que llevar cuidado al cambiar las unidades, porque ello puede afectar al resto de los datos del proyecto (ver Apéndice A, Unidades de Medida)
Fórmula de Pérdidas	Formula utilizada para calcular las pérdidas de carga en función del caudal de paso por la tubería. Las opciones son: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hazen-Williams</li> <li>• Darcy-Weisbach</li> <li>• Chezy-Manning</li> </ul> Debido a que cada fórmula contempla la rugosidad de la tuberías de forma diferente, el cambio de fórmula puede requerir la actualización de todos los coeficientes de rugosidad de las tuberías.

---

---

Peso Específico Relat.	Relación entre la densidad del fluido que circula por la red y la del agua a 4 ° C (sin unidades).
Viscosidad Relativa	Relación entre la viscosidad cinemática del fluido y la del agua a 20°C (1,0 centistokes o bien 0,94 pies <sup>2</sup> /día) (sin unidades).
Máximo Iteraciones	Número máximo de iteraciones permitido para resolver las Ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema hidráulico, En cualquier instante de la simulación. Se sugiere el valor 40.
Precisión	Criterio de convergencia utilizado para saber que se ha encontrado una solución para el conjunto de ecuaciones no lineales que gobiernan el sistema. Las iteraciones finalizan cuando la suma de todas las variaciones de caudales dividida por la suma de todos los caudales circulantes es menor que este número. Se sugiere el valor 0,001.
Caso de No Equilibrio	Acción a aplicar si no se encuentra una solución en el número máximo de iteraciones permitido. Las opciones son <b>Parar</b> para detener la simulación en este punto, o <b>Continuar</b> para realizar 10 iteraciones más, durante las cuales no se permitirá el cambio de estado de las líneas, en un intento de obtener la convergencia.
Curva Modulac. Por Defecto	Identificativo ID de la curva de modulación aplicable a las Demandas, en aquellos nudos en que ésta no se haya especificado. Si no se declara una curva de modulación por defecto, la demanda permanecerá constante en dichos nudos.
Factor de Demanda	Factor global aplicable a todas las demandas en los nudos, con el fin de aumentar o disminuir el consumo total de la red. P. ej. Un factor 2,0 duplicaría todas las demandas, un factor 0,5 las dividiría por la mitad, y un factor 1,0 las dejaría igual.
Exponente de los Emisores	Exponente al cual se elevará la presión, para calcular el caudal saliente por los emisores. El exponente recomendado en los manuales para toberas y rociadores es de 0,5. En el caso de representar una fuga puede ser distinto. Para más detalles, ver la discusión sobre Emisores en el Apartado 3.1.

Informe de Estado Especifica el volumen de información a incluir en el informe Emitido tras finalizar una simulación. Las opciones son:

- **No** (no se emite ningún informe)
- **Sí** (informe normal – lista todos los cambios habidos en el Estado de las líneas durante la simulación)
- **Todo** (informe completo – contiene lo mismo que el informe Normal, más los errores de convergencia para cada iteración Realizada, dentro de cada instante de la simulación)

El informe completo se utiliza únicamente para depuración.

#### Opciones de Tiempo

Las *Opciones de Tiempo* fijan los valores correspondientes a los diferentes intervalos de tiempo utilizados durante la simulación en período extendido (los tiempos pueden introducirse en horas decimales o en el formato horas: minutos: segundos). Estas opciones son:


<i>Opción</i>	<i>Descripción</i>
Duración Total	Duración total de la simulación, en horas. Un valor 0 significa un cálculo en régimen permanente (o para un instante dado)
Intervalo Cálculo Hidráulico	Intervalo de tiempo entre dos cálculos sucesivos del estado de equilibrio de la red. El valor por defecto es 1 hora
Intervalo Cálculo Calidad	Intervalo de tiempo utilizado para hacer avanzar la sustancia transportada en un modelo de calidad. El valor por defecto es 5 minutos (0:05 horas)
Intervalo Curvas Mod.	Intervalo de tiempo utilizado para caracterizar todas las curvas de modulación. El valor por defecto es 1 hora.
Hora Inicio Curvas Mod.	Hora común para todas las curvas de modulación, a partir de la cual se inicia la simulación (p. ej. un valor 2 significaría que la simulación arranca con el coeficiente de las curvas de modulación correspondiente a la hora 2). El valor por defecto Es 0.
Intervalo Resultados	Intervalo de tiempo entre los instantes de cálculo para los cuales se mostrarán los resultados al usuario. El valor por defecto es 1 hora
Hora Inicio Resultados	Hora de la simulación a partir de la cual se comenzarán a mostrar los resultados al usuario. El valor por defecto es 0.
Hora Real Inicio Simulación	Hora real a la cual comienza la simulación (p. ej. 7:30 AM, 10:00 PM). El valor por defecto es 12:00 AM (medianoche).


Estadísticas                      Procedimiento estadístico empleado para sintetizar los resultados de una simulación en periodo extendido. Las opciones son:

- **Ninguna** (se muestran los resultados correspondientes a cada instante)
- **Medias** (se muestran los valores medios de los resultados)
- **Mínimos** (se muestra el valor mínimo de los resultados)
- **Máximos** (se muestra el valor máximo de los resultados)
- **Rangos** (se muestra la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo de los resultados) Las funciones estadísticas se aplican sobre los resultados de los todos los nudos y líneas, entre la Hora de Inicio de los Resultados y la hora final de la simulación.

### Ejecutar una Simulación

Para *Ejecutar una Simulación* hidráulica, y en su caso, también de la calidad del agua, hay que proceder del siguiente modo:

1. Seleccionar **Proyecto >> Calcular** de la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Mientras se realizan los cálculos se verá cómo éstos progresan en la ventana de *Estado de la Simulación*.
3. Pulsar **Aceptar** cuando se terminen los cálculos.

Si el cálculo termina con éxito, aparecerá el icono  en la sección *Estado de la Simulación* de la Barra de Estado, situada al pie del área de trabajo de EPANET. Cualquier error o mensaje de advertencia se mostrará en una ventana emergente conteniendo el *Informe de Estado*. Si se editan las propiedades de la red después de una simulación con éxito, el grifo del icono aparecerá partido para indicar que, en adelante, probablemente los resultados actuales ya no se correspondan con los datos de la red.

### 8.3 Resolución de Problemas

EPANET emite mensajes de Error y de Advertencia cuando surgen problemas durante la simulación de un modelo hidráulico o de calidad (ver el Apéndice B para obtener una lista completa). Los errores más frecuentes son los siguientes:

Las Bombas no pueden suministrar el Caudal o la Altura requerida EPANET emitirá un mensaje cuando a una bomba se le pide trabajar fuera del rango definido por su curva característica. Si a la bomba se le pide una altura superior a su altura a válvula cerrada, EPANET parará la bomba. Como consecuencia de ello, algunos sectores de la red pueden quedar desconectados, esto es, aislados de cualquier fuente de suministro.

### **La Red está Desconectada**

EPANET diagnostica que una red está desconectada si existe algún nudo con demanda, al cual no es posible suministrarle agua. Esto ocurrirá cuando no se encuentra ningún trayecto libre entre dicho nudo y un embalse, depósito o nudo con caudal negativo. Si el problema es causado por el cierre de alguna línea, EPANET realizará no obstante los cálculos pertinentes (obteniendo probablemente presiones negativas muy altas en los nudos aislados) e intentará identificar la línea causante del problema, la cual será reportada en el *Informe de Estado*. Si el problema es la falta de alguna línea para realizar la conexión, entonces EPANET no podrá resolver las ecuaciones de equilibrio para determinar los caudales y presiones, y devolverá el mensaje de *Error 110* al realizar la simulación. Durante una simulación en periodo extendido es posible que algún nudo quede desconectado como consecuencia del cambio de estado de algún elemento.

### **Existencia de Presiones Negativas**

EPANET emitirá un mensaje de advertencia cuando aparezcan presiones negativas en algún nudo con demanda positiva. Ello es un indicativo de que existe algún problema en el diseño de la red o en su modo de operación. Las presiones negativas suelen presentarse cuando la alimentación de algún sector de la red queda estrangulada por el cierre de una línea. En tal caso se emitirá un mensaje adicional indicando el sector que se queda aislado.

### **Sistema No Equilibrado**

La condición de *Sistema No Equilibrado* ocurre cuando EPANET no puede converger a la solución, dentro del número máximo de iteraciones permitido, para algún instante de la simulación. Ello puede deberse al continuo cambio de estado de elementos como bombas, válvulas o tuberías con válvula de retención, durante el transcurso de las iteraciones. Por ejemplo, los límites de presión que controlan el estado de una bomba pueden estar demasiado próximos, o la curva de una bomba puede ser demasiado plana, provocando continuos arranques y paros. Para eliminar la condición de sistema no equilibrado se puede intentar incrementar el número de iteraciones permitido, o bien relajar la precisión exigida para la convergencia. Ambos parámetros figuran entre las *Opciones Hidráulicas*. Si la condición de no equilibrio persiste, entonces otra de las opciones hidráulicas, denominada *Caso de No Equilibrio*, ofrece dos formas de proceder.

Una es terminar el análisis al encontrarse esta condición, y la otra es realizar todavía 10 iteraciones más, pero manteniendo inmutable el estado de todas las líneas en su estado actual. Si con ello se consigue la convergencia, se emitirá un mensaje de advertencia informando sobre la posibilidad de que el sistema sea inestable. Si aun así no se consigue la convergencia, entonces se emitirá el mensaje de "*Sistema no equilibrado*". En cualquier caso el análisis continuará con el periodo siguiente. Si el análisis para un periodo determinado finaliza con el sistema de ecuaciones no equilibrado, el usuario debe ser consciente de que los resultados del mismo no son fiables. Dependiendo de las circunstancias que concurren, por ejemplo si los errores afectan a los caudales que entran o salen de los depósitos, la fiabilidad de los resultados puede afectar también a todos los periodos subsiguientes.

### **Sistema de Ecuaciones Hidráulicas No Resoluble**

Si en algún momento de la simulación, el sistema de ecuaciones que equilibra caudales y energías para toda la red no puede resolverse, se emitirá el *Error 110*. Esto ocurre cuando algún sector de la red presenta una demanda, y no existen líneas físicas que lo conecten con ninguna fuente de suministro. En tal caso, EPANET emitirá además mensajes de advertencia para los nudos que queden desconectados. El sistema de ecuaciones puede resultar también irresoluble si se introducen como propiedades de algunos elementos valores poco realistas.

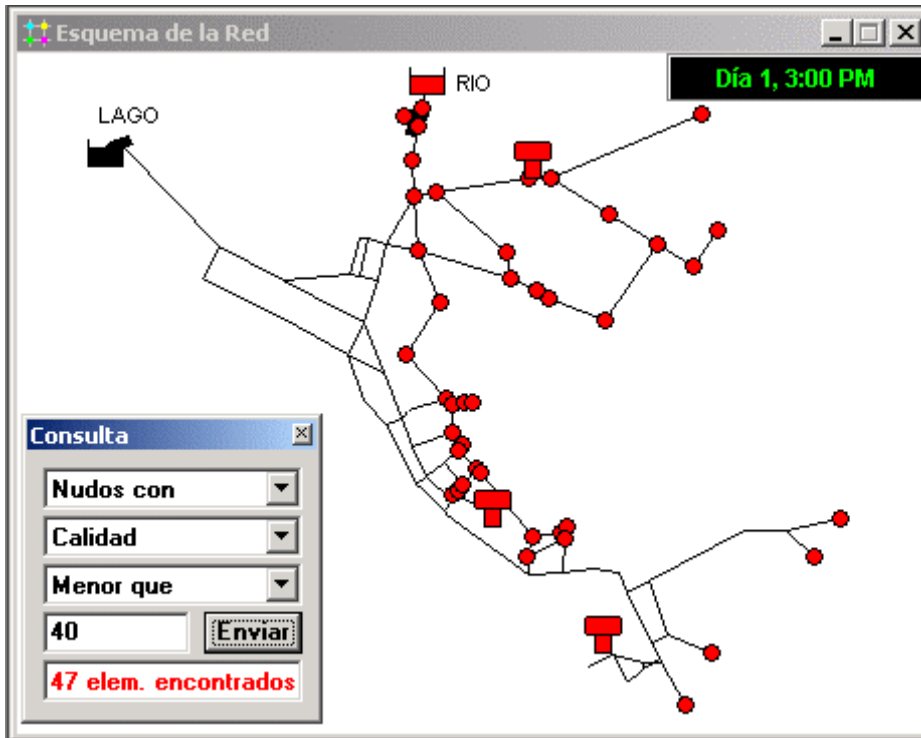


## 4.7 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### Presentación de los Resultados sobre el Esquema

Existen diversos modos de observar directamente, sobre el Esquema de la Red, tanto los valores de la base de datos como los resultados de una simulación:

- Los nudos y líneas del esquema pueden colorearse conforme al código de colores establecido en las *Leyendas del Esquema* (ver Apartado 7.7) para las magnitudes actualmente seleccionadas en el *Visor del Esquema* (ver Apartado 4.7). Los colores del esquema se actualizarán al cambiar el instante de tiempo seleccionado en el Visor.
  - Si la opción de *Etiquetas Flotantes* está seleccionada en el diálogo de *Preferencias Generales* (ver Apartado 4.9), al mover el ratón sobre cualquier nudo o línea se mostrará, dentro de una caja de texto suavizada, su identificativo ID, junto al valor de la magnitud actualmente asociada al nudo o línea.
  - Los identificativos ID y los valores de la magnitud actual asociada a nudos y líneas, pueden también observarse sobre el esquema de forma permanente eligiendo las opciones adecuadas en la página de *Etiquetas* del diálogo de *Opciones de Visualización del Esquema* (ver Apartado 7.9).
  - Pueden identificarse los Nudos o Líneas que cumplen una determinada condición, efectuando una *Consulta sobre el Esquema* (ver seguidamente).
  - Se puede animar la presentación de resultados sobre el esquema de la red, avanzando o retrocediendo en el tiempo, mediante los botones de *Animación de Resultados* de la página del Esquema del Visor. La animación está disponible solamente cuando el parámetro asociado a los nudos o líneas es un parámetro calculado (p. ej. los caudales pueden animarse, pero no los diámetros).
  - El esquema de la red puede ser impreso, copiado al portapapeles de Windows, o almacenado como un fichero DXF o como un meta-fichero de Windows.
- Realización de Consultas sobre el Esquema Una *Consulta sobre el Esquema* permite identificar a los nudos y líneas de la red que cumplen unas condiciones determinadas (p.ej. nudos con una presión inferior a 15 m, líneas con una velocidad superior a 1 m/s, etc). Como ejemplo, ver la Figura 9.1. Para formular una consulta sobre el esquema:



**Figura 9.1** Resultados de una *Consulta* sobre el Esquema

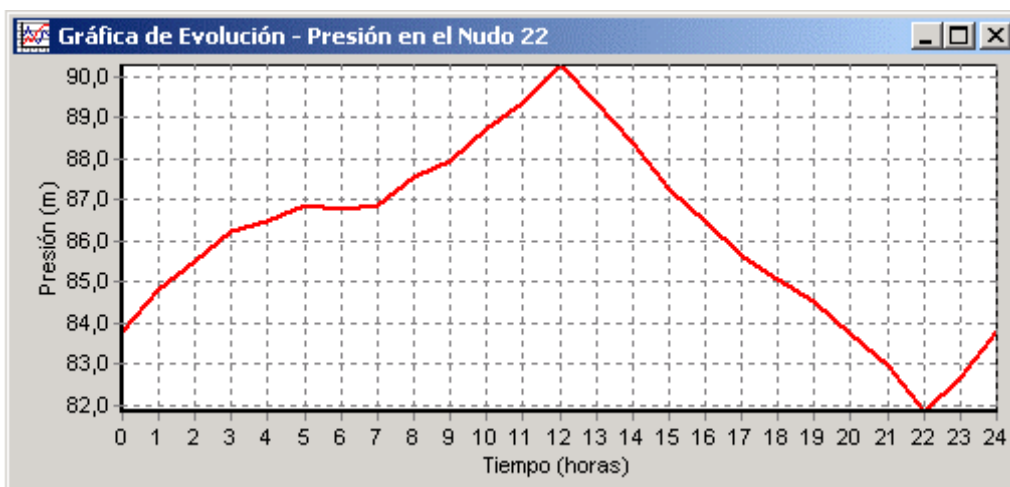
1. Seleccionar desde el *Visor del Esquema* el instante para el cual se desea hacer la consulta.
2. Seleccionar la opción **Ver >> Consultar...** o pulsar el botón de la Barra de Herramientas del Esquema.
3. Rellenar la siguiente información sobre el diálogo de *Consulta* mostrado:
  - Elegir entre localizar Nodos o Líneas
  - Elegir el parámetro a comparar
  - Elegir la relación de comparación: **Menor que**, **Igual a**, o **Mayor que**
  - Introducir el valor con el cual se desea comparar
4. Pulsar el botón **Enviar**. Los objetos que cumplan las especificaciones impuestas quedarán resaltados en el esquema.
5. Al seleccionar un nuevo instante en el Visor, el resultado de la consulta será actualizado automáticamente.
6. Se puede ahora emitir otra consulta utilizando el mismo diálogo, o bien cerrarlo pulsando sobre el botón de la esquina superior derecha. Cuando se cierra el diálogo de Consultas, el esquema de la red vuelve a su configuración original.

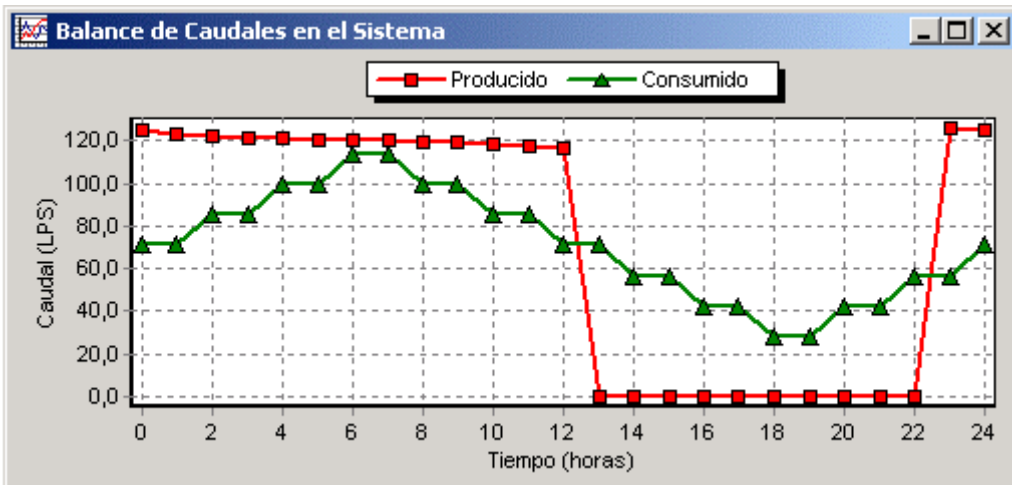
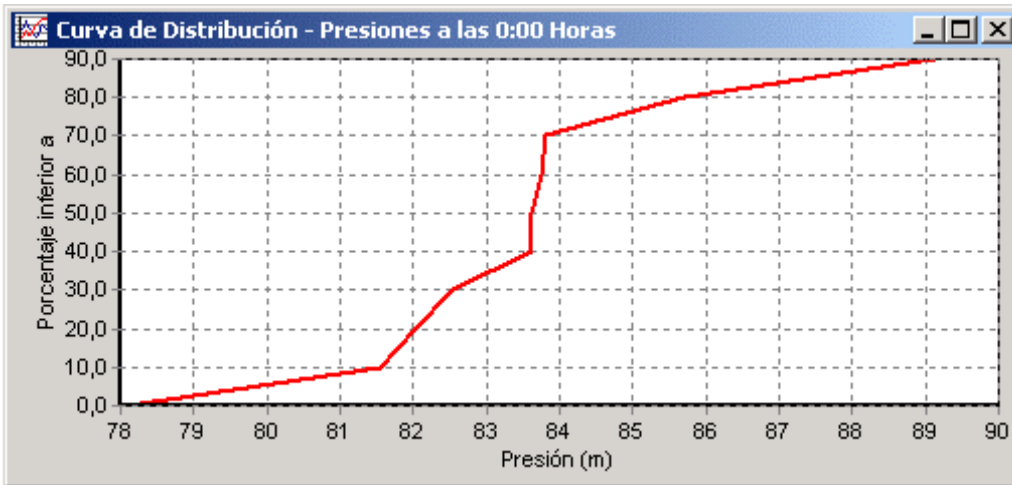
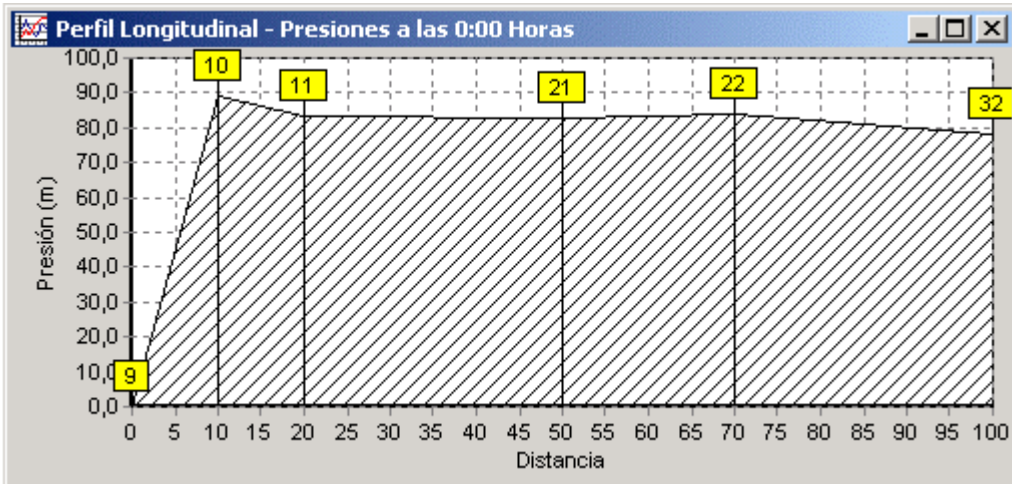
## Presentación de los Resultados mediante Gráficas

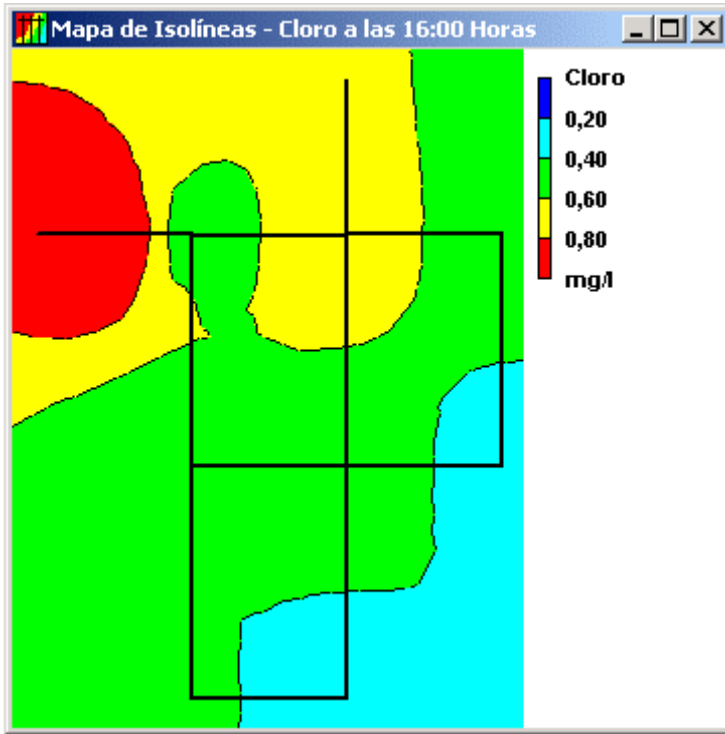
Los resultados del análisis, así como ciertos parámetros de diseño, pueden visualizarse utilizando diferentes tipos de gráficas. Las gráficas pueden ser impresas, copiadas al portapapeles de Windows, y guardadas como fichero de datos o como meta-fichero de Windows. Para observar los valores de un parámetro determinado se dispone de los siguientes tipos de gráficas (ver ejemplos de cada una en la Figura 9.2):

<i>Tipo de Gráfica</i>	<i>Descripción</i>	<i>Aplicable a</i>
Curva de Evolución	Representa la evolución de una magnitud con el tiempo	Nudos o líneas específicos, para todo el periodo de simulación
Perfil Longitudinal	Representa la variación de una magnitud con la distancia	Una lista de nudos, para un instante dado
Mapa de Isolíneas	Muestra las regiones del espacio en las cuales el valor de la magnitud queda dentro de ciertos intervalos	Todos los nudos, para un instante dado
Curva de Distribución	Representa la fracción de elementos de la red cuya magnitud asociada es igual o inferior a un valor, frente a dicho valor	Todos los nudos o líneas, para un instante dado
Balance de Caudales	Representa la variación de la producción total y del consumo total del sistema frente al tiempo	La demanda de agua para todos los nudos, a lo largo de todo el periodo de simulación


Figura 9.2 Ejemplos de diferentes Tipos de Gráficas







Para crear una gráfica:

1. Seleccionar **Informes >> Gráficos...** en la Barra de Menús o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Rellenar las opciones que corresponda en el diálogo de *Selección de la Gráfica*.
3. Pulsar el botón **Aceptar** para generar el gráfico

El diálogo de *Selección de la Gráfica*, que puede verse la Figura 9.3, se utiliza para seleccionar el tipo de gráfica y su contenido. Las opciones que ofrece dicho diálogo son las siguientes:

<i>Campo</i>	<i>Descripción</i>
Tipo de Gráfica	Selecciona el tipo de gráfica
Magnitud	Selecciona la magnitud a representar
Instante	Selecciona el instante de tiempo (no se aplica para Curvas de Evolución y el Balance de Caudales))
Tipo de Objetos	Selecciona entre <i>Nudos</i> o <i>Líneas</i> (en los Perfiles Longitudinales y Mapas de Isolíneas solo pueden representarse la magnitudes asociadas a Nudos)

Elementos a Representar      Selecciona los elementos a representar (aplicable solo para Curvas de Evolución y Perfiles Longitudinales)




Figura 9.3 Diálogo de *Selección de la Gráfica*

### Presentación de los Resultados mediante Tablas

EPANET permite también ver ciertos datos del proyecto y los resultados del análisis en forma tabular, mediante una de las siguientes tablas:

- Una Tabla de Elementos de la Red lista las propiedades y resultados de todos los nudos o líneas de la red, para un instante determinado.
- Una Tabla de Evolución lista las propiedades y resultados de un nudo o línea determinado, para todos los instantes de tiempo. Las tablas pueden ser impresas, copiadas al portapapeles de Windows, o guardadas en un fichero. La figura 9.6 muestra un ejemplo de una *Tabla de Nudos* de la Red.

Para crear una Tabla:

1. Seleccionar la opción **Informes >> Tablas...** de la Barra de Menús, o pulsar el botón  de la Barra de Herramientas Estándar.
2. Utilizar el diálogo de *Selección de la Tabla* mostrado para elegir:
  - El tipo de tabla
  - Las magnitudes a mostrar en cada columna
  - El filtro a aplicar para seleccionar los datos visibles en la Tabla

ID Nudo	Demanda LPS	Altura m	Presión m	Cloro mg/l
Nudo 10	0,00	308,32	91,32	1,00
Nudo 11	14,00	303,11	86,11	0,87
Nudo 12	14,00	299,43	85,43	0,80
Nudo 13	8,40	298,69	86,69	0,47
Nudo 21	14,00	298,74	84,74	0,76
Nudo 22	18,20	298,47	86,47	0,51
Nudo 23	14,00	298,34	88,34	0,29
Nudo 31	8,40	297,07	83,07	0,55

Figura 9.6 Ejemplo de una *Tabla de Nudos* de la Red

El diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla* se utiliza para personalizar el contenido de las tablas, y contiene tres pestañas, como puede observarse en la Figura 9.7. Cuando se crea una tabla, las páginas correspondientes a las tres pestañas están accesibles. Sin embargo, una vez la tabla creada, en el diálogo de *Opciones de la Tabla* sólo aparecerán las pestañas correspondientes a Columnas y Filtros. Las opciones disponibles en cada pestaña o página son las siguientes:

Selección de la Tabla

Tipo | Columnas | Filtros

Seleccionar el tipo de tabla a crear

Nudos de la Red a las 0:00 Horas ▾

Líneas de la Red a las

---

Evolución temp. en el nudo 10

Evolución temp. en la línea

Aceptar    Cancelar    Ayuda

Figura 9.7 Diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla*

## Página de Tipo de Tabla

La página *Tipo* del diálogo de *Selección de la Tabla* se utiliza para seleccionar el tipo de tabla a crear. Las opciones son:

- Todos los nudos de la red, para un instante dado
- Todas las líneas de la red, para un instante dado
- Todos los instantes, para un nudo determinado
- Todos los instantes, para una línea determinada

En los recuadros correspondientes deberá elegirse el instante deseado, o bien el nudo/línea deseado, el cual se añadirá a la barra de títulos de la tabla.

## Página de Columnas

La página de *Columnas* del diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla* (Figura 9.8) permite seleccionar los parámetros a mostrar en las columnas de la Tabla. Para ello:

- Validar la casilla junto al nombre de cada parámetro a incluir en la tabla, o bien invalidarla para excluirlo. (Se pueden utilizar las teclas Flecha Arriba y Flecha Abajo para avanzar o retroceder sobre la lista de parámetros, y la barra espaciadora para seleccionar/deseleccionar el parámetro).
- Para ordenar una Tabla de Elementos de la Red con respecto a los valores de un parámetro determinado, seleccionar el parámetro de la lista y validar la casilla **Ordenar por** situada en la parte inferior del diálogo. (El parámetro de ordenación debe ser alguno de los seleccionados en la tabla). Las Tablas de Evolución no pueden ser ordenadas.

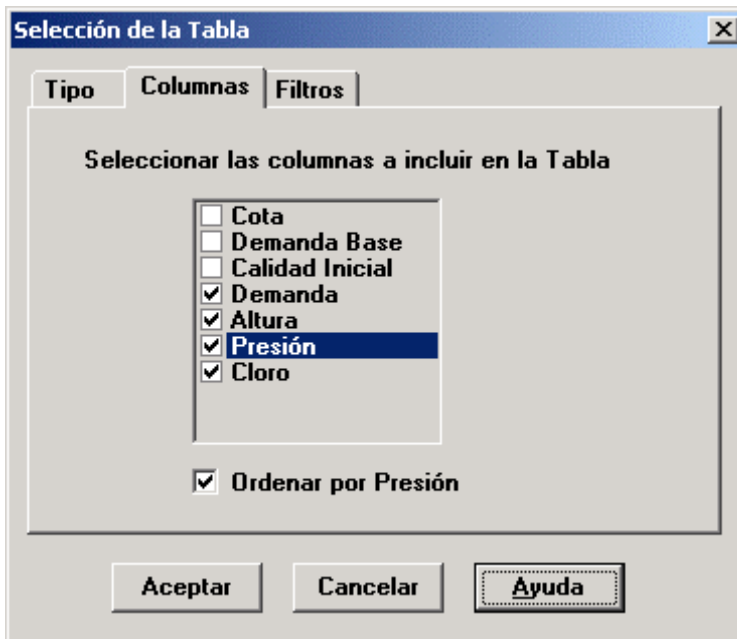


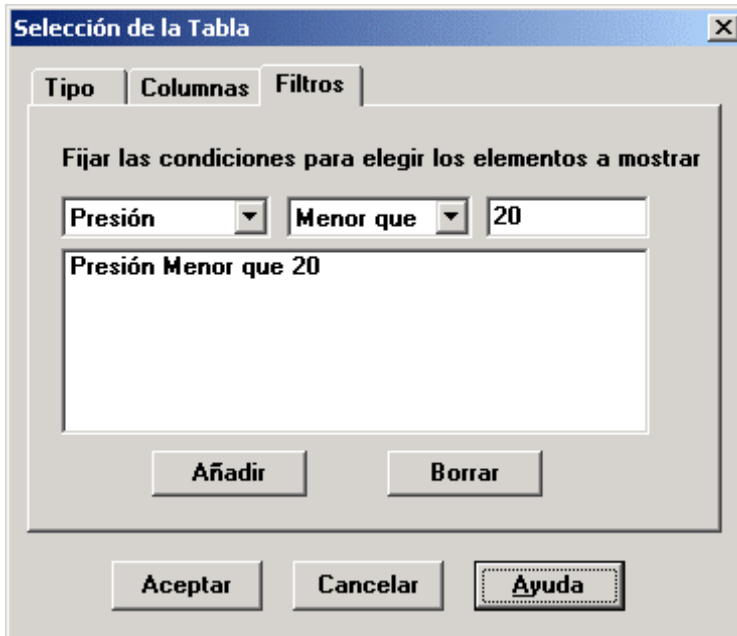
Figura 9.8 Página de *Columnas* del diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla*



## Página de Filtros


La página de *Filtros* del diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla* (Figura 9.9) se utiliza para determinar las condiciones a cumplir por los elementos que aparecerán en la tabla. Para filtrar el contenido de una tabla:

- Utilizar las casillas situadas en la parte superior de la página para crear una condición (p.ej. Presión Menor que 20).
- Pulsar el botón **Añadir** para añadir una condición a la lista.
- Utilizar el botón **Borrar** para quitar la condición seleccionada de la lista.



**Figura 9.9** Página de *Filtros* de diálogo de *Selección/Opciones de la Tabla*

Cuando se especifican varias condiciones, se entiende que se concatenan con la condición Y. Si una tabla tiene declarado un filtro, al pie de la tabla se mostrará un recuadro ajustable en el que se indica el número de elementos encontrados que cumplen todas las condiciones especificadas. Una vez se ha creado una tabla, se pueden añadir o borrar columnas, reordenarlas, o bien modificar las condiciones impuestas por el filtro. Para ello:

- Seleccionar **Informes >> Opciones...** de la Barra de Menús, pulsar el botón  de la barra de Herramientas Estándar cuando la ventana activa es la tabla, o bien pulsar el botón derecho del ratón sobre la tabla.
- Utilizar las páginas de *Columnas* y *Filtros* del diálogo de *Opciones de la Tabla* para modificar la tabla.

## Informe Completo

Cuando aparece el icono en la *Barra de Estado*, se puede crear un fichero de texto en disco, que contenga un informe completo de los resultados calculados para todos los nudos y líneas, en todos los instantes de tiempo. Para ello, elegir la opción **Informes >> Completo...** del Menú Principal. Este informe, que puede verse o imprimirse desde fuera de EPANET utilizando cualquier editor o procesador de textos, contiene la siguiente información:

- El título del proyecto y su descripción
- Un listado con los nudos extremos, longitud y diámetro de cada línea
- Un listado con las estadísticas de consumo energético de cada bomba
- Un par de tablas para cada instante de tiempo, en las cuales se listan los valores calculados en cada nudo (demanda, altura, presión y calidad) y en cada línea (caudal, velocidad, pérdida unitaria y estado). Esta opción es útil sobre todo para documentar los resultados finales del análisis de una red de tamaño pequeño o moderado (un fichero de informe completo para una red grande y con un periodo de simulación largo puede consumir docenas de megabytes en el disco). Los otros tipos de informes descritos en este capítulo permiten analizar los resultados de una forma más selectiva.

**CAPÍTULO 5: CASO DE  
ESTUDIO: SECTOR AO-10 (STA  
LUCIA 5)**

## INTRODUCCIÓN:

La mancha urbana del poniente de la Ciudad de México ha ido creciendo vertiginosamente hacia las faldas de las sierras de esa zona, por lo que los asentamientos urbanos quedan comprendidos entre las barrancas que se forman en esa accidentada topografía. Esto no sólo dificulta la prestación del servicio de agua potable en lo que concierne a la construcción de la infraestructura necesaria para llevar el agua hasta los puntos más alejados, sino que, favorece que el comportamiento de la presión de las tuberías no sea el idóneo, según las especificaciones técnicas de las mismas; es decir, con diferencias de niveles de hasta 100 metros entre puntos de la misma zona de influencia de un punto de entrega de agua en bloque, pozo o tanque, se provoca que durante las horas de la noche, entre las 24:00 y las 5:00 horas, cuando los consumos de agua disminuyen abruptamente, por razones hidráulicas del comportamiento del flujo la presión dentro de las tuberías que forman las redes de distribución aumenta más allá de lo recomendado, provocando la fatiga de las tuberías y posteriormente fugas que llegan a ser superiores al 40% del caudal entregado.

La identificación de las fugas, las cuales no siempre son visibles, es una tarea que tradicionalmente ha representado un problema para los responsables de la operación de las redes, provocando un gasto muy elevado de tiempo y recursos humanos y económicos que no llegan a proporcionar los resultados esperados, es decir, la disminución de la demanda y el contar con un mayor caudal de agua. Aún así, cuando es posible identificar las fugas, que por cierto se presentan generalmente en una misma zona, se hace cuando el caudal perdido es muy alto y la irritación de la sociedad es manifiesta.

No es la identificación y la posterior reparación de fugas la solución del problema, al ser reparadas las fugas se evita ciertamente la pérdida de gasto, sin embargo al aumentar la cantidad de líquido en la tubería y no disminuyendo el consumo, la presión interna aumenta lo que favorece la aparición de nuevas fallas en la tubería, no sólo en los mismos sitios donde se llevaron a cabo las reparaciones, sino en nuevos sitios, lo que agrava la problemática.

Es así como resalta la necesidad de controlar o regular la presión en aquellas zonas donde por su topografía es posible que alcance niveles que exceden los permitidos. Actualmente el personal de operación "resuelve" el problema mediante el abrir y cerrar válvulas de seccionamiento, provocando pérdidas de carga para reducir la presión. Sin embargo, durante la noche no se lleva a cabo esta operación por lo que las presiones aumentan considerablemente presentándose las fugas que se manifiestan en la mañana.

La presión debe ser regulada durante las veinticuatro horas del día para garantizar el servicio en cuanto a cantidad y calidad requeridas, es decir, no solo no debe faltar el agua, sino que debe ser entregada, en todos los sitios, con la presión adecuada. Para que esta situación sea posible se requiere la instalación de válvulas reguladoras de presión en aquellos sitios donde se identifican circuitos o sectores cuya operación es posible de forma independiente. Es obvio que dependiendo de la superficie a servir en cada sector y a los desniveles y características de la infraestructura de la red de distribución, se requiere de mayor o menor número de válvulas reguladoras.

El éxito de la operación de estas válvulas depende no sólo de las características propias

de la válvula y de las condiciones hidráulicas en que va a operar, sino de que requiere de la instalación de un número considerable de válvulas de seccionamiento, que aseguren el comportamiento independiente de los diferentes sectores identificados.

Los resultados de este estudio permiten afirmar que la solución más práctica, rápida y económica para recuperar un importante gasto de agua potable, cuya entrega en bloque ya implicó el desarrollo de actividades como son: captación, potabilización en la mayoría de los casos y conducción, y por lo tanto un alto costo; consiste en la instalación de válvulas reguladoras de presión, con las válvulas de seccionamiento complementarias.

Un aspecto relevante como conclusión del estudio es el hecho de que con las modificaciones y/o ampliaciones propuestas para la infraestructura existente es posible asegurar de que con la cantidad de agua actual es posible prestar un servicio permanente durante todo el día y acabar con los problemas que significa un servicio de tipo tandeado. Es recomendable que ante el grado de incertidumbre existente en lo que se refiere a la cantidad de agua entregada y recibida, debido a la falta de medición en los diferentes tanques y pozos que abastecen a la zona; se lleve a cabo campañas formales de medición de gastos y presiones en la red, una antes de la instalación de las válvulas reguladoras de presión y de seccionamiento, y otra cuando éstas se hayan instalado, para contar así con información fidedigna y actualizada que permita comparar los gastos entregados y tener una cifra real del ahorro de agua obtenido, lo que permitirá asegurar cuanta agua puede ser enviada a otras zonas que lo requieran.

Al existir un ahorro real de agua en la zona permitirá que la demanda disminuya y por lo tanto las autoridades responsables dispongan de un caudal para ser utilizado en aquellas zonas donde se ha identificado un déficit. De acuerdo con las condiciones físicas de las instalaciones e infraestructura hidráulica de la zona estudiada se recomienda instalar y/o rehabilitar medidores de flujo en las fuentes de abastecimiento, que son: Planta Potabilizadora de los Dinamos, Trifurcación Dinamos, Trifurcación El Judío y los pozos mencionados a lo largo del estudio, para no entregar más allá de la cantidad requerida para la correcta y adecuada prestación del servicio en todas y cada una de las colonias pertenecientes a la zona. Y así se tendrá un control estricto de la cantidad de agua que llega a esas estructuras, cuanta se entrega en cada sitio y cuanta se deberá dejar para ser conducida, seguramente utilizando la infraestructura existente del Acuaférico, hacia la zona del oriente, a la Delegación Iztapalapa, donde la problemática del agua se ha agudizado recientemente.

## 5.1 SELECCIÓN DEL SITIO

Como se observa anteriormente la zona mas desfavorable en lo que se refiere a desniveles y aumento de presiones en la redes es sin duda la zona poniente por ser la primera entrada en bloque de agua proveniente de fuentes externas como son el sistema Lerma-cutzama.

Y en donde son más representativos los ahorros de agua ya que por ser una zona de alta presión, al lograr el control de presiones se prevé un ahorro del líquido que se puede ser transportado a la zona oriente para su uso.

### SECTOR AO10-STA LUCIA 5

El sector a ser estudiado se encuentra en lo que se denomina la zona poniente y a su vez se divide en 4 zonas que a continuación se enlistan, el sector en estudio se localiza en la zona tres y los limites físicos de la zona poniente con sus respectivos sectores son los siguientes.

#### Zona 1:

Contreras	TC 9
El Sifón	TL 2
	TL 38
<b>Jardines</b>	
Periférico	TC 15
Pozos	TC 4
Pedregal 3	TC 6
Sector 1	TC 7
TC 1	TC 8
TC 2	TL 3
TC 3	TL 5
TL 4	TRTL 1
T 2	T. Solidaridad
TC 5	Zacatépetl
Coyoacán	

#### Zona 2:

Anzaldo	Pájaros 1
Claveles	Pedregal
Huayatlá 1	Pueblo Nuevo y Ángulo
Judío	Presa Reventada
Judío 3	Resto
MC 7	Reynaco
MC 8	San Jerónimo
MC 10	Tizapán

**Zona 3:**

Águilas	Santa Lucía 2
Alfonso XIII	Santa Lucía 3
Becerra	Santa Lucía 4
Centenario	<b>Santa Lucía 5</b>
Centenario 2	Santa Rosa Xochiac
Fabriquita	Tacubaya
Plateros	Tacubaya 3
Portal 29	Tamaulipas
San Bartolo Ameyalco	Tarango 1
San Mateo Tlaltenango	Tarango 2
Santa Fe	Villa Verdún
Santa Lucía 1	

**Zona 4:**

Laurel	Madera
Maple	Palo alto
Sector 1 y 2	Zapote
Cumbre	Zarago

Dichas zonas se ubican como a continuación se describe:

La zona uno se encuentra delimitada al norte por el Anillo Periférico; y avanzando hacia el poniente, por las avenidas México, Emilio Carranza y Camino a los Dinamos de Contreras, a su vez, este límite viene siendo la frontera sur de la zona dos. En cuanto al límite sur para la zona uno, éste se define a lo largo del Circuito Ajusco. Por otra parte la zona dos comparte frontera con el sur de la zona tres a lo largo de la Avenida Toluca, avanzando hacia el poniente por la barranca La Malinche, y siguiendo por la Avenida Desierto de los Leones. De igual forma, el límite que separa la zona tres y la cuatro, descrito de oriente a poniente, inicia por la Avenida Las Torres, continuando por la Avenida Constituyentes y finalizando en la carretera Federal México Toluca; también cabe mencionar que esta frontera coincide, casi en su totalidad con una parte del límite entre las delegaciones Miguel Hidalgo y Álvaro Obregón. Finalmente, la zona cuatro se encuentra limitada al norte por las avenidas Industria Militar, Avenida de las Fuentes, Avenida de los Bosques y la Avenida Lomas de Anáhuac. En lo que respecta a las fronteras oriente y poniente de las cuatro zonas, éstas se encuentran definidas, hacia el oriente, por el Boulevard Adolfo López Mateos, siguiendo hacia el sur por la Avenida Revolución, la Avenida Paseo del Pedregal y finalizando con la Avenida Insurgentes Sur. Hacia el poniente se puede definir como frontera el área urbana y en algunas partes, los límites del Distrito Federal con el Estado de México.

A continuación se presenta un resumen de la disposición de las válvulas tanto de seccionamiento como reguladoras de presión en cada uno de los sectores que conforman a cada zona. También, como dato importante se muestra el valor del gasto base manejado en la simulación de cada sector.

**Zona 3:**

<b>Sector</b>	<b>Válvula de Seccionamiento</b>	<b>Válvula Reductora De Presión</b>	<b>Gasto Base LPS</b>
Águilas	68	14	158.72
Alfonso XIII	34	5	66.84
Becerra	68	13	158.76
Centenario	32	15	60.63
Centenario 2	9	4	26.39
Fabriquita	29	4	47.26
Plateros	10	5	39.73
Portal 29	3	3	15.48
San Bartolo Ameyalco	14	4	17.97
San Mateo Tlaltenango	10	6	19.87
Santa Fe	69	14	73.64
Santa Lucía 1	6	11	54.04
Santa Lucía 2	5	7	39.99
Santa Lucía 3	61	11	74.33
Santa Lucía 4	15	9	165.53
<b>Santa Lucía 5</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>15.22</b>
Santa Rosa Xochiac	8	4	8.71
Tacubaya	21	3	29.27
Tacubaya 3	0	1	7.94
Tamaulipas	19	9	41.15
Tarango 1	4	4	17.65
Tarango 2	1	1	11.87
Villa Verdún	16	7	43.21



## 4.2 DESCRIPCION DEL SECTOR Y SU FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO

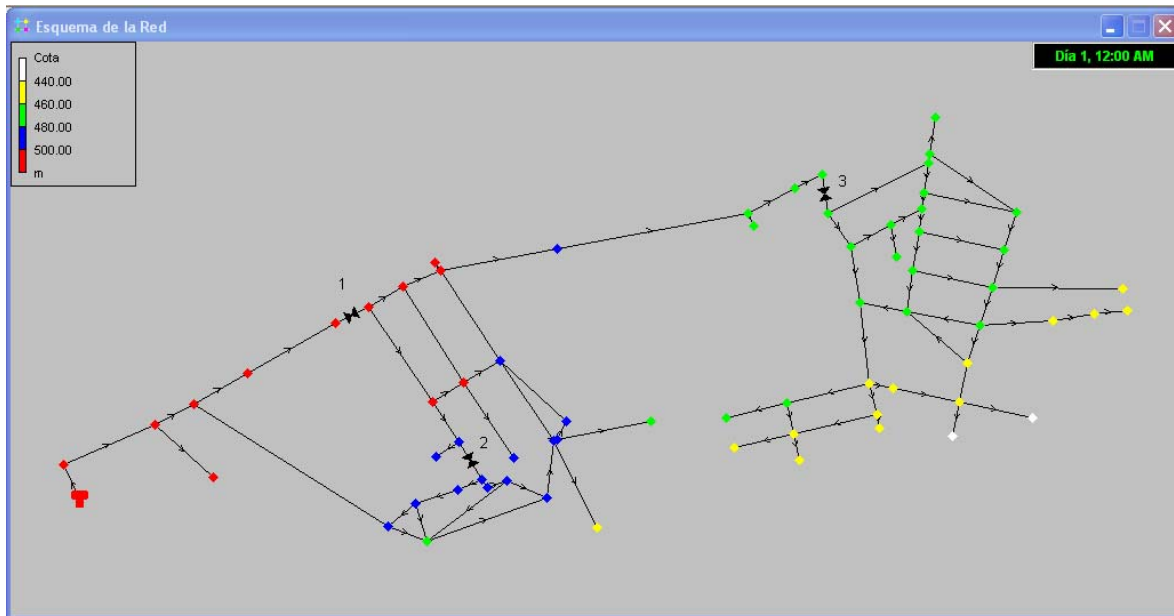
Con la información mencionada se procedió a hacer la revisión de los sectores desde el punto de vista de su funcionamiento hidráulico, las fuentes de abastecimiento y la verificación de corridas de los archivos de **EPANET**.

A continuación se muestran los resultados que se obtienen de los sectores anteriormente mencionados cuando se implementan las válvulas reguladoras en la zona 3.

Sector Sta. Lucía 5.

### Figura

El sector se encuentra limitado al norte por la Av. Tamaulipas, al sur por el sector Centenario y el río Mixcoac, al oriente por el sector Santa Lucía 4 y al poniente por el sector Tamaulipas delimitándolos la calle Arrayán. El armado lo componen 68 nudos y 84 tubos, los cuales son abastecidos por el tanque Sta. Lucía 5 que tiene una capacidad de 7,500 m<sup>3</sup>, y una elevación de 2,514 msnm. El armado de la red y su configuración topográfica se tiene en la siguiente figura.



Con el fin de apreciar con mayor facilidad la información en su totalidad, se presenta en la siguiente tabla los sectores, nombrando como Sectores de Gasto a los sectores que se están analizando en el presente estudio; y Sectores de Presión los estudiados en el control de presiones que componen a los antes mencionados. Como dato importante se presenta también el área que abarca cada sector de gasto con el fin de dar una idea de la dimensión de los mismos, este dato es muy importante ya que para algunos sectores fue un factor determinante para su extensión, ya que como recomendación se nos indicó un valor de área máxima para cada sector, el cual es de 2 a 3 km<sup>2</sup>. Finalmente también se muestra la fuente de abastecimiento de cada uno de los sectores; siendo también este dato, de vital importancia para la correcta sectorización.

**Sectores de Control Gasto.**

<b>Sector de Gasto</b>	<b>Sectores de Presión</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Fuente de Abastecimiento</b>
AOB10 S. Lucía 5	Lucía 2 (poniente) y Lucía 5	1.21	Tanque Sta. Lucía 5

Cabe hacer la aclaración que los sectores de gasto que no se presentan formados por ningún sector de presión se analizaron de forma independiente; ya sea por su forma de abastecimiento; o como ya se mencionó, por la extensión de su área.

Como se sabe, con la finalidad de lograr mayor certidumbre en los datos de entrada para las simulaciones en el programa, se ha recurrido a calcular la población de cada sector a través de información de INEGI por medio de Áreas Geográficas de Estadística Básica (AGEB).

# CAPÍTULO 6: CORRIDA DEL PROGRAMA

## 6.1 REVISION DE FRONTERA Y SITIOS DE ENTRADA

Se presentan todas las alternativas de sectorización analizadas para cada Delegación incluyendo las que finalmente se utilizaron. Posteriormente es necesario capturar la información que define la red hidráulica de cada uno de los sectores

El primer paso del proyecto de sectorización consistió en definir la superficie que correspondería a cada sector. Para hacer esto se trazaron las líneas que indican los límites de los sectores sobre los planos de planimetría y tuberías secundarias de la región centro.

Los criterios seguidos para realizar esta sectorización fueron:

- Siempre que sea posible la superficie del sector deberá ser de 2.5 a 3.5 km<sup>2</sup>.
- Los límites entre sectores deberán ser las calles por donde crucen menos tuberías de red secundaria. Seguir este criterio reduce el número de válvulas de seccionamiento nuevas que se tienen que instalar para conseguir el aislamiento del sector, además de que se aprovechan las divisiones existentes de la red hidráulica.  
Ejemplo de calles con pocos cruces de tuberías secundarias son las avenidas por donde cruzan líneas del Metro, por ejemplo Calzada de Tlalpan.
- En todo sector deberán cruzar líneas de red primaria. Este criterio permite la alimentación de agua al sector.

Con estos criterios se desarrollaron las primeras propuestas de sectorización para cada una de las delegaciones de la zona centro. Sin embargo, la propuesta definitiva dependió de varios factores como:

- Pendiente del terreno considerado dentro del sector. Cuando ésta es alta se deben seleccionar sectores angostos, donde el desnivel no sea superior a los 10 m, pues con desniveles superiores es necesario crear subsectores de presión con el objeto de mantener presiones en el rango de 5 mca a 15 mca (que es uno de los criterios considerados para la simulación de los sectores, ver capítulo **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para una descripción de los criterios).
- Disponibilidad de entradas existentes desde la red primaria. Cuando éstas no existían en un sector se prefirió cambiar la propuesta de sectorización a proponer una nueva conexión a la red primaria. Esto se decidió así al estimar que cada nueva conexión a red primaria requiere de una obra costos y de la interrupción del servicio de suministro de agua en zonas amplias de la ciudad.
- Configuración de la red secundaria interna. En ocasiones quedaban sectores grandes sin tuberías de diámetros amplios dentro de ellos, esto dificultaba el transporte del líquido dentro del sector. En estos casos se prefirió cambiar la propuesta de sectorización antes de proponer la instalación de tuberías nuevas.

Para el sector en estudio las fronteras y los sitios de entrada se indican en el capítulo 5.

## 6.2 RECOPIACIÓN DE DATOS GEOMETRICOS DE LA RED

Se describe cómo se obtuvo la información empleada

La fuente principal de información sobre la red secundaria y primaria de la zona centro fueron los planos con planimetría e infraestructura hidráulica elaborados por CADF. La información considerada importante, como los sitios de conexión a red primaria que se propusieron adecuar como sitios de entrada con control de presión y medición de caudal, se verificó en campo. Las incongruencias encontradas entre lo indicado por los planos y la realidad fueron corregidas en unos planos de trabajo, de los cuales se imprimieron uno por cada sector.

### Información digital de sector.



Se observaron diferencias importantes entre las instalaciones hidráulicas existentes y las indicadas por los planos de CADF. En parte este problema se debe a los cambios que ha sufrido la red hidráulica desde que los planos fueron elaborados, pero también se detectaron fallas relacionadas con la elaboración original de los planos.

En las zonas en donde la información digital no sea la misma que la real se requiere de realizar los cambios necesarios a los modelos para que la información a simular sea la correcta de otra forma los planos quedarían completamente obsoletos. Los nuevos planos deberán considerar el proyecto de sectorización propuesto en este trabajo, pero también las modificaciones especiales que se observen durante la construcción, o las diferencias detectadas durante la ejecución de los trabajos entre la instalación existente y los planos de proyecto.

### 6.3 IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA EPANET

Se describe el proceso empleado para capturar la información en el programa de simulación EPANET

Con los datos vaciados en los planos de trabajo por sector se procedió a implementar el modelo computacional para simular el funcionamiento de cada sector. Para cada sector es necesario realizar el siguiente procedimiento:

- Aislar el sector en el programa Autocad 2004.
- Insertar los elementos de la red de distribución secundaria utilizando el programa H2ONET. Esto implica captura de las características de cada nodo, tubo, tanque, y bombas de los pozos.
- Exportar el archivo de H2ONET al formato del programa EPANET.
- Revisar la estructura hidráulica mostrada en el programa EPANET y corregir elementos faltantes de ser necesario.
- Mediante un software elaborado por Sihasa para este proyecto, al que se le llamó “programa ayuda Epanet”, se modifica el archivo de EPANET como sigue:
  - Se captura en el programa ayuda el consumo del para que el programa calcule y capture en el archivo el consumo que se considerará en cada nodo.
  - Se captura en el programa ayuda el porcentaje de fugas a considerar en el sector y el programa calibrará los coeficientes de emitter de cada nodo para que se presente la cantidad de fuga especificada El programa ayuda agrega automáticamente el patrón de consumo que se presenta durante el día.
  - El programa ayuda también define algunos valores del archivo de EPANET como que el tipo de fórmula para el cálculo de pérdidas por fricción, el color del fondo, los colores y rangos para mostrar los nodos y los tubos, las unidades en que funcionará el programa, el patrón de consumo a lo largo del día, y otros.
- Posteriormente se realizan las primeras simulaciones intentando cumplir con los criterios considerados para las simulaciones

En la simulación elaborada con el programa EPANET los consumos se consideraron en los nodos, pues aunque en realidad se extienden a lo largo de la tubería, el proceso computacional de simulación exige que éstos se consideren en los nodos. Lo mismo sucedió con las fugas, que se presentan a lo largo de las tuberías pero fueron consideradas en el nodo en la simulación.

## **6.4 RECORRIDOS DE CAMPO**

Se describen las visitas a sitios especiales realizadas para corroborar la información considerada.

Con el fin de conocer las características físicas de la zona en estudio y corroborar la información recopilada y analizada en gabinete, se llevaron a cabo diversos recorridos de campo, tanto en compañía del personal de operación de la DGCOH, como en forma independiente.

Los recorridos permitieron ante la presencia de barreras naturales, como son parques y jardines, vías de ferrocarril, vías rápidas de comunicación, líneas del METRO, etc., ratificar o, en su caso modificar, la propuesta de sectorización; así como la factibilidad de los sitios de conexión a la red primaria de distribución, tanto por la localización de la tubería, el arreglo de los cruceros en cuestión, así como por las características urbanas del sitio.

Objetivo: Conocer las características físicas del sector, así como la ubicación y condiciones de sus instalaciones e infraestructura hidráulicas, corroborar los límites propuestos del sector, así como los límites delegacionales comprendidos en el mismo.

## 6.5 MEDICIONES DE GASTO Y PRESIÓN

Se describen las mediciones realizadas en campo que servirán para calibrar las simulaciones hidráulicas.

### **Medición de presiones y caudales en campo.**

Dentro de las actividades a realizar se encuentran dos actividades de campo fundamentales en el desarrollo del presente estudio, la medición de presiones y la medición de caudales. Ambas actividades servirán para corroborar la validez del estudio realizado.

### **Medición de presiones y gastos.**

La medición de presiones es la actividad que permite realizar la calibración del modelo matemático una vez armado dicho sistema, es decir una vez que se tiene el armado geométrico de la red como son longitudes y diámetros de tubos, elevaciones y gastos de nudos, etc. se puede realizar la simulación, sin embargo sin mediciones de campo no es posible comprobar la validez de las hipótesis vertidas en la elaboración del modelo, por lo que sólo con la mediciones es posible corroborar que el modelo matemático efectivamente represente el comportamiento real del sistema.

De igual manera que en la medición de presiones, con la medición de gastos se comprobará la validez de las hipótesis con respecto a la demanda teórica, en la cual se consideró un consumo inicial de 2.2 l/s/km de red y que se tiene considerado afinar con los datos de consumo que proporcione la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF). En cuanto a la medición de presiones se deben de diferenciar dos tipos de medición, la realizada con manómetros convencionales en tomas domiciliarias y la realizada en las tuberías de la red primaria que abastecen a los sectores en estudio, que van ligadas al aforo de gasto.

Para la primeras, con base a las simulaciones preliminares se seleccionaron los sitios donde se tenían las presiones mínimas, máximas y medias en cada uno de los sectores y se tomaron un promedio de 8 lecturas en los sectores chicos llegando hasta 25 lecturas en los sectores mas grandes, lo que dio mas de 300 lecturas de presión en tomas domiciliarias en la Zona III, éstas se realizaron entre la 10 A.M. y las 5 P.M., para la medición de presiones se implemento un programa de mediciones que permitiera avanzar a la par las simulaciones como la medición en campo, siendo de particular importancia que el personal encargado de efectuar las mediciones fuera el mismo que realice las simulaciones con la finalidad de que este sensibilizado tanto con la zona como con las presiones. En la figuras del siguiente capítulo se encuentran las lecturas tomadas.

Para la medición de presiones y gastos en las tuberías que abastecen a los sectores, además de la necesidad de ubicar los puntos estratégicos para llevar a cabo las mediciones, hubo que realizar una coordinación entre el personal de medición de la DGCOH, las empresas de las otras zonas y el programa de construcción de cajas donde se requiriera, dado que la disponibilidad de equipos de aforo fue limitada. Se estableció la conveniencia de contar con aforos a lo largo de una semana en la cual se incluyeran sábados y domingos con la finalidad de contar también con registros, de éstos días y



poder validar o redefinir el patrón de demandas propuesto y a su vez ajustar el coeficiente de consumo, ante la falta de datos por parte de la CADF

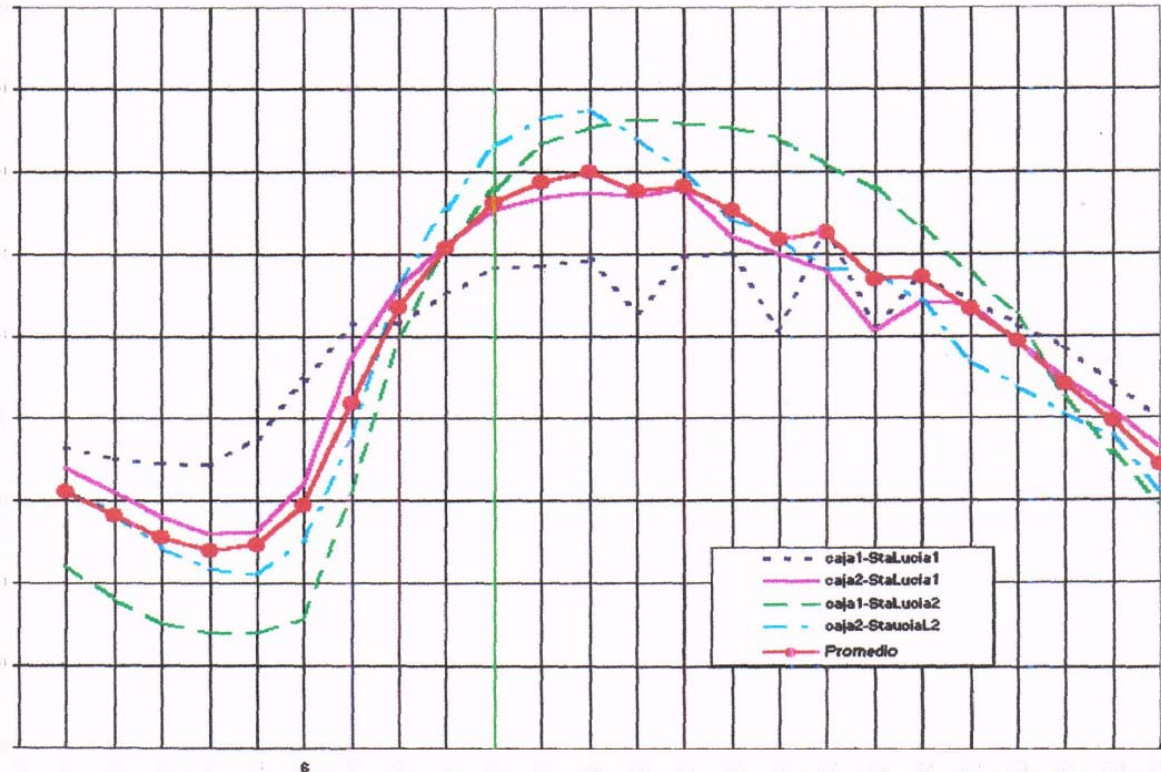


Figura 4.3.5 Variación Horaria Registrada y Promedio.

Con los valores registrados de gastos se realizó la siguiente tabla donde se muestra la variación obtenida de los gastos medidos contra los gastos supuestos en la simulación.

Tabla 4.3.1 Comparación de gastos del Modelo vs. Medidos

Sector	Gastos (l/s)			
	Modelo	Medidos	Diferencia	%
Santa Lucía 1	90.07	93.77	-3.70	-4%
Santa Lucía 2	73.62	66.28	7.34	10%

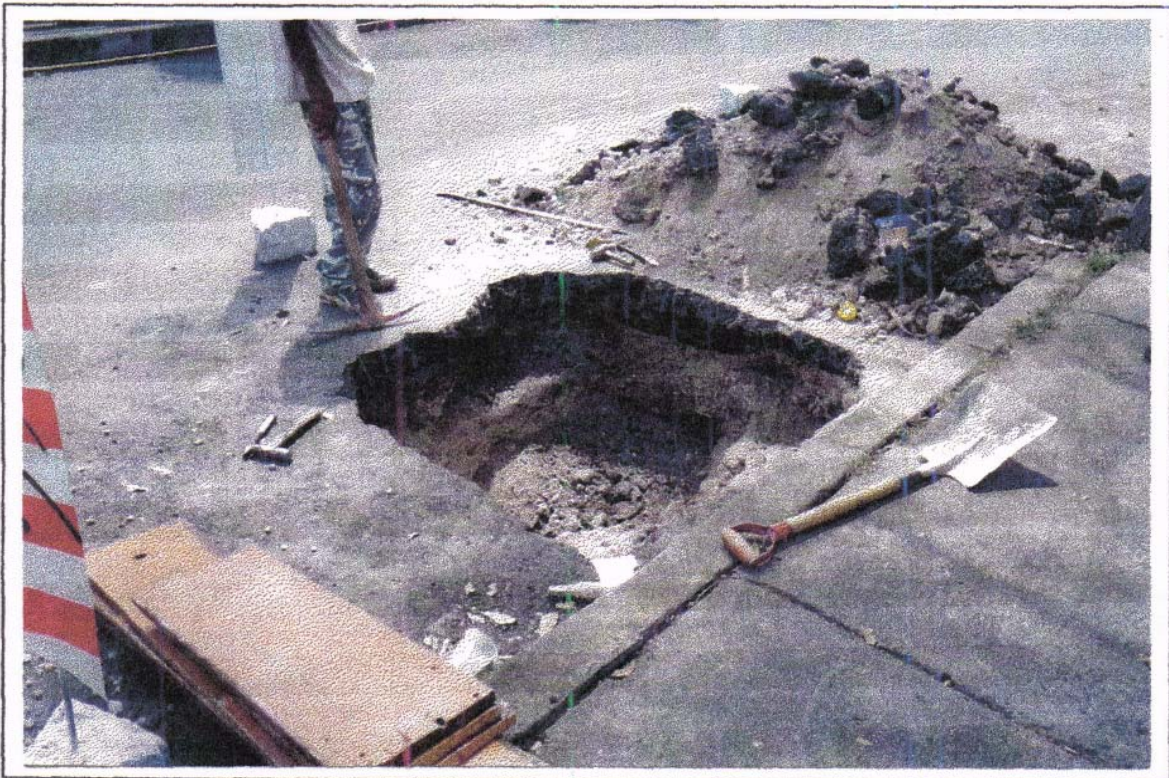
## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 1



Fotografía No. 1

Excavación hasta encontrar la profundidad de la tubería. Se encontró a una profundidad de 1.20 m

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 1



Fotografía No. 2

Se siguió con la excavación de la caja, habiendo problemas debido al espesor del pavimento asfáltico.

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 1



Fotografía No. 3

Continuó la excavación y empezó el armado de las losas precoladas (marimbas).

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No.2 EN STA. LUCÍA 1



Fotografía No. 5

Se terminó completamente la excavación hasta el nivel de plantilla, dejando la tubería de PAD al descubierto

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 1



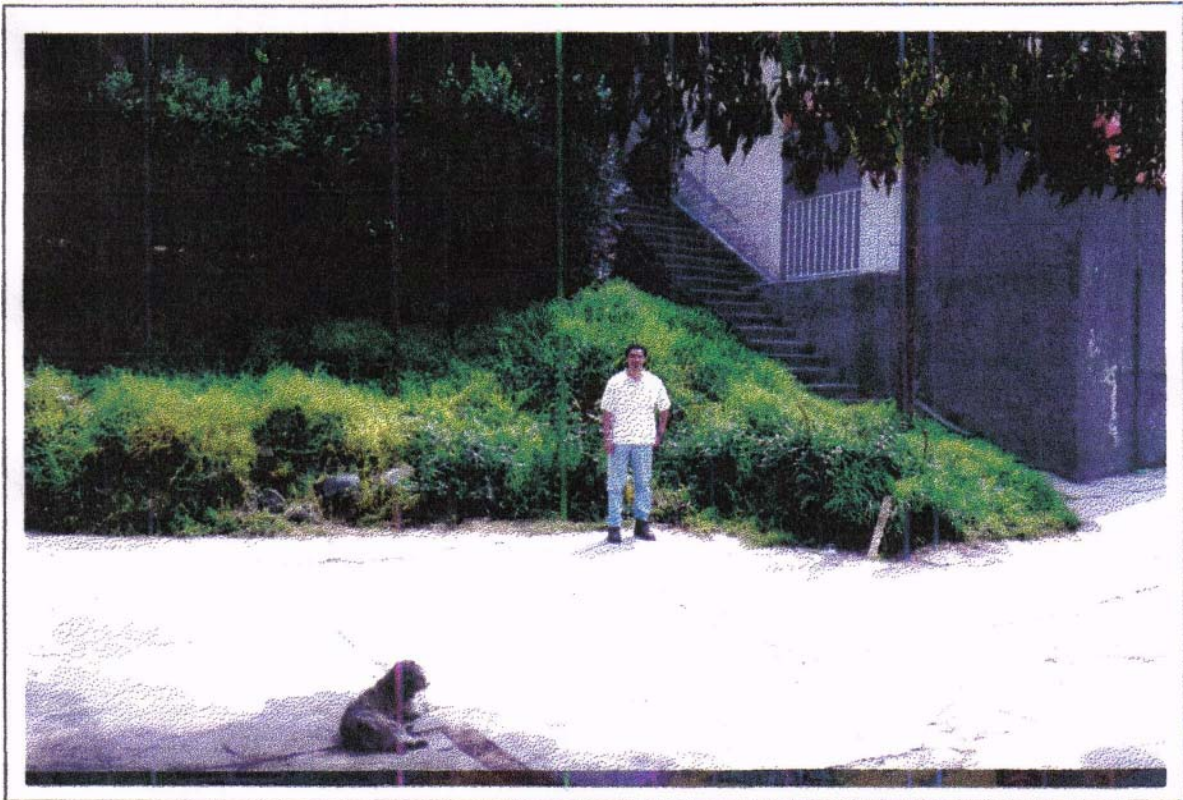
Fotografía No. 7 Se observa el proceso para colocar la válvula de inserción

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 1



Fotografía No. S Se tomó la lectura preliminar de gasto y presión

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Sitio propuesto para la construcción de caja para medir gastos y presiones en el sector Santa Lucía 2



## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 1

Excavación en el terreno hasta encontrar la tubería

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 3

Se colocaron los armados de los castillos y se coló la plantilla

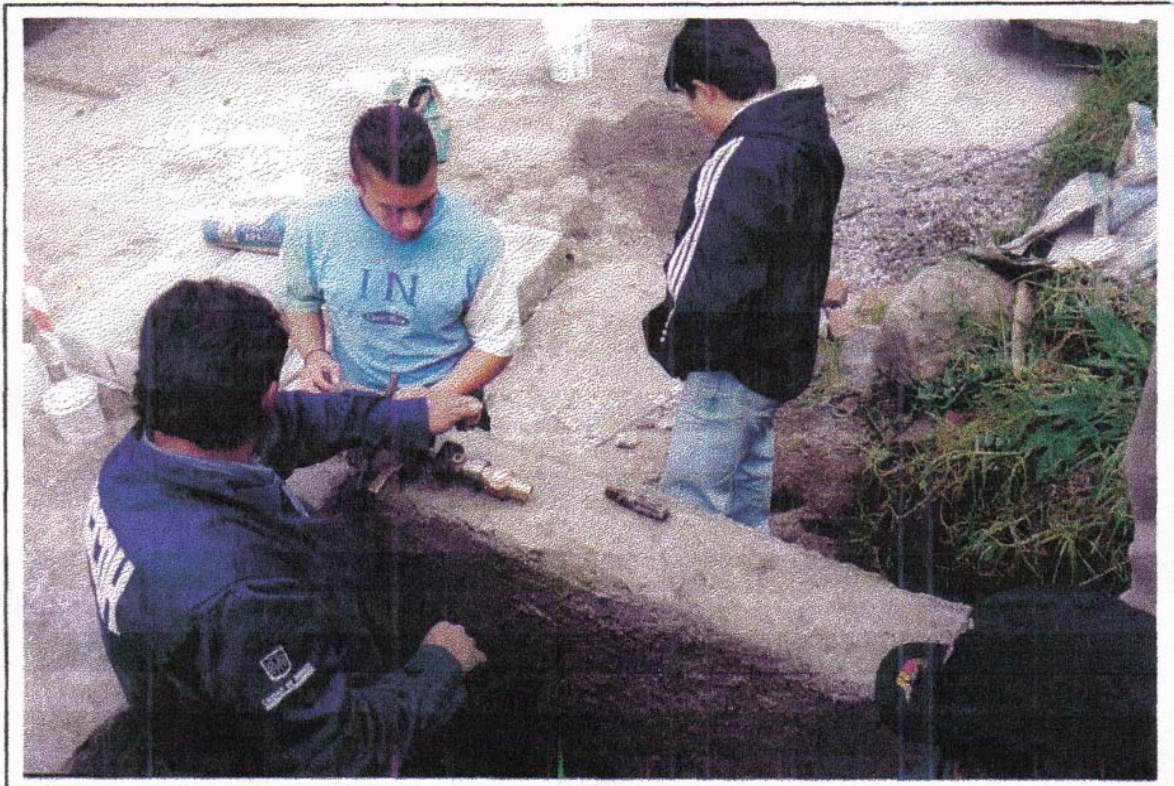
## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 6

Se retomó la construcción de la caja en el sitio original, se construyeron las paredes de la caja

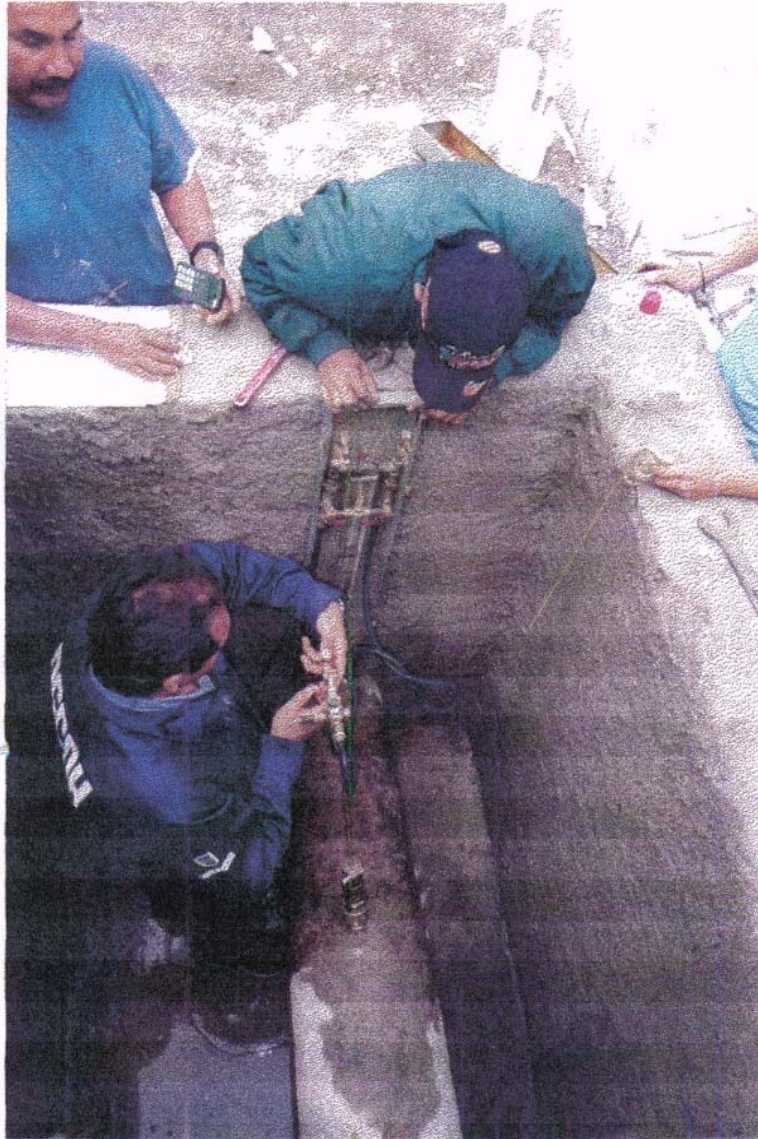
## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 9

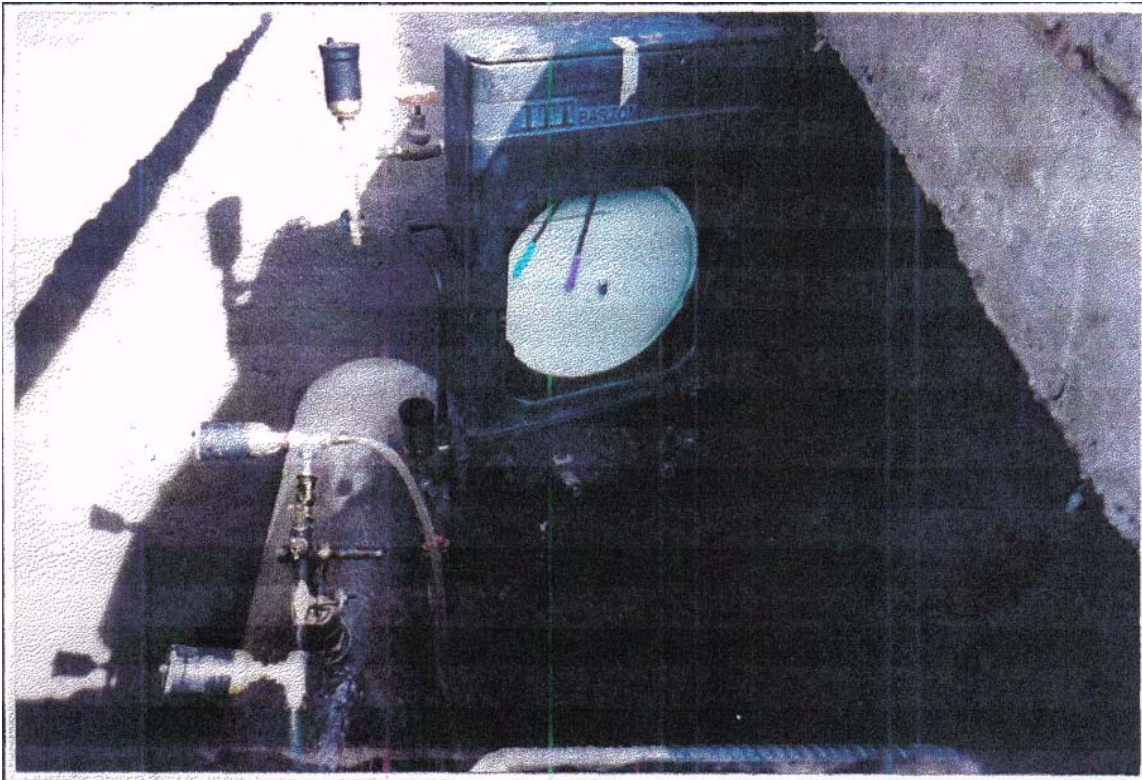
Preparación de la broca para perforar el tubo de acero.

## CONSTRUCCIÓN DE CAJA 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 11 Medición preliminar de la presión y del caudal.

## MEDICIÓN EN CAJA No. 2 EN STA. LUCÍA 2



Fotografía No. 14

Se muestra como quedó el aparato de medición una vez colocado.

## PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL DIAMETRO DE LAS VÁLVULAS REGULADORAS DE PRESIÓN

Para la obtención del diámetro de las válvulas reguladoras se utilizó el catálogo de la marca WATTS y se generaron tablas para cada sector donde se muestran por columnas los valores necesarios para utilizar las referidas gráficas.

El procedimiento consiste en utilizar dos gráficas para obtener el diámetro y una tercera para verificar que no entren en cavitación.

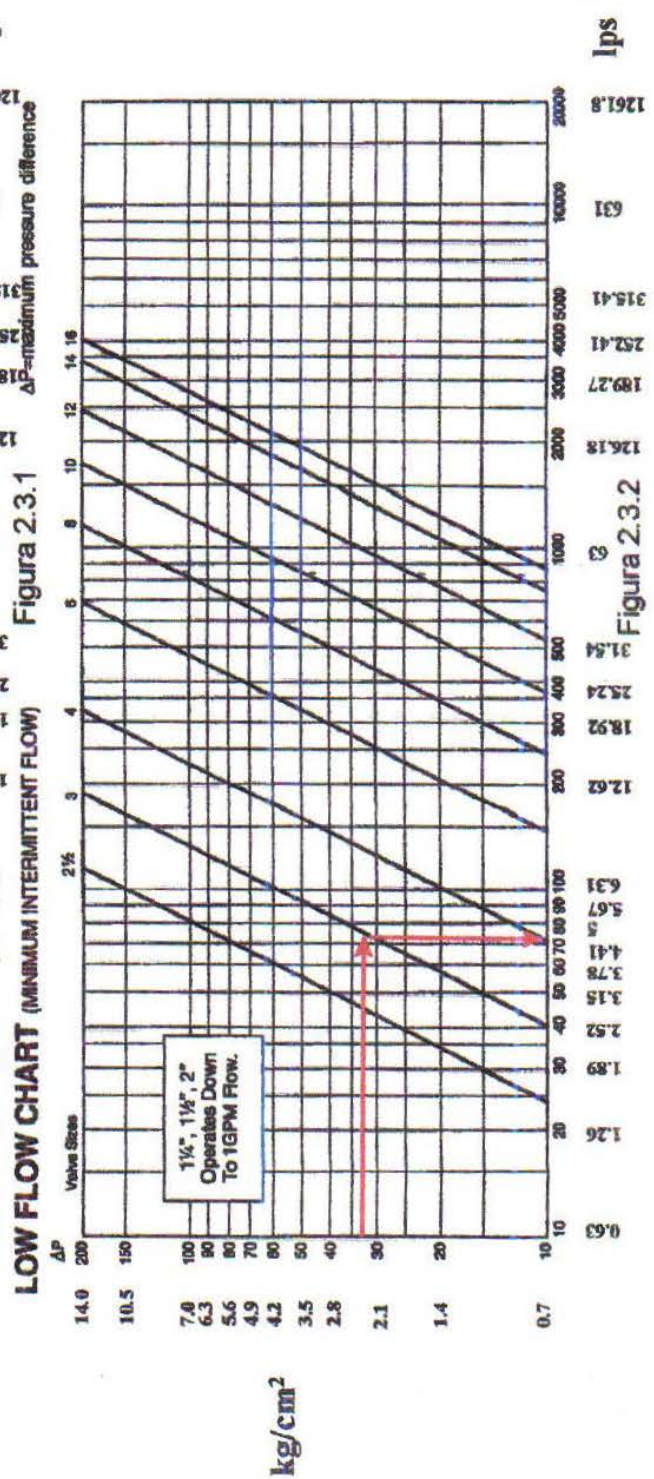
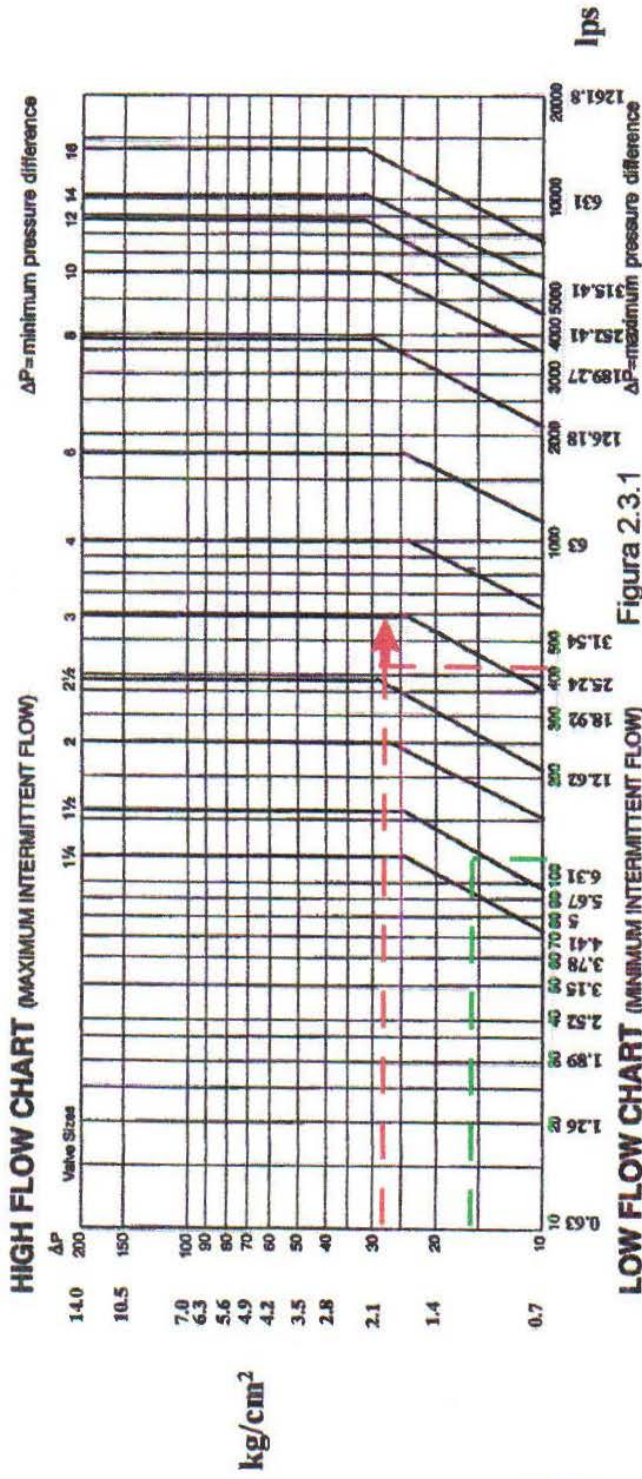
Los datos que se requieren son: mínimo diferencial de presión (columna G en las tablas de datos), flujo máximo que pasa por la válvula (columna A), máximo diferencial de presión (columna F), flujo mínimo que pasa por la válvula (columna B).

El procedimiento es el siguiente:

1.- Con el valor de las columnas G y A, se ubican los valores en los ejes vertical y horizontal respectivamente de la figura 7.3.1 "HIGH FLOW CHART", en el punto de intersección de ambos valores se dibuja una línea horizontal hacia la derecha hasta intersectar la primera línea de diámetro, la cual corresponderá al diámetro de la válvula para esos valores.

2.- Con el valor de la columna F y el diámetro de la válvula encontrado en el paso anterior, se utiliza la figura 7.3.2 "LOW FLOW CHART", primero se ubica el valor de la columna F en el eje vertical, a partir de donde se traza una línea horizontal hasta intersectar con la línea del diámetro obtenido anteriormente, en ese punto se traza una línea vertical hacia abajo, con lo que se obtiene el valor del flujo mínimo que acepta la válvula, este valor deberá ser menor al de la columna B, en caso de no ser así se deberá colocar otra válvula adicional de menor diámetro en paralelo.

3.- Para comprobar que la válvula no entre en cavitación se utilizan los valores de la máxima presión de entrada (columna C) y la presión de salida que es la de control (columna E), con ambos valores se entra en la figura 7.3.3 "CAVITATION CHART", se ubican los valores en los ejes vertical y horizontal respectivamente y se traza una línea horizontal y otra vertical, el punto de intersección de ambas líneas deberá caer fuera de la zona sombreada (zona de cavitación), lo que indica que la válvula no tendrá problemas, en caso contrario se deberá proponer un arreglo de válvulas en serie para hacer gradual la disminución de presión.



7.3-5



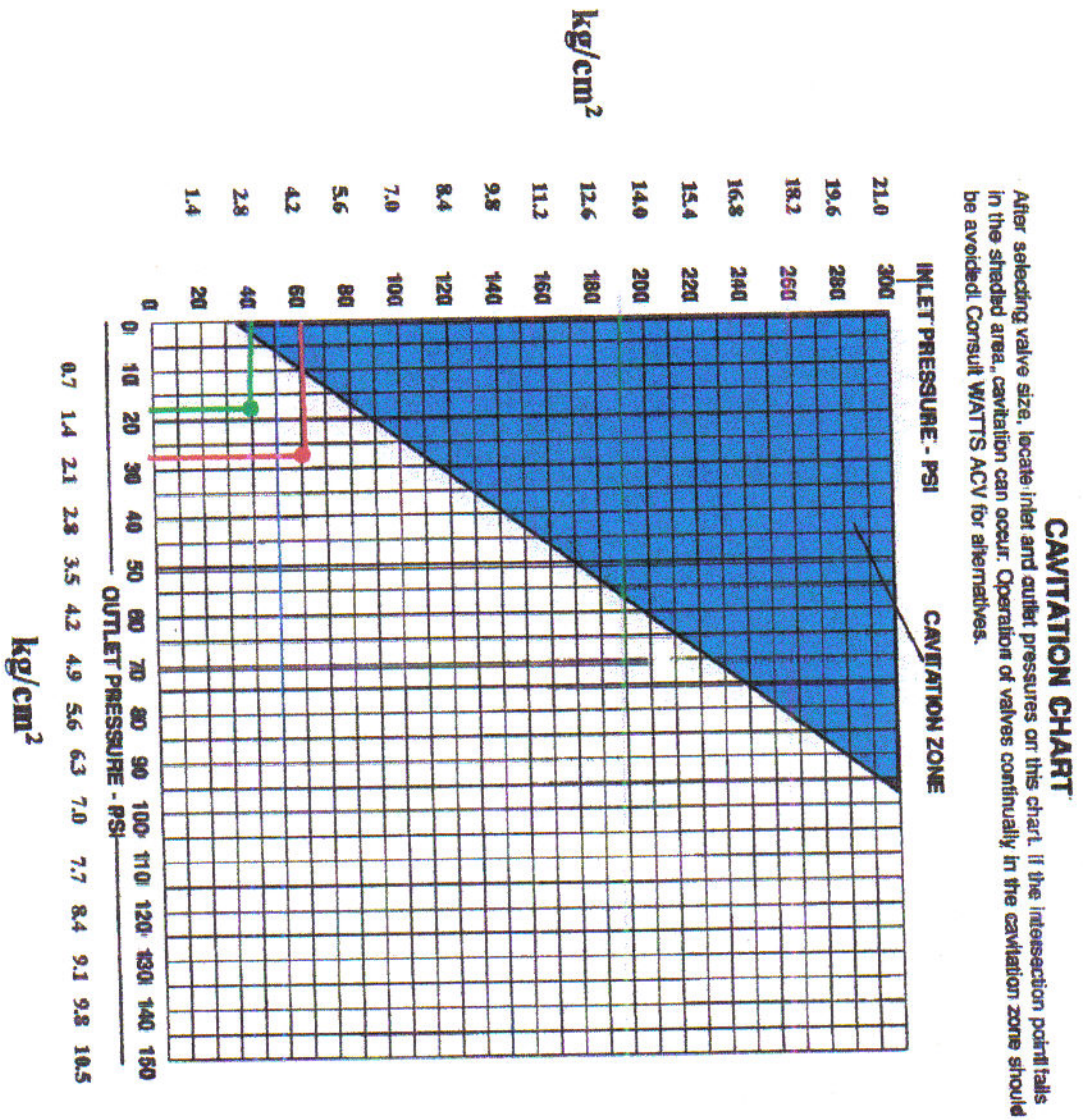


Figura 2.3.3

## 6.6 CALCULO DE GASTO DE EXTRACCION

### EL PROBLEMA DE LAS FUGAS DE AGUA

Las fugas de agua en las redes de agua potable, en los niveles que se encuentran en las ciudades mexicanas (y desde luego no sólo en México), constituyen un problema central pues sin reducirlas a niveles aceptables es prácticamente imposible resolver el resto de los problemas del sistema con una mínima eficacia por las razones que se explican más adelante.

Hasta hace unos quince años, alrededor de 1990, se aceptaba que había algunas fugas, pero los operadores de las redes y los directores de los sistemas difícilmente consideraban que fueran un problema importante, su tendencia era sostener que no había más fugas que las que aparecían en la superficie y que éstas eran reparadas. Incluso los asesores técnicos de los bancos internacionales de desarrollo que estaban muy preocupados por la baja eficiencia de los sistemas y ponían su atención en lo que se llama el agua no contabilizada, es decir la diferencia entre el agua que se introduce en la red de una ciudad y la que se mide y factura a los usuarios, y que con frecuencia era del orden del 70%, tenían resistencia a pensar que la mayor parte fuera debida a fugas. En pláticas con algunos de ellos, se comentaba que, por ejemplo, resultaba difícil aceptar que en el área metropolitana de la ciudad de México, con un suministro de 65,000 lps, las fugas pudieran suponer, por ejemplo, un 40%, es decir, 26,000 lps que es el escurrimiento de un río relativamente caudaloso. La visión cambia si pensamos que ocurren a lo largo de redes con una longitud de más de 24 millones de metros.

En vista de lo anterior, desde la Comisión Nacional del Agua, encargué al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua que hiciera algunos estudios en una docena de ciudades de México. Los resultados mostraron que las fugas estimadas en todas ellas se encontraban entre 35% y 50% del suministro total.

Estos resultados empezaron a crear conflictos con los responsables de los sistemas de agua, especialmente con los grupos encargados de la operación, que aún actualmente, en su mayoría, sostienen que no existen más fugas que las que afloran y reparan. En el DF, por ejemplo, se sostenía que las fugas en la red eran del 7%, más tarde me enteré que este número había salido de unas mediciones en una red recién construida en una urbanización nueva. Después, cuando se les hizo ver que en otras ciudades del mundo las cifras eran bien distintas, que con frecuencia rondaban el 30%, que no era raro que llegaran al 50% y que en algunas donde se había atendido el problema durante treinta años habían logrado bajar a 15%, y sólo en algunas pocas relativamente pequeñas, por ejemplo en Japón y Alemania, con infraestructura reconstruida totalmente después de la guerra con sus estrictas normas de calidad se había logrado reducir a niveles del orden del 10%, los operadores fueron inventando cifras "oficiales" poco a poco más grandes hasta llegar al 30%. Más tarde, alrededor del año 1994 se hizo algún estudio que, a pesar de sus deficiencias metodológicas, llegó a una estimación de fugas del 44%; a raíz de este estudio hubo reuniones en donde los encargados de la operación reaccionaron en contra diciendo que eso era imposible y que la cifra no podía ser mayor del 30%, con lo cual en una sala de reuniones se decidió salomónicamente que la cifra sería del promedio, un 37%. En los municipios del Edo. de México conurbados al área metropolitana del Valle de México se sostiene aún que las fugas son del 25%. Todo esto se puede hacer, naturalmente en la medida que no se mida el agua razonablemente.

No reconocer la magnitud de las fugas llevaba, y lleva, a serios errores y decisiones equivocadas. Las cuentas que se presentan a las autoridades correspondientes, y en poca medida al público, están deformadas pues para explicar el agua no contabilizada se atribuye a consumos excesivos de la gente pero como esto llevaba a exigir cuentas sobre el poco volumen de agua que se cobra, se acude entonces a acumular una mentira sobre otra; por ejemplo, que los medidores de los consumos miden de menos, que hay muchas tomas clandestinas, que quienes no tienen medidor usan cantidades en gran exceso, etc. y aunque todos estos problemas existen no se aclara que porcentaje del problema representan. Pero como nuevamente estos problemas recaen en la responsabilidad de los operadores, siguen inventando más argumentos hasta sostener que la población de sus ciudades es mayor hasta extremos como el de un municipio del Edo. de México que sostiene que la población es del doble, más de tres millones en vez de 1.7 que señala el censo oficial. Con esto por cierto, si el interlocutor no está ya mareado, podría volver a preguntar por qué entonces se recauda tan poco con tanta gente usando agua.

Un problema inconveniente que se ha presentado es que cuando el responsable de un sistema de agua estima en forma razonable las fugas de la red a su cargo se vuelve objeto de críticas por parte del resto y de algunas autoridades, acusándolo por lo desastroso de su infraestructura. Estas actitudes, por supuesto, obedecen a diversos propósitos que van desde el ocultamiento de las propias vergüenzas hasta el uso político en las discusiones por la competencia de los recursos hidráulicos de una región. La consecuencia es una tendencia al ocultamiento de las cifras reales, lo que dificulta más aún la solución de los problemas en la medida en que no se empieza por reconocerlos.

Una de las primeras ciudades en México que reconoció el problema, alrededor del año 90, fue la ciudad de León, Gto. que tenía una población de unos 700,000 habitantes. Esta ciudad contaba con un buen sistema administrativo, una medición de consumos casi completa y medición del agua suministrada. Tenía además montado un procedimiento eficiente de reparación de fugas visibles con lo que reparaba rápidamente las que aparecían, unas 28,000 al año. Sin embargo, de los 2,600 lps que se suministraban a la ciudad, se medía un consumo por parte de los usuarios de 1,300 lps. Buscando la explicación de esa cantidad de agua perdida, se supuso que, debido a las bajas presiones y a los suministros intermitentes en parte de la ciudad, los medidores del consumo de los usuarios estarían midiendo menos que el consumo real. Se decidió construir una nueva obra de abastecimiento para llevar a la ciudad otros 600 lps, con la esperanza de que al mejorar las presiones en la red y mantener el servicio en forma permanente, además de contar con alguna reserva para hacer frente al aumento de población, se medirían los consumos correctamente, con esto se mejoraría la facturación y los ingresos de la empresa; los análisis financieros que tanto preocupan a nuestros administradores del dinero resultaban impecables. La realidad fue otra, de los 3,200 lps que se suministraron a la ciudad, lo que recibieron los consumidores fueron 1,420 lps, es decir, de los 600 lps adicionales que se suministraron llegaron a los consumidores 120 lps, o sea el 20% del gasto adicional y se perdió en las fugas el 80% del nuevo aporte de agua con lo que el agua no contabilizada aumentó de 50% a 56%. Casi no hace falta insistir en lo que le pasa a los análisis financieros y económicos cuando el costo tiene que ser multiplicado por cinco. Lo que ocurrió fue que efectivamente se aumentaron las presiones en la red con el nuevo suministro y con ello aumentaron las fugas. La ciudad de León desde entonces reconoció el problema de las fugas y se ha dedicado a resolverlo.

Lo anterior es un buen ejemplo del tipo de errores que se pueden cometer cuando los problemas no están bien identificados y se resuelven los que no son.

Como un ejemplo de lo que típicamente ocurre al interior de las empresas que manejan los sistemas de agua se puede relatar el caso de Hermosillo, una ciudad al norte de México en una zona árida. El suministro promedio anual era, en el año 2002, de 2,800 lps para una población de 650,000 habitantes. El departamento comercial de la empresa facturaba, a distintos precios según el consumo, un volumen anual equivalente a un gasto medio de 1,900 lps. La discusión entre el grupo que opera la infraestructura de abastecimiento y distribución y el área comercial, que mide consumos, factura y cobra, consistía, como en todas las ciudades, en que los operadores de la infraestructura reclaman al área comercial que factura volúmenes menores que los consumos reales y por eso la diferencia, y que no se puede atribuir a algas ya que las más de 20,000 que aparecen al año en las calles son reparadas. El área comercial se defendía débilmente ya que de las 174,000 tomas con que cuenta el sistema tenían medidor sólo 64,000, pero intuían que los consumos no podían ser mucho mayores. A las 110,000 tomas que no contaban con medidor, para efectos de facturación, se les suponía un consumo en función del nivel socioeconómico predominante en la zona correspondiente. Cuando se les dijo que probablemente la diferencia se debía en su mayor parte a fugas, el área de operación lo rechazó rotundamente.

No reconocer, estudiar, valorar y resolver el problema de las fugas para reducirlas a niveles aceptables tiene consecuencias graves. La experiencia en otras ciudades indica que se podrían reducir en el corto plazo y con bajos costos a un 20 ó 25% del suministro. En alguna publicación [¿] se habla de fugas irreductibles de entre 35 y 153 L/toma/día, lo que con los niveles de consumo habitual en las ciudades mexicanas equivaldría a entre 5 y 15% del suministro, pero estas cifras sólo se podrán alcanzar con acciones sostenidas por un tiempo largo de 10 ó 20 años y costos mayores pues, además de detectar y reparar fugas, generalmente requerirán de la sustitución de una gran parte de la infraestructura.

Las graves consecuencias de ignorar el problema son principalmente:

- Se construyen obras de suministro muy poco eficaces, como ejemplifica el caso de León que se comentó. Ya se dijo que las evaluaciones económicas y financieras cuando el costo del agua que le llega al usuario es en realidad cinco veces mayor que el supuesto se vuelven mera ficción. Hay que añadir otros costos indirectos por los efectos ambientales y los derivados de la competencia por los recursos hidráulicos en muchas zonas. En general, los costos de disponer de más agua disminuyendo el nivel de las fugas suele ser entre 50 y 100 veces menor que el de traer agua de nuevas fuentes. Dicho de otro modo, no resulta buen negocio echar más agua a un colador para tener más agua disponible en él.
- Las medidas para que los usuarios consuman menos, tales como la instalación de medidores, el aumento de tarifas para excesos de consumo, campañas publicitarias para que la gente no desperdicie el agua, etc. no reducen el suministro a la red en forma notable por las razones que se explicarán más adelante.
- Se tienen costos considerables en la reparación de las numerosas fugas que se vuelven visibles, que con frecuencia se cuentan en varias decenas de miles al año para ciudades de entre medio y un millón de habitantes, además de la pésima imagen pública que esto produce especialmente en lugares con escasez de agua.

- Cuando el problema se agrava, se llega con frecuencia al servicio intermitente, "por tandeos", que en muchas ciudades mexicanas varía de unas horas al día a algunas horas por semana. La razón principal de esos tandeos es que la red tiene tantos agujeros que no hay agua suficiente para alimentar las fugas y, sin duda, una forma de que no haya fugas de agua es que no haya agua. Los operadores sin embargo suelen insistir en que la única forma de resolver el problema es llevando más agua a red; soy testigo de inversiones importantes de esta manera que sin embargo no resolvieron el problema más que en mínima parte. Además, llenar y vaciar intermitentemente la red de agua acelera su deterioro, hay datos que indican que este deterioro puede acelerarse más de diez veces, y se llega, antes o después, a que el agua no es suficiente ni con los tandeos. Una consecuencia adicional es que obliga a los usuarios a inversiones intra-domiciliarias en almacenamientos, bombas y compra de agua embotellada, por la mala calidad del agua que suele ir aparejada, con lo que la gente llega a pagar más por el agua que lo que le cuesta a un usuario de las ciudades del mundo donde el servicio público sea de los más caros. Con frecuencia un habitante de zonas marginadas de las ciudades mexicanas paga de esta manera más, por un metro cúbico de agua, que en muchas ciudades europeas o de Estados Unidos.

Cuando el problema ha sido aceptado y se decide resolverlo, surge la cuestión de cómo hacerlo. El razonamiento más elemental diría que hay que realizar labores de detección y reparación de fugas y de sustitución de tuberías que se sabe o se sospecha que están muy deterioradas.

Así se hizo y se está haciendo en varias ciudades de México y resulta aleccionador revisar algunos ejemplos como el del DF y el de León. Aquí quisiera insistir que se toman estas ciudades como ejemplo de lo que ha ocurrido en general, con lo que trato de que no se califiquen como casos excepcionales señalándolas con el dedo con el fariseísmo que ya se ha comentado ya que por el contrario serían ejemplo de ciudades que están en el camino de la solución del problema.

Desde 1994 se inició en el DF una labor de detección y reparación de fugas y de sustitución de tuberías de la red y en diez años se cambiaron 700 km de tuberías de los 12,000 km que tiene toda la red. Al mismo tiempo se instalaron medidores a un alto porcentaje de las tomas y se empezó a cobrar de acuerdo con los consumos. Se comprobó que a lo largo del primer año se redujo el consumo de los usuarios en un 15% gracias a los medidores y los grupos encargados de las reparaciones sostenían que habían eliminado fugas que deberían representar un par de  $m^3/seg$ . Entre ambas cosas se debía haber reducido la demanda en unos  $4 m^3/seg$ .

Sin embargo, los encargados de suministrar agua a la ciudad ponían en duda los ahorros en la medida que seguían suministrando la misma cantidad de agua que antes a pesar de que la población en el DF prácticamente ya no aumenta.

No hay duda sin embargo que las reparaciones deben haber reducido fugas más rápidamente de lo que aparecen nuevas roturas y de que la disminución de consumo ocurrió efectivamente y el hecho de que esto no se refleje en el suministro a la ciudad debería tener una explicación que por supuesto tiene. Igual que la tiene el caso relatado por el responsable de la ciudad de León, en el estado de Gto., en donde aislaban un sector de la red al que se suministraba agua por una sola entrada, se medía el gasto que demandaba la red, se hacía una campaña de detección y reparación de fugas, se volvía a medir el gasto y, ante la perplejidad de todo el mundo el gasto

era mayor; después de repetir el proceso tres veces se empezaba a notar una disminución en el gasto demandado por la red.

La explicación de lo que ocurrió en esos dos casos se encuentra en la dependencia de los gastos de las fugas y las presiones en la red.

En general los operadores, a pesar de no querer reconocer la existencia de fugas no visibles, operan la red en función de su existencia y su relación con las presiones. Efectivamente, lo que hacen es cerrar parcialmente una serie de válvulas, de hecho un gran número de ellas, a lo largo de la red para que el gasto fijo del que se dispone alcance para satisfacer los consumos de los usuarios y alimentar las fugas. Esto se logra al controlar los gastos de entrada a la red desde los tanques que la alimentan, cerrando parcialmente las válvulas a la salida de ellos y así los tanques no se vacían. Además, cerrando una válvula aquí y otra allá, logran que el agua se distribuya por toda la red. Con esto se consigue que se equilibren el gasto que entra, los consumos de los usuarios y las fugas, ya que las presiones se ajustan para que las fugas sean iguales al agua que queda disponible para ellas.

Con estas prácticas, la mayor parte de la red de la ciudad de México, por ejemplo, en una zona plana y prácticamente horizontal, funciona actualmente con presiones de alrededor de  $1 \text{ kg/cm}^2$  (10 m. de carga). A lo largo del tiempo, y según se ha ido deteriorando la red, los ajustes han ido logrando que la red funcione cada vez a presiones más bajas. Hace algunas décadas se diseñaron una serie de tanques a la misma elevación para mantener la red a presiones mucho mayores y las tuberías de la red principal se construyeron con capacidades de carga de  $10 \text{ kg/cm}^2$  (100 m. de carga). Los consumos en la ciudad de México son prácticamente independientes de la presión en la red ya que las condiciones del servicio han obligado a todos los usuarios a disponer de almacenamientos domiciliarios y, en general, de bombas aún para edificaciones de dos pisos.

Lo que ocurre cuando los usuarios usan menos agua o se tapan algunas fugas es que las presiones se redistribuyen en la red, aumentan ligeramente, y por los agujeros que subsisten, la inmensa mayoría por supuesto, aumentan las fugas con lo que se pierde el agua que hayan ahorrado los usuarios y la que dejó de salir por las fugas tapadas. La variación de fugas con las presiones puede ser tan significativa que su relación se puede representar con una función potencial del tipo:

$$Q_{\text{fugas}} = C(H^x)$$

En donde  $Q_{\text{fugas}}$  es el gasto de las fugas,  $C$  un coeficiente constante,  $H$  la carga hidráulica (presión) y  $X$  un exponente que puede variar entre 0.5 y 2.5 dependiendo de la flexibilidad de los materiales de la red.

Este problema ha provocado que en algunas ciudades se hayan iniciado programas de reparación de fugas y, después de algunos años sin obtener resultados apreciables, se abandonen con desaliento. En otras se decide continuar, aceptando que tendrán que pasar muchos años antes de lograr resultados apreciables, con el problema de que las inversiones que se hacen se perciben como gasto puro sin beneficios.

Todo esto se podría decir de otra manera, no es eficaz tratar de tener más agua disponible en un colador al que se le echa agua, tapando lentamente sus agujeros, ya que para lograrlo se tiene que llegar a tapar la gran mayoría de ellos y hacer esto en un tiempo relativamente breve en una

red de agua extensa es demasiado complicado, se podría decir que casi imposible, si no se piensa en alguna estrategia eficaz. En lo que sigue se hablará de esa posible estrategia.

Con el problema de reducir las fugas tal como se ha descrito, la solución debe buscarse con una sectorización de la red, y suministrar agua a cada sector de tal manera que las acciones que se realicen en otro no afecten la presión en él. La forma de hacerlo dependerá en cada caso de las condiciones locales, de la geometría de la red, de la topografía, de las condiciones del suelo, etc.

La demanda de agua considerada para cada sector se compone del **consumo**, que es el agua que llega a los consumidores y que incluye tanto el volumen medido como el no medido; y de las **fugas** de agua, donde se consideraron todas las pérdidas como son: fugas de la red de distribución, sub medición y tomas clandestinas.

La simulación de fugas se hizo valiéndose de una propiedad que el programa EPANET asigna a cada nodo de la red que se esté simulando, el "coeficiente de emitter". Se utiliza para simular salidas de agua de un nodo y son calculadas en función a una potencia de la presión del nodo denominada "exponente de emitter".

La fuga en cada nodo es igual a la presión elevada al exponente de emitter por el coeficiente de emitter. Se puede asignar un coeficiente diferente a cada nodo y el exponente es igual para todos. En el proyecto la potencia empleada fue de 0.5, lo que equivale a considerar las fugas como salidas de un orificio.

Para el caso de este sector se considero de la siguiente manera

$\text{Demanda} = \text{Consumo} + \text{Fugas}$

Por datos que se tienen del Sistema de aguas de la ciudad de Mexico, y como se menciono con anterioridad se considera que las fugas son el 40% del total del caudal suministrado

Por lo tanto

$\text{Demanda} = 15.22 \text{ LPS} + 40\% \text{ de fugas}$

$\text{Demanda} = 15.22 \text{ LPS} * 1.4 = \mathbf{21.3 \text{ LPS}}$

## 6.7 CÁLCULO DE POBLACIÓN

Para poder conocer el gasto de agua potable que demanda cada sector de la Región Centro se decidió junto con la supervisión del estudio calcular ésta en función de la población y del consumo que se presenta en cada sector, así como de las fugas que se determinen.

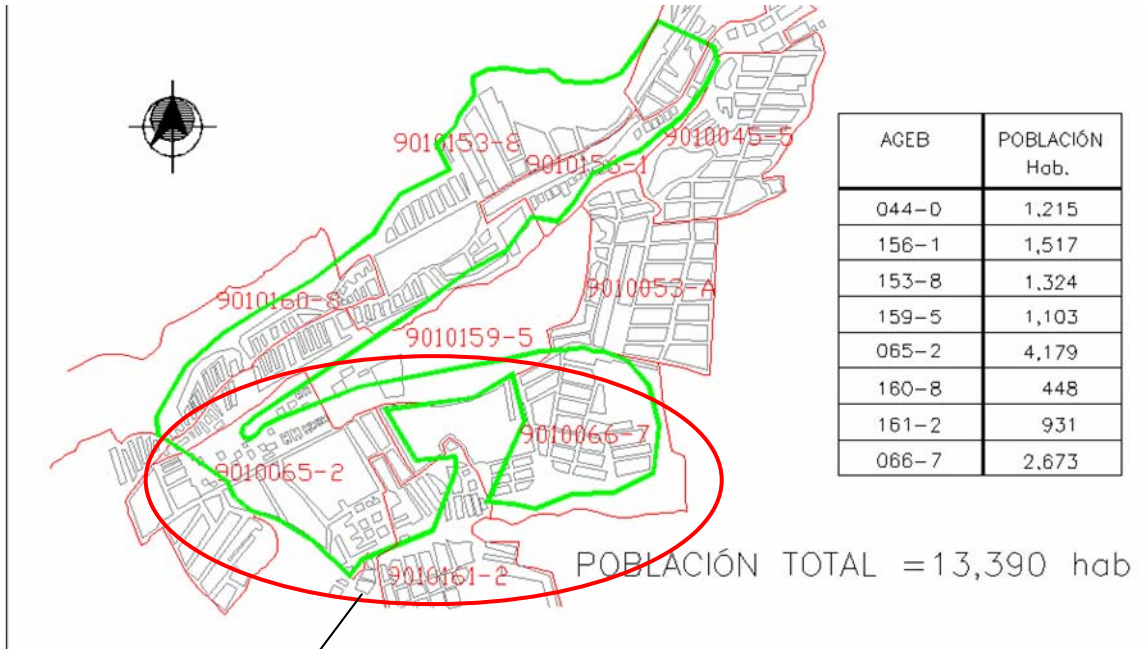
El método para determinar la población de los sectores se basó en el trazo de las denominadas “Área Geoestadística Básica” (AGEB's) que utilizó el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) para llevar a cabo el Censo de Población de 1995. Cabe aclarar que no se utilizaron los datos del Censo de 2000 debido a que hasta la fecha de ejecución de los cálculos, aún no se contaba con los datos a nivel de AGEB, sino solamente de delegación política, nivel de información inferior al deseado para el estudio.

Una vez identificada la ubicación geográfica de cada AGEB, se procedió a trazar el perímetro de cada una de ellas en los planos de infraestructura hidráulica de la Delegación Política correspondiente, en los que previamente se habían trazado los límites sectoriales. Así fue posible identificar el porcentaje de área de cada AGEB que se encontraba incluida en cada sector, y así, en base a una relación de superficies, calcular la población que cada AGEB aportaba a cada sector hidráulico propuesto.

Sin embargo, dada la complejidad de la zona de estudio, la determinación de población en cada sector se enriqueció con visitas al campo que permitieron identificar casos en los que debido a la presencia de parques, zonas industriales, instalaciones ferroviarias, etc., la población debió ser considerada en el sector donde se observó que está establecida la población.

Una vez obtenidos los resultados parciales de población por sector se verificó la congruencia con los resultados por Delegación, tanto con los propios datos del Censo de 1995, como con los correspondientes a los Censos de 1990 y 2000.





Área comprendida por el sector.

Para este sector se hace las sumas de las AGEB correspondientes a el área que corresponde para este sector.

AGEB	POBLACION (hab)
065-2	4179
161-2	931
066-7	2673
<b>TOTAL</b>	<b>7783 hab.</b>

## 6.8 CÁLCULO DE CONSUMOS

### Desarrollo del proceso.

Con el fin de contar con información fidedigna y confiable sobre los consumos que se presentan en los diferentes sectores del estudio, se proporcionó a la Comisión de Aguas del Distrito Federal (CADF) los datos correspondientes a las coordenadas perimetrales de los límites de cada sector. Con esta información la CADF sumó los consumos registrados a lo largo de un año por los medidores de las tomas de agua comprendidas dentro de cada sector.

Para este sector en estudio se considero una dotación:

**Dotación = 169 L/hab/Día**

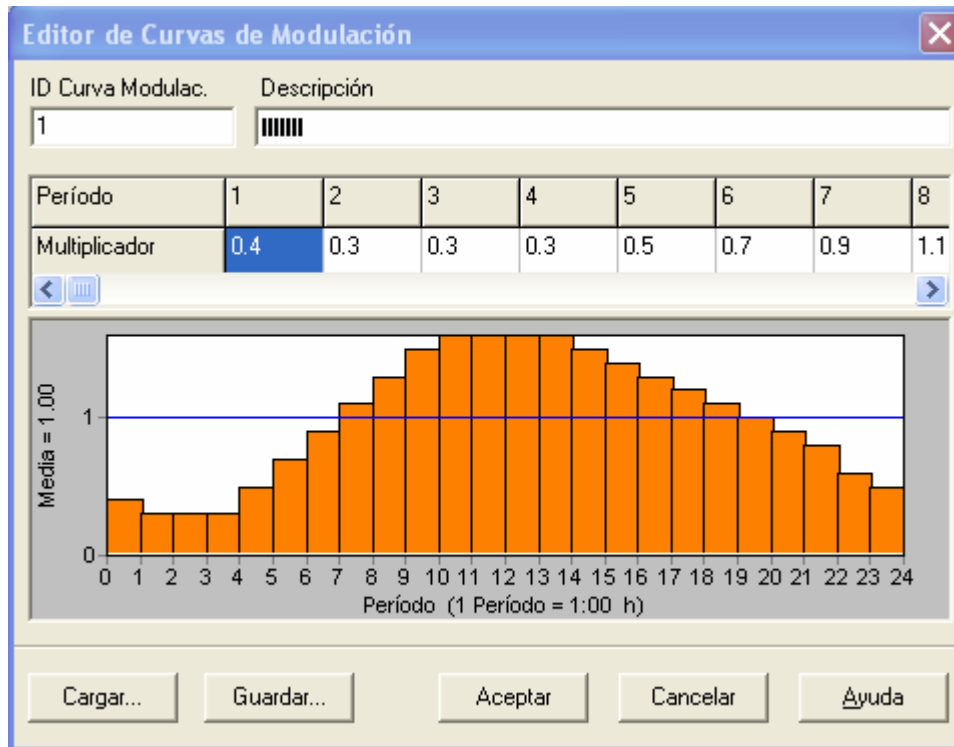
Es importante indicar que solo se considero el uso domestico en esta zona, debido a que en recorrido realizados por la zona se constato que no existe presencia de industrias por lo cual para no sobreestimar la dotación al sumarle el consumo no domestico, solo se considero el domestico.

### CURVA DE MODULACION.

A esta curva de modulación se le llama análisis en periodo extendido, y es los más cercano a la realidad ya que la demanda en el sector no es la misma en el transcurso del día, y que los usuarios requieren de mayor cantidad de agua en el día y el la noche el consumo disminuye considerablemente

Para los sectores se consideró que el consumo variaba a lo largo del día de acuerdo al patrón mostrado en la siguiente figura.

Figura 0.1 PATRÓN DE CONSUMO DURANTE EL DÍA



En esta figura se observa fácilmente como el multiplicador es mayor en las horas de máxima demanda y menor en la mínima demanda, que es como se dijo con anterioridad que es en las primeras horas del día.

## 6.9 CÁLCULO TOTAL DE VALORES OBTENIDOS PARA LA SIMULACION

### Población de sector AO10-Sta Lucia 5 según AGEBS

Pob = 7783 Hab.

### Dotación el sector considerando solo uso domestico.

Dot= 169 L/hab/Día

### Calculo de gasto medido en litros por segundo

$Q_m = 7783(169)/86400 = 15.22 \text{ LPS}$

### Calculo de la Demanda.

Demanda= Consumo + fugas

Considerando un 40% del caudal en fugas:

Demanda=  $15.22(1.4) = 21.3 \text{ LPS}$

### Obtención de la demanda base.

Gasto medio entre el número de nodos del sector a simular

Demanda base=  $15.22 \text{ LPS}/68 \text{ nodos del sector Sta Lucia 5}$

Demanda base en cada nodo=  $0.22 \text{ LPS}$

Para obtener la demanda total del sector fue necesario aplicar la formula antes mencionada en los coeficientes de Emmiter.

$Q = CH^{0.5}$  simulando salidas de un orificio

El valor de C el coeficiente del materia para llegar al valor esperado de 21.3 LPS que es el de la demanda.

Para esto se tuvo que realizar iteraciones con el este valor hasta alcanzar la demanda deseada y el valor del coeficiente quedo en **C=0.0185**

# CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE RESULTADOS

## ANALISIS DE RESULTADOS

Con la calibración del modelo y tomando en cuenta todos los aspectos a considerarse en la recopilación de la información los resultados son los siguientes:

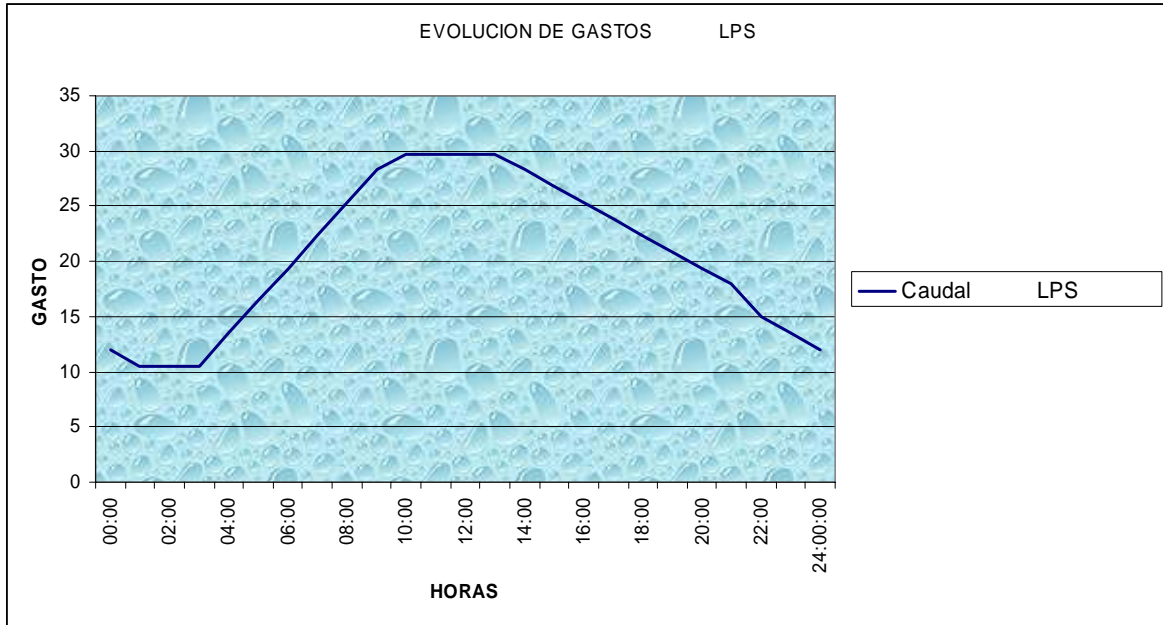
### Gasto en línea principal con $C=0.0185$

Instante en horas	Caudal LPS	
00:00	11.97	21.36041667 LPS
01:00	10.48	
02:00	10.48	
03:00	10.48	
04:00	13.46	
05:00	16.43	
06:00	19.39	
07:00	22.35	
08:00	25.31	
09:00	28.26	
10:00	29.74	
11:00	29.74	
12:00	29.74	
13:00	29.74	
14:00	28.26	
15:00	26.79	
16:00	25.31	
17:00	23.83	
18:00	22.35	
19:00	20.87	
20:00	19.39	
21:00	17.91	
22:00	14.94	
23:00	13.46	
24:00:00	11.97	
	512.65	

Como se observa en la siguiente tabla el gasto afectado por el coeficiente de emmiter nos tiene que dar el mismo resultado que la demanda que nosotros proyectamos para este sector que es de **21.3 LPS**

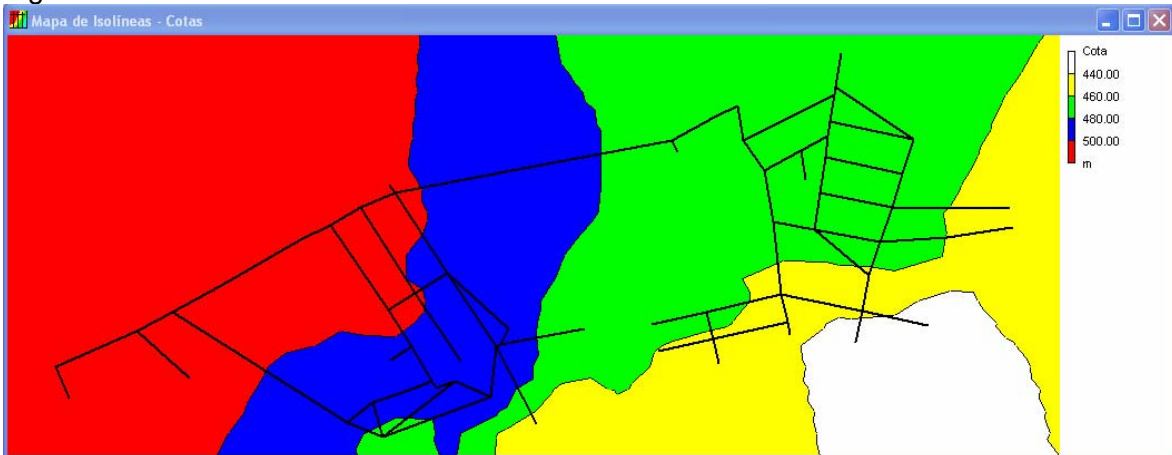
En la siguiente tabla se muestra gráficamente la demanda para este sector a lo largo del día, es evidente que el consumo no es el mismo para diferentes instantes del día.

Figura 1.1



En este mapa de isolíneas se puede observar claramente el desnivel que existe en la zona, ya que la zona roja es la zona más alta y conforme cambia de color la cota es menor.

Figura 1.2



## ANÁLISIS 1

### Estos datos son considerando las válvulas completamente abiertas

Ya con los todos los datos calibrados, se muestra un mapa de Isolíneas de las presiones existentes en la red con las válvulas completamente abiertas. Y a la hora de mínimo consumo que es las 2:00 Hrs, cuando prácticamente no hay usuarios en la red.

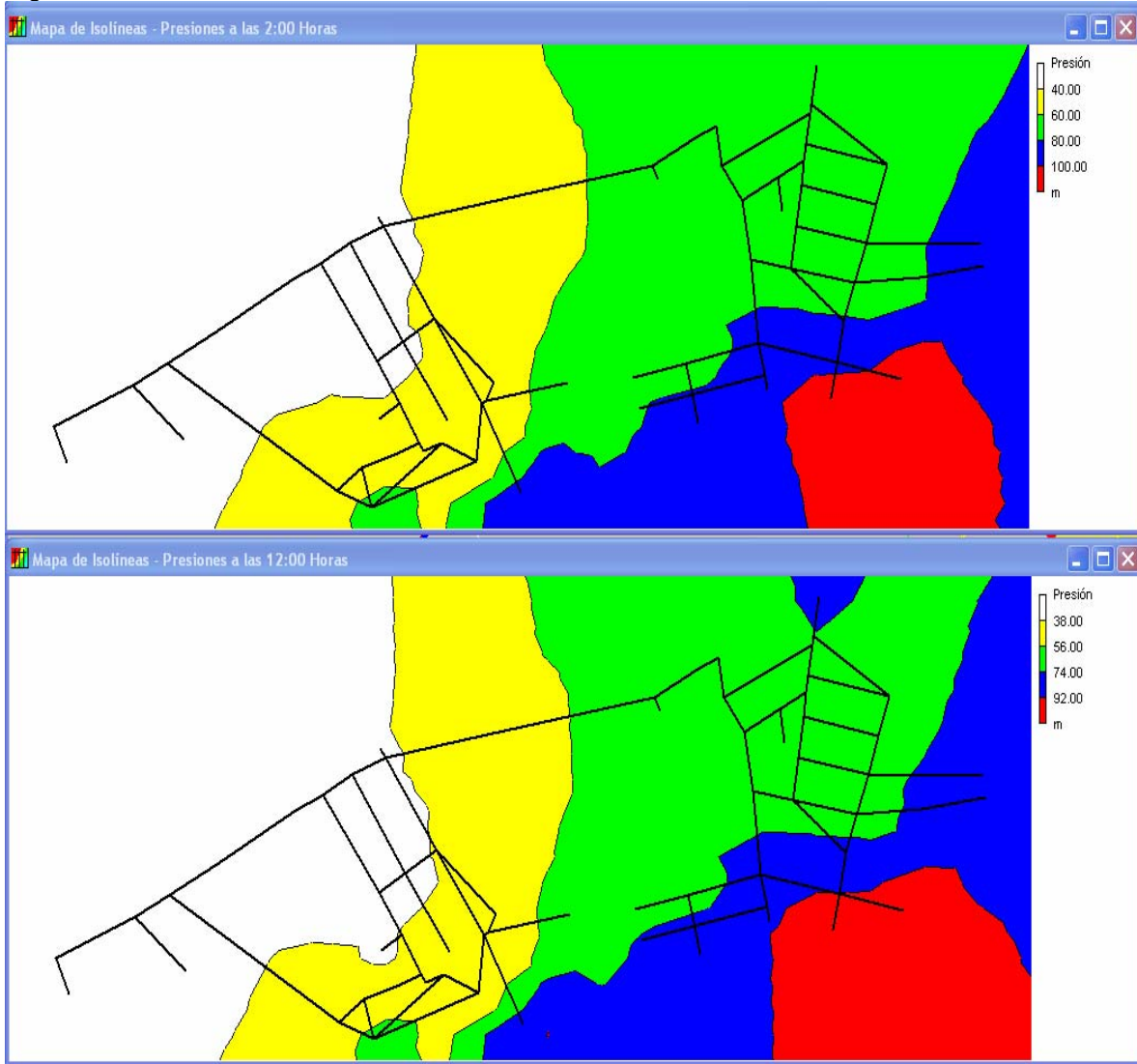
Figura 1.3





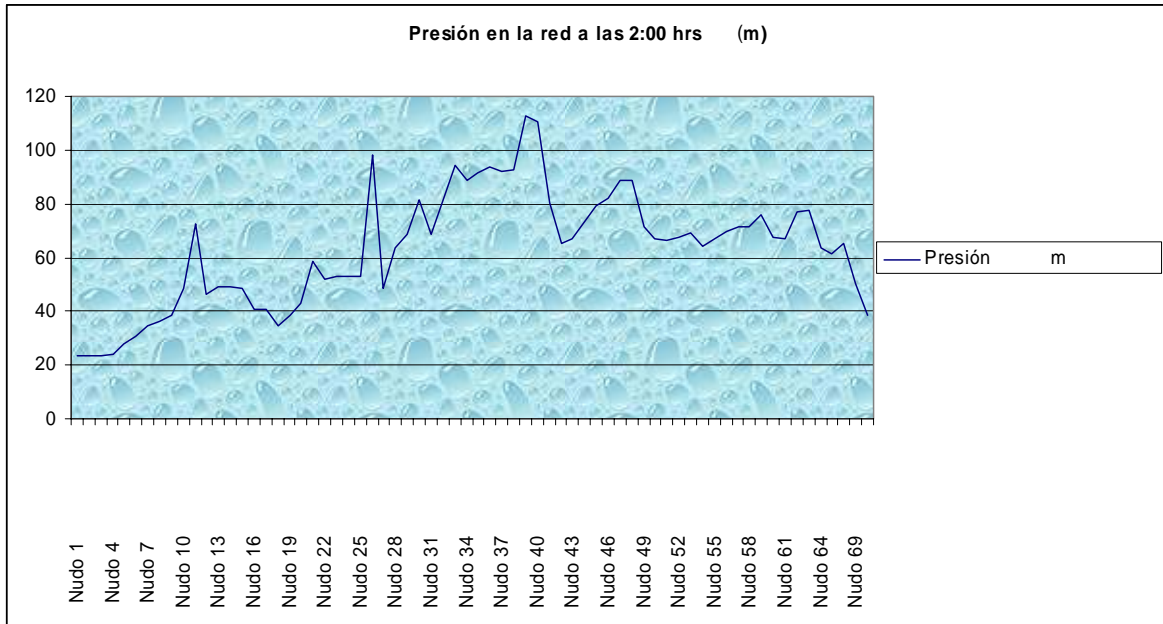
En la siguiente figura se muestra el mapa de Isolineas para los dos instantes de mayor y menor consumo de agua con válvulas abiertas, nótese que si existe una presión mayor a las 2:00 hrs que las 12:00 que es cuando mayor demanda agua existe

Figura 1.4



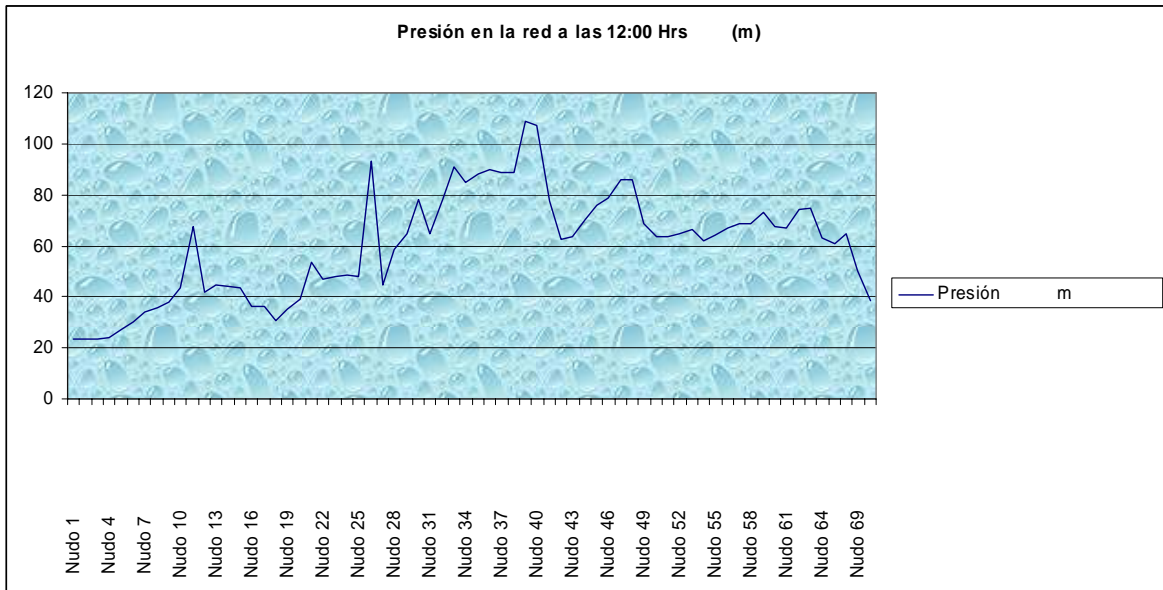
Lo anterior se puede observar más claramente en la siguiente tabla de presión en toda la red a las 2:00 hrs

Figura 1.5



Y comparado con la presión en la red a las 12:00 Hrs

Figura 1.6

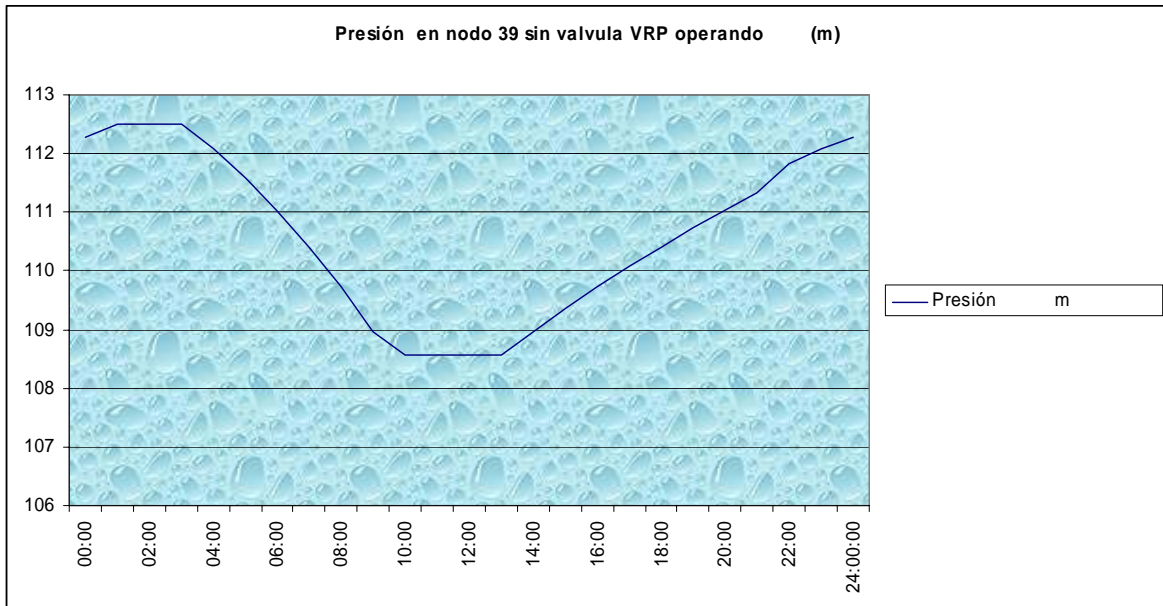


Aquí se muestra las presiones alcanzadas en los nodos de la parte más baja del sector donde lógicamente existen las presiones más altas por la carga de altura que existe.

Posteriormente se analizará este mismo nodo pero con la válvulas ya puesta en operación

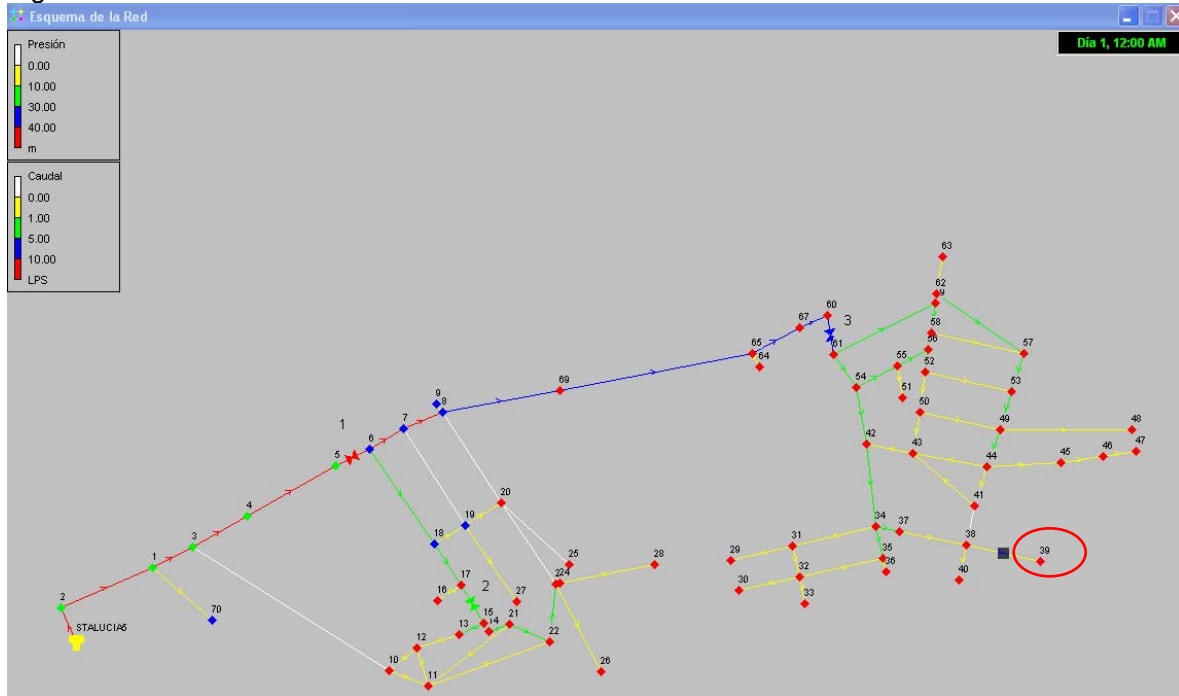
Nótese en esta tabla que las presiones son muy excesivas para un correcto funcionamiento Y que esto debilita las tuberías, de por si y afectadas por el uso y por su antigüedad.

Figura 1.7



## Localización del nodo 39 en el sector

Figura 1.8

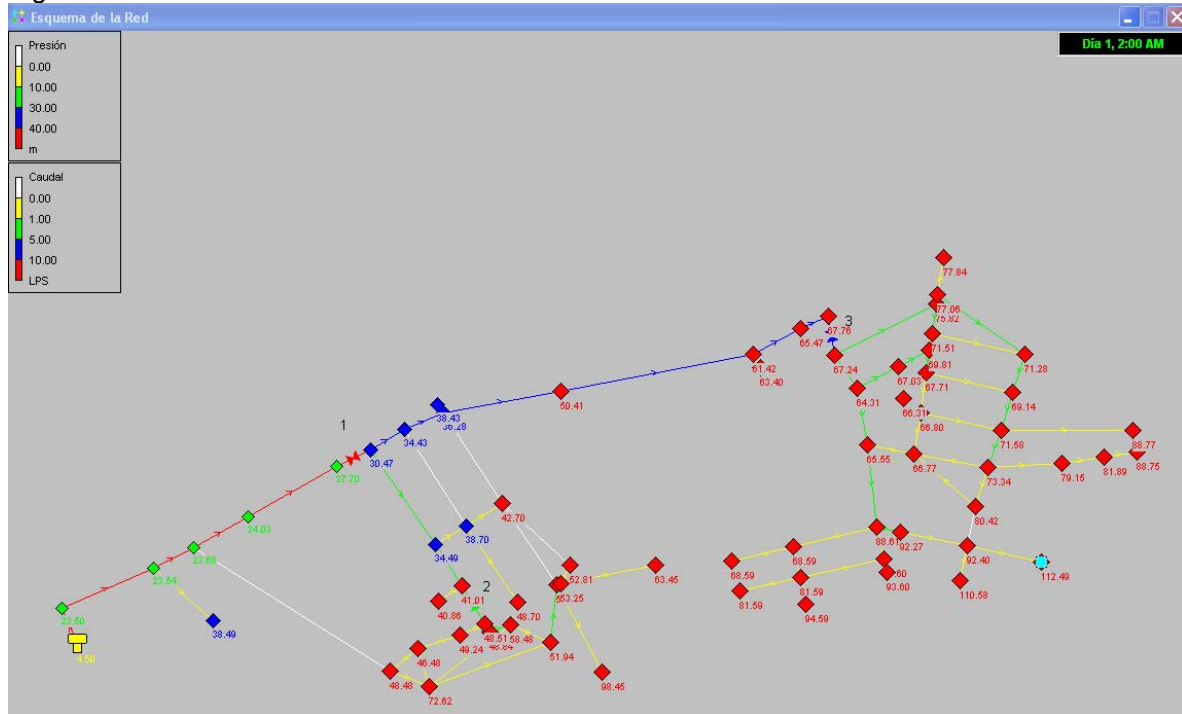


Como puede observarse con anterioridad las presiones alcanzadas en la parte mas baja del sector son mayores a los 10 Kg. con desniveles mayores de 100 m que aunado al desgaste de las tuberías ocasiona irremediamente fugas en las partes de mayor presión.

Si a esto se considera que reparando dicha fuga se soluciona el problema, lo único que se provoca al tapan el gasto es incrementar la presión en la red y provocar la fuga en otra parte de la red donde esté la tubería debilitada y así consecutivamente.

Es por eso que los programas de reparación de fugas y de sustitución de red no son tan exitosos y no se observan resultados en corto tiempo.

Figura 1.9



En esta imagen se muestran los nodos en color rojo los cuales representan presiones de 4 Kg hasta los 12 Kg. Como se puede ver, representan casi la mayoría del sector, que por su presión que no es controlada son posibles focos de fuga, y si se tratara de eliminar por medio de reparaciones individuales seria casi imposible.

Todo el análisis anterior comprende los resultados con la válvulas completamente abiertas, lo que significaría que no existen, que es como opera la red actualmente sin el control de presiones que como se observo hay presiones excesivas que por consecuencia generan fugas y el desperdicio que se pudiera utilizar en otra zona de la ciudad, como lo es el oriente que sufre de escasez de agua.

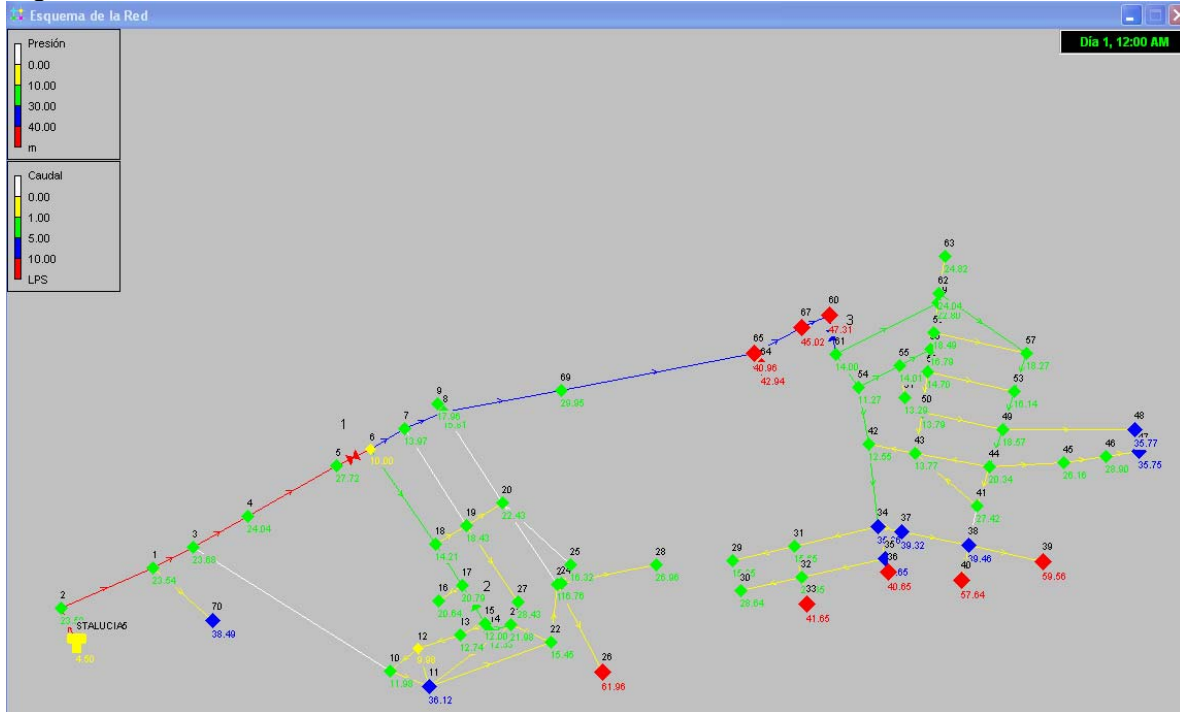
Este ejemplo del sector y sus presiones excesivas es el común denominador de toda la zona poniente, como ya se explico con anterioridad por se la primera entrada de agua en bloque y por ser una zona de barrancas.

A continuación se muestra las presiones en la red con las válvulas ya puestas en operación y la comparativa de las presiones controladas.

## ANALISIS 2

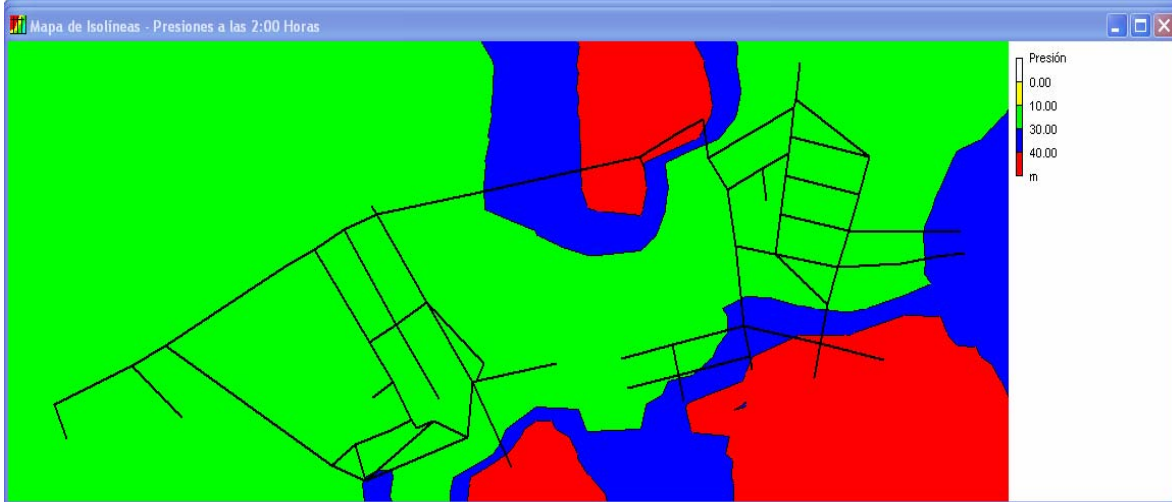
Estos datos son considerando las válvulas operando

Figura 2.0



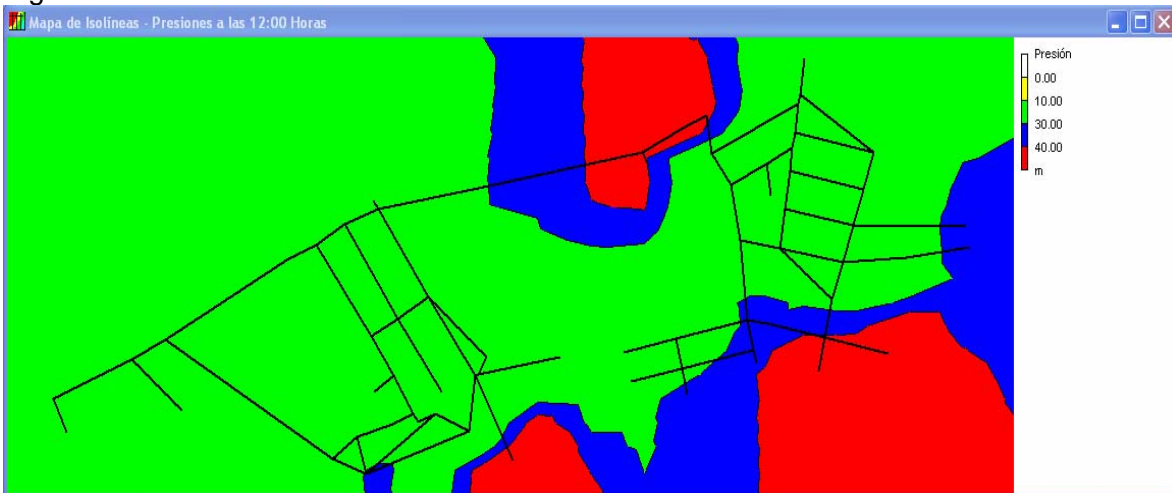
Ya que se calibraron las válvulas y se pusieron en operación, se pueden observar los resultados siguiente, en comparación con la figura 1.9 ya decreció la presión en la mayor parte del sector, con valores de presión que en pocos puntos excede de 4 kg de presión que a su vez contribuye para un mejor manejo del agua y por consecuencia un ahorro en el consumo y transporte de la misma.

Figura 2.1



En este mapa de Isolíneas se puede observar claramente, ya con las válvulas operando, como se homogeniza las presiones en el sector y que solo en pequeños tramos del mismo se observan presiones superiores a 4 Kg. que para fines prácticos es bastante bueno, en este instante que es a las 2:00 hrs es la situación mas desfavorable, que como ya se dijo con anterioridad es cuando el consumo de agua es mínimo y las presiones máximas.

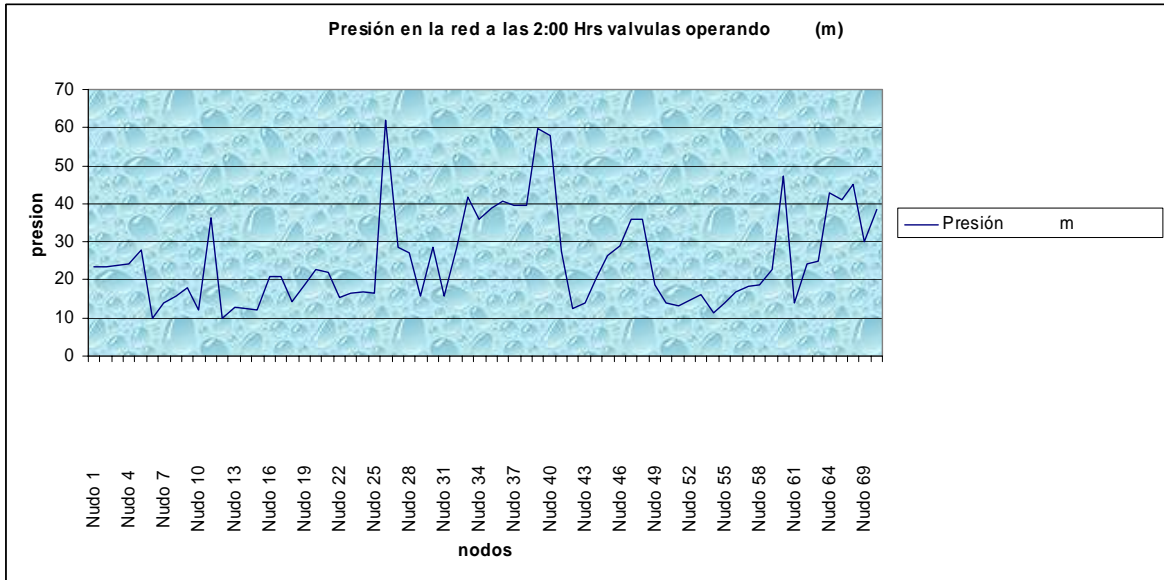
Figura 2.2



En este mapa de Isolíneas se observa claramente que las presiones se mantienen constantes a lo largo del día ya que a las 12:00 Hrs es la de máxima demanda y aun con eso se mantiene un buen nivel de presión para abastecer de agua a todo el sector con la presión requerida.

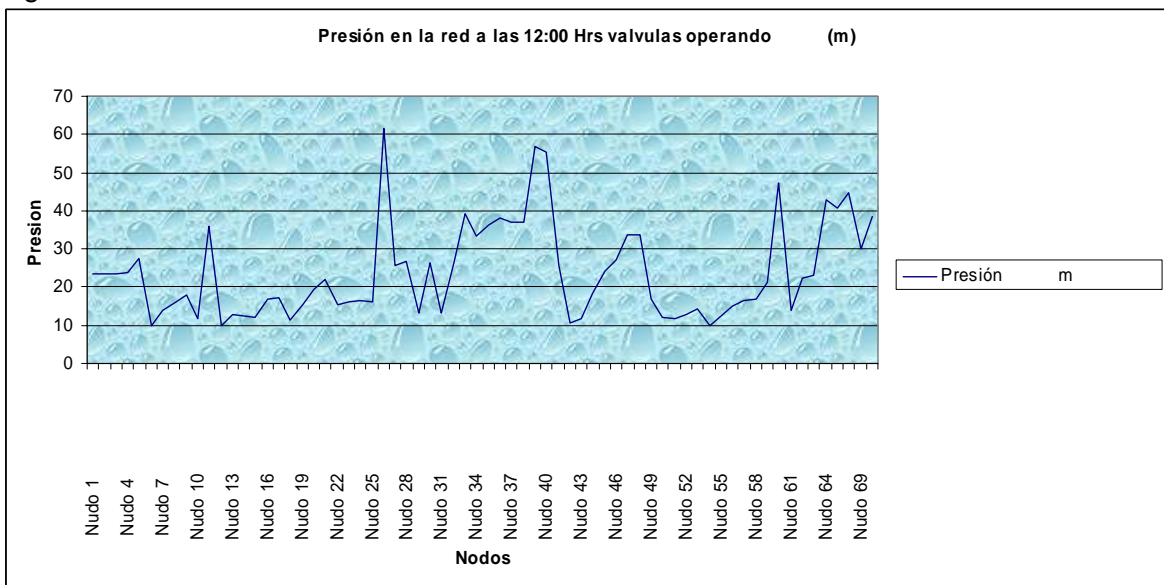
Para observar con mayor exactitud y en comparativa con las tablas de presión con las válvulas sin operar a continuación se muestran los resultados de presión en toda la red en las condiciones de mínima y máxima demanda con las válvulas puestas en operación.

Figura 2.3



En este gráfico se puede observar claramente que la presión no excede de los 6 kg y que en la mayoría no pasa de lo 4 Kg. de presión, que en comparación con la figura 1.1 que claramente sobrepasa en la mayoría del los nodos los 6 Kg. de presión, hasta llegar a los 12 Kg.

Figura 2.4

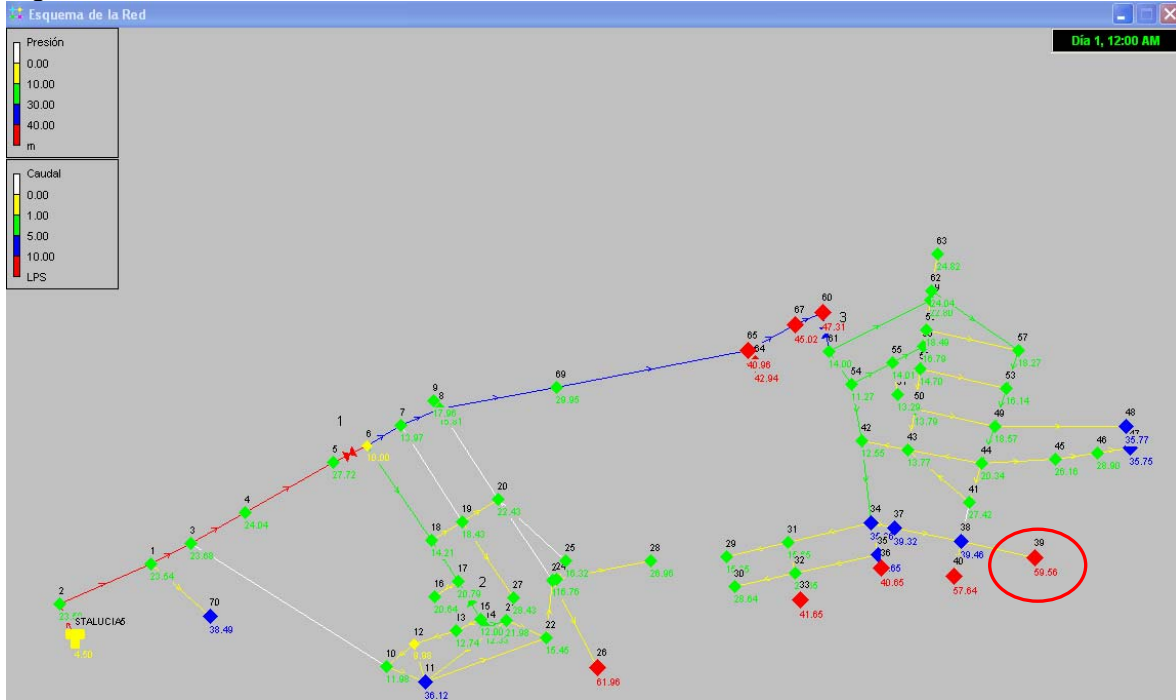


En este gráfico se observa claramente que la presión en la red se mantiene constante en las horas de mínima y máxima demanda.



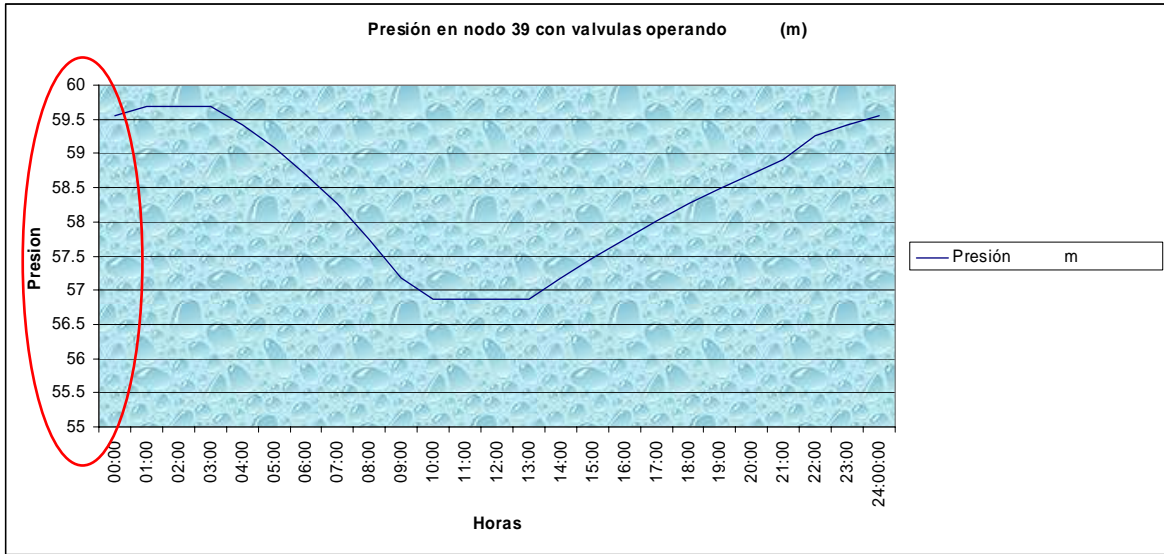
Volviendo al análisis específico del nodo 39, como habíamos observado anteriormente, era de los nodos con mayor presión en el sector y aquí se observaron los siguientes resultados con las válvulas ya puestas en operación:

Figura 2.5



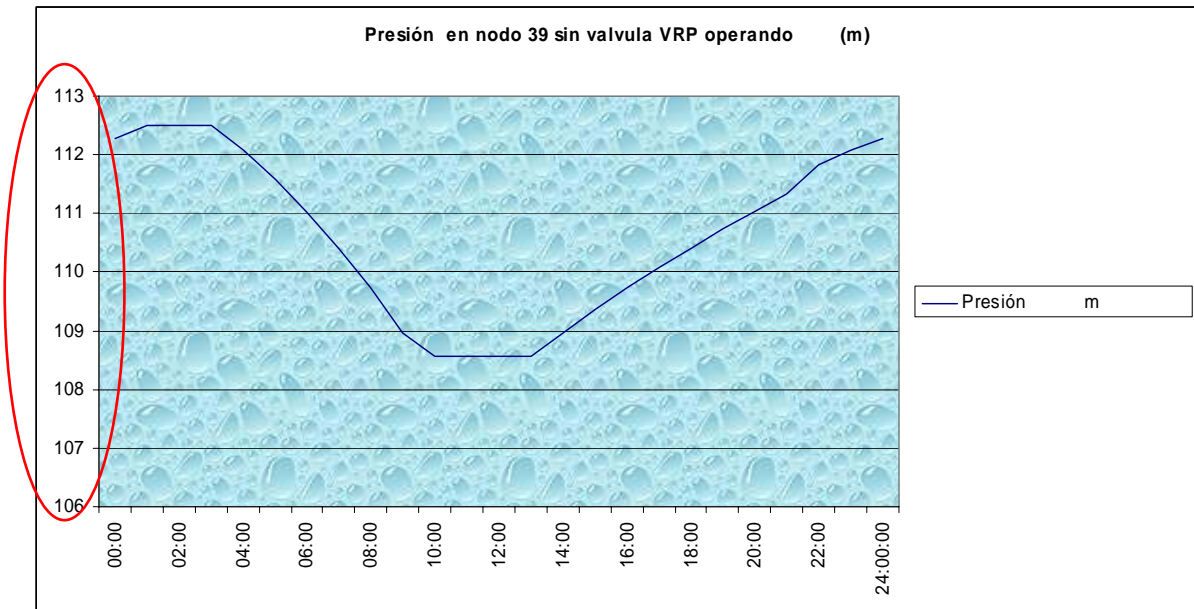
Ubicación del nodo 39 ya con las válvulas ajustadas y con las presiones controladas.

Figura 2.6



En comparación con la figura 1.7 en donde se muestran las presiones generadas en este nodo sin que las válvula estén puestas en operación, se ve claramente que las presiones llegan al doble sin el control de presiones.

Figura 1.7



Se ve claramente que el rango de una tabla y de otra está al doble de la presión máxima registrada.

Por último podemos ilustrar la demanda sin el control de presiones y con el control de presiones.

Figura 2.7

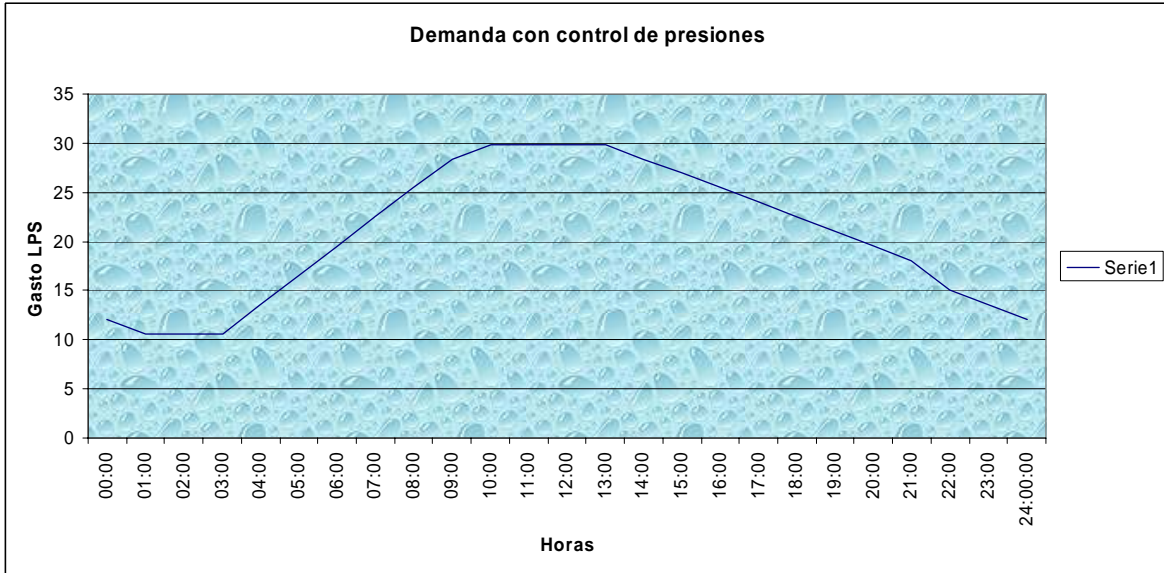
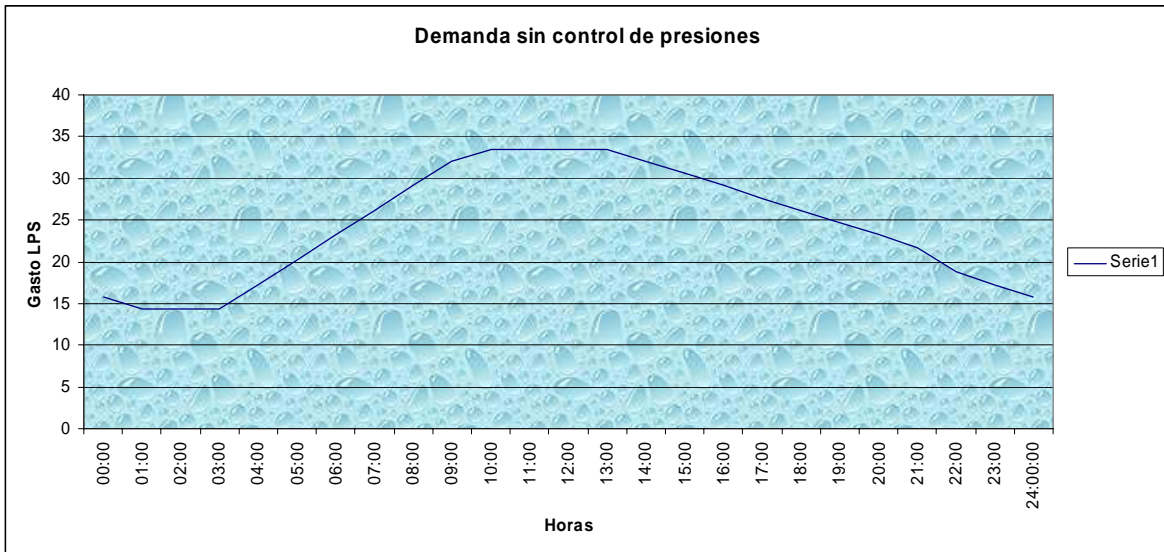


Figura 2.8



En la figura 2.7 se observa la demanda para este sector el AO10-Sta lucia 5 con el control de presiones

Y en la figura 2.8 se observa la demanda sin el control de presiones, lo que significa que al realizar el balance de caudales se obtiene un ahorro de casi 4 LPS solamente en este sector.

Considerando a esto que el sector es de una dimensión pequeña, los ahorros en otros sectores de mayor tamaño y en conjunto toda la red en el Distrito Federal serian mucho mayores y estos ahorros permitirían un mejor abasto y un distribución equitativa en todas las zonas de la ciudad.

De este análisis se puede concluir que es realmente necesario el control de presiones en la red, ya que con estos valores se puede monitorear los gastos y las presiones en un área determinada y tomar medidas necesarias para el buen funcionamiento del sistema.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En resumen, los **beneficios** de proyectar y ejecutar la sectorización de la red hidráulica son los siguientes:

- Flexibilidad.
  - Es posible incrementar la presión de trabajo de la red primaria sin afectar la presión con que opera la red secundaria, esto permite mover mayores cantidades de agua en la red primaria sin incrementar la cantidad de agua que se pierde por fugas en la red secundaria.

### Ahorro de agua.

- Es posible medir la cantidad de agua que se pierde por fugas en cada sector.
- Es posible controlar la presión en la red de distribución secundaria y con esto disminuir la pérdida de agua por fugas pequeñas.

### Planeación.

- Es posible priorizar las reparaciones de fugas dándole más importancia a las que se realizan en sectores con mayores fugas.
- Con el uso adecuado de los modelos de simulación es posible proyectar la infraestructura requerida para satisfacer las nuevas demandas del crecimiento de la red.
- Con los modelos mencionados es posible proyectar infraestructuras para prevención de catástrofes. Se puede prevenir para falta de agua y para controlar la calidad del agua.

Utilizando la experiencia obtenida en la ejecución de este proyecto se propone realizar los trabajos de sectorización en dos pasos, el primer paso es el ya ejecutado en este diagnóstico:

**Primer paso.** Elaborar un diagnóstico o anteproyecto para sectorización utilizando modelos computacionales. Este anteproyecto no es un proyecto ejecutivo, define las calles que cada sector contendrá, los puntos de entrada de cada sector con sus respectivas válvulas reguladoras de presión (VRP) y las válvulas de seccionamiento. Sin embargo, debido a la falta de precisión en los planos de que se utilizaron para elaborar el proyecto, a la falta de información confiable sobre consumos y fugas, al desconocimiento sobre el estado real de las tuberías (incrustación, obstrucciones, etc.) y a otros imprevistos que se presentan en un sistema tan complejo como lo es la red de agua de una ciudad, es sumamente costoso realizar un proyecto ejecutivo completo. La ejecución de las obras propuestas en el anteproyecto requiere de una supervisión técnica especializada.

**Segundo paso.** Ejecución del anteproyecto bajo supervisión técnica especializada. Esta supervisión tendrá la capacidad de desarrollar ingeniería de campo que permita diseñar modificaciones menores al anteproyecto para asegurar que el funcionamiento de los sectores sea adecuado. El aislamiento del sector requiere de ayuda especializada para detectar posibles conexiones a la red secundaria exterior, la supervisión técnica también se asegurará que las consideraciones realizadas en el modelo de simulación del sector sean las que corresponden a la realidad y cuando no sea así se modificará el modelo. Cuando el sector esté completamente sectorizado y los sitios de control estén instalados será posible medir los caudales en las entradas, con esta información se revisarán de nuevo los consumos y las fugas consideradas en la simulación del sector, si estos fueran diferentes se seleccionarán de nuevo las válvulas reguladoras requeridas y posiblemente sea necesario cambiar VRP instaladas. Este cambio no representaría mucho costo pues se instalarían en cajas ya existentes y las válvulas que se remuevan se utilizarían en otros sectores.

- Los objetivos finales de la sectorización de la red secundaria son:
  1. Medir la cantidad de agua que se fuga de la red.
  2. Disminuir las fugas.
  3. Mejorar el transporte del agua en la red primaria.
  4. Disponer de modelos que simulen el comportamiento de la red hidráulica.

- Los dos principales objetivos que se persiguen con la elaboración de este análisis son:
  1. Elaborar los planos que permitan iniciar las obras requeridas para sectorizar la red secundaria de agua potable. Como ya se mencionó, estos planos no son definitivos, pero permitirán realizar los principales trabajos sin que sean necesarias modificaciones significativas para adecuar los sectores.
  2. Elaborar modelos computacionales que permitan simular el funcionamiento de la red sectorizada. Estos modelos son necesarios para llevar a cabo el proyecto de sectorización, pero en un futuro le servirán a los organismos operadores como apoyo para planeación de su crecimiento y de acciones preventivas.
- La propuesta original de sectorización consistía en sectorizar toda la red secundaria, mientras se ejecutaban las obras requeridas para tal propósito los sectores que se fueran aislando se alimentarían mediante el “by-pass” de los sitios de control. Cuando la totalidad de los sectores estuvieran terminados se incrementaría la presión en la red primaria y sólo entonces los sectores se alimentarían a través de las válvulas reguladoras de presión. Se ha concluido que esta propuesta tomaría mucho tiempo en ejecutarse y se ha optado por la alternativa de ingresar el agua de los sectores que se vayan implementando por las válvulas reguladoras de presión sin incrementar la presión de la red primaria. Esto ocasiona que en los puntos de control se disponga de diferenciales de presión muy reducidos.
- Las condiciones de operación en la zona centro son muy diferentes a las encontradas en la zona poniente, donde existen desniveles topográficos importantes y diferenciales de presión altos en las válvulas reguladoras de presión. Esto ha obligado a diseñar los puntos de control por donde el agua ingresa a los sectores de la zona centro con más precisión y empleando una tecnología diferente.



- Efectivamente es posible obtener un ahorro con la reducción de fugas, pero lo realmente importante es que éstas se pueden cuantificar de manera confiable utilizando modelos matemáticos realmente calibrados.
- Es de suma importancia controlar las presiones antes de reparar fugas para no continuar con el círculo vicioso de reparación de fugas-más presión-más fugas.
- Es notoria la ventajosa relación beneficio-costos que representa la instalación de cada una de las válvulas reguladoras contra el ahorro obtenido con la disminución de fugas.

Las recomendaciones son las siguientes:

- Es necesario que además de las válvulas reductoras de presión también se instalen las válvulas de seccionamiento indicadas y se abran las válvulas actualmente cerradas o calibradas, para que se creen las zonas de control de presión y se den los resultados esperados.
- Es importante que una vez puestas en operación las válvulas reguladoras de presión, se siga con la campaña de mediciones para que además se tenga un control de los gastos que se ingresan a cada zona.

# BIBLIOGRAFÍA

**BIBLIOGRAFIA:**

1.- Frederick S. Merritt, 1997, Manual Integral para el Diseño y la Construcción, Mc Graw Hill.

2.- M. Kent Loftin, 1999, Manual del Ingeniero Civil, Mc Graw Hill.

3.- Extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), 1997, Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010.

4.- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Proyección de la Población Nacional 1990-2010,

5.- Estudio Para la Sectorización de la red de Agua Potable en la Zona Poniente de la Ciudad de México. Facultad de Ingeniería UNAM.

6.- Extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), 1994, Planes Hidráulicos Delegacionales.

7.- Humberto Gardea Villegas, 1997, Hidráulica de Canales, Facultad de Ingeniería UNAM.

8.- Catalogo Técnico de Válvulas Watts

9.- Extinta Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), 2000, Estudio para el Control de Presiones en la Zona Poniente del Valle de México.