

**CONTROL DE PRESIONES Y REDUCCION DE
FUGAS EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL
PONIENTE DE LA CIUDAD DE MEXICO**

Pags. 1-51

**CONTROL DE PRESIONES Y REDUCCIÓN DE
FUGAS EN EL SECTOR STA. LUCIA 1**

Pags. 52- 89

**ANTONIO CAPELLA VIZCAÍNO
ENERO 2001**

CONTROL DE PRESIONES Y REDUCCION DE FUGAS EN LA RED DE AGUA POTABLE DEL PONIENTE DE LA CIUDAD DE MEXICO

	Pag.
1.-INTRODUCCIÓN.....	3
2.-NECESIDAD DEL CONTROL DE PRESIONES EN LA ZONA.....	7
3.- METODOLOGIA DE ANÁLISIS.....	10
4.1.- Hipótesis empleadas.....	13
Variación horaria del consumo	
Consumos	
Fugas en la red	
Coeficiente de rugosidad	
4.2.- Simulación de las redes.....	14
4.-SECTORES ESTUDIADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	18
5.- ANEXOS: Mediciones y comparación con la simulación.....	19
I.- Sector Camino al Desierto.....	27
II.- Sector Sta. Lucía 1.....	43
III.- Sector Lomas de Chapultepec.....	

1.- INTRODUCCION

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 150m. 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 y el estudio de ellas se encargó a sendos grupos de trabajo que utilizaron una metodología de análisis y criterios comunes. 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.

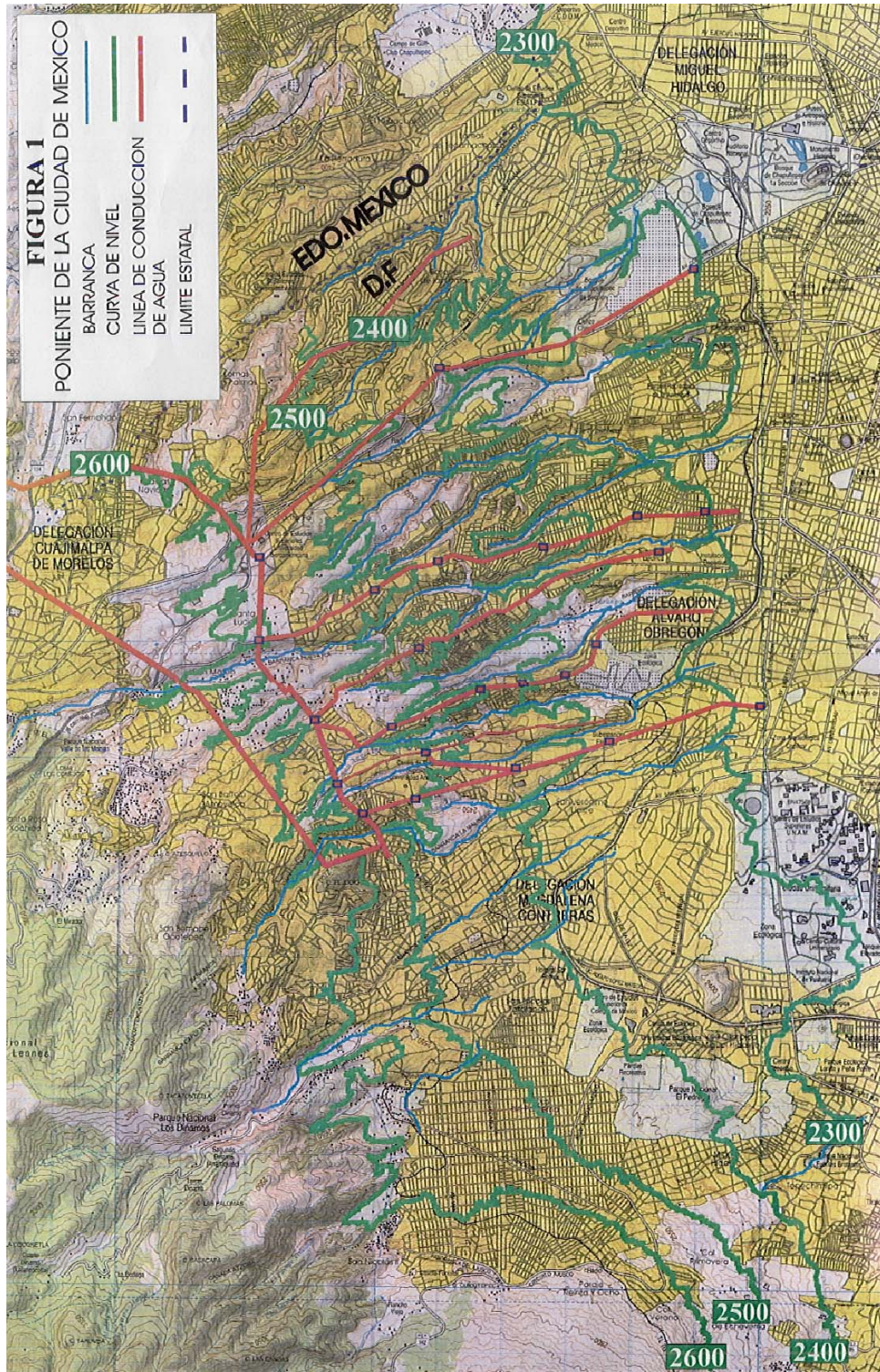
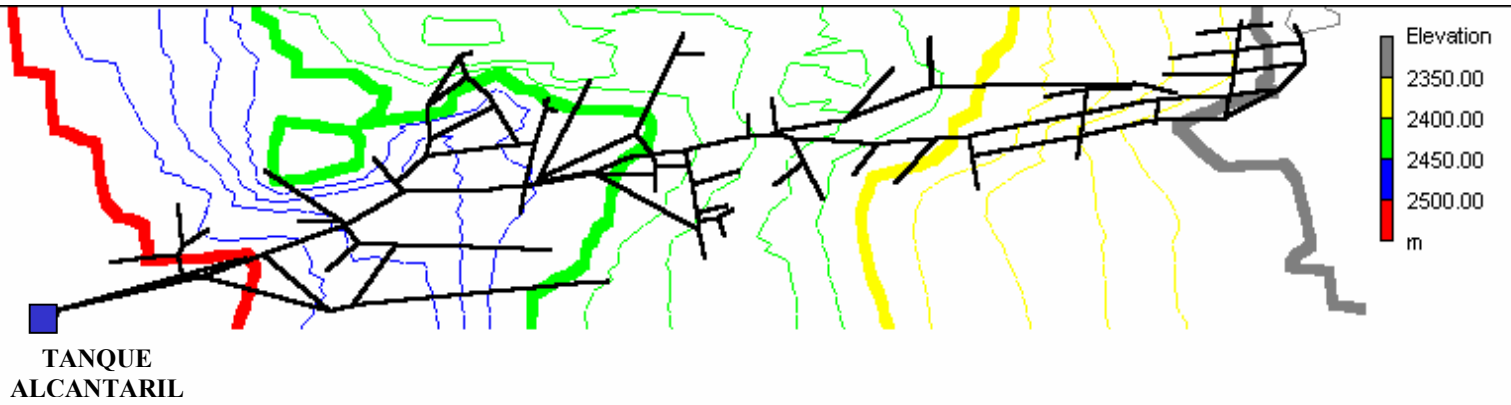
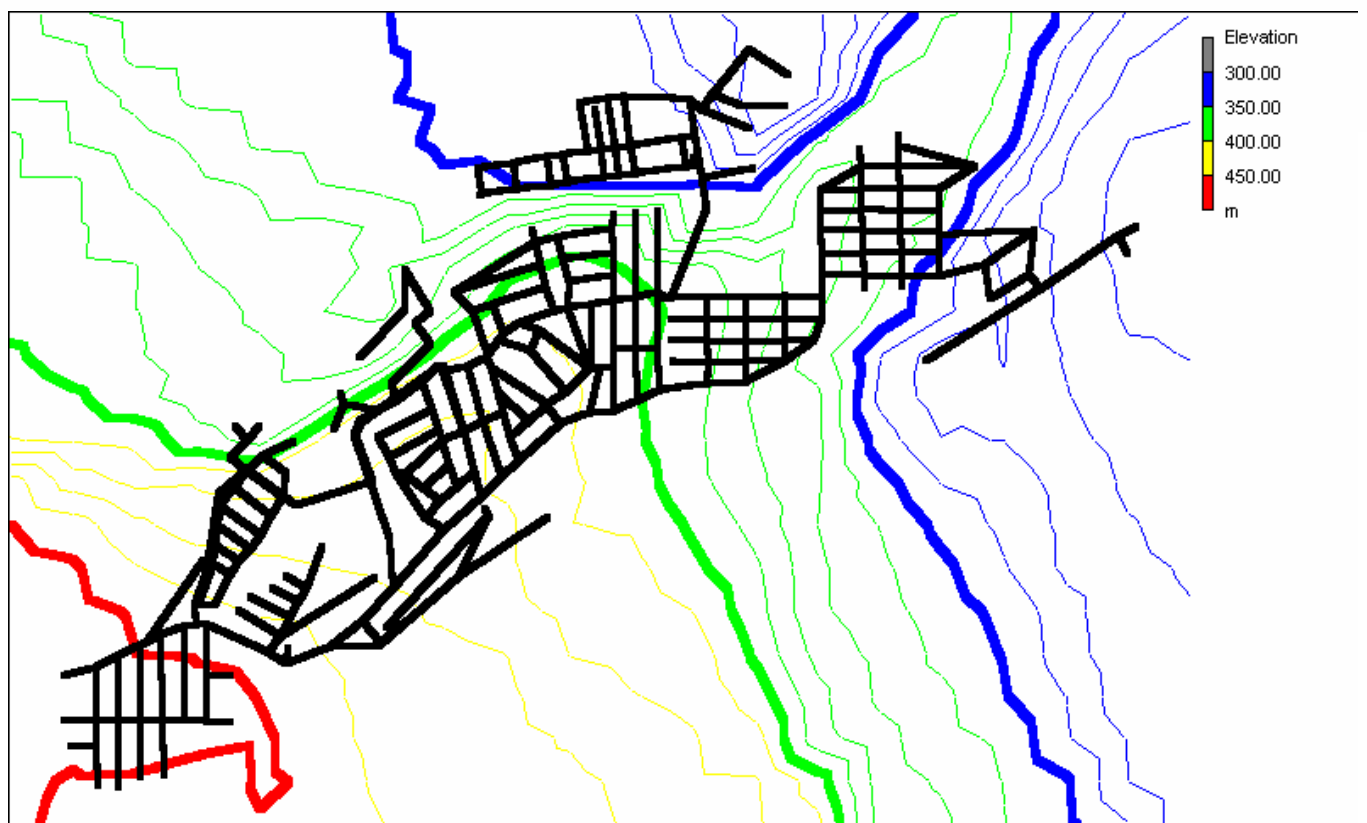


FIGURA 2



RED DEL SECTOR CAMINO AL DESIERTO
CURVAS DE NIVEL CADA 10 m

FIGURA 3
RED DEL SECTOR STA. LUCIA 1
CURVAS DE NIVEL CADA 10 m



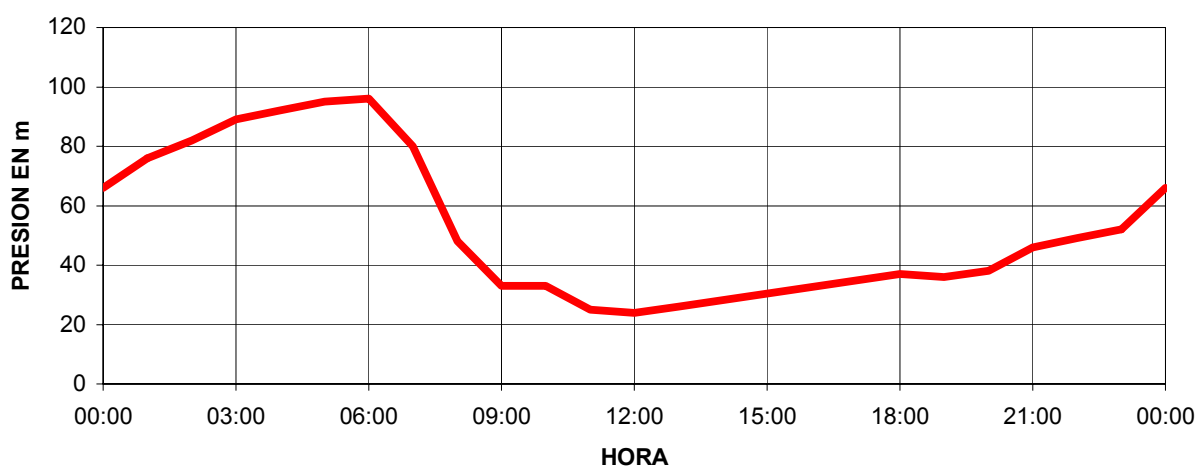
2.- NECESIDAD DEL CONTROL DE PRESIONES EN LA ZONA

Estudios previos realizados por la DGCOH llegan a estimaciones de fugas para toda la ciudad del orden del 37 % del suministro, aproximadamente 13 m³/seg. Las presiones altas en la zona del poniente contribuyen seguramente en forma importante a este elevado índice de fugas.

Como se dijo antes, 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 mas 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/cm² (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.

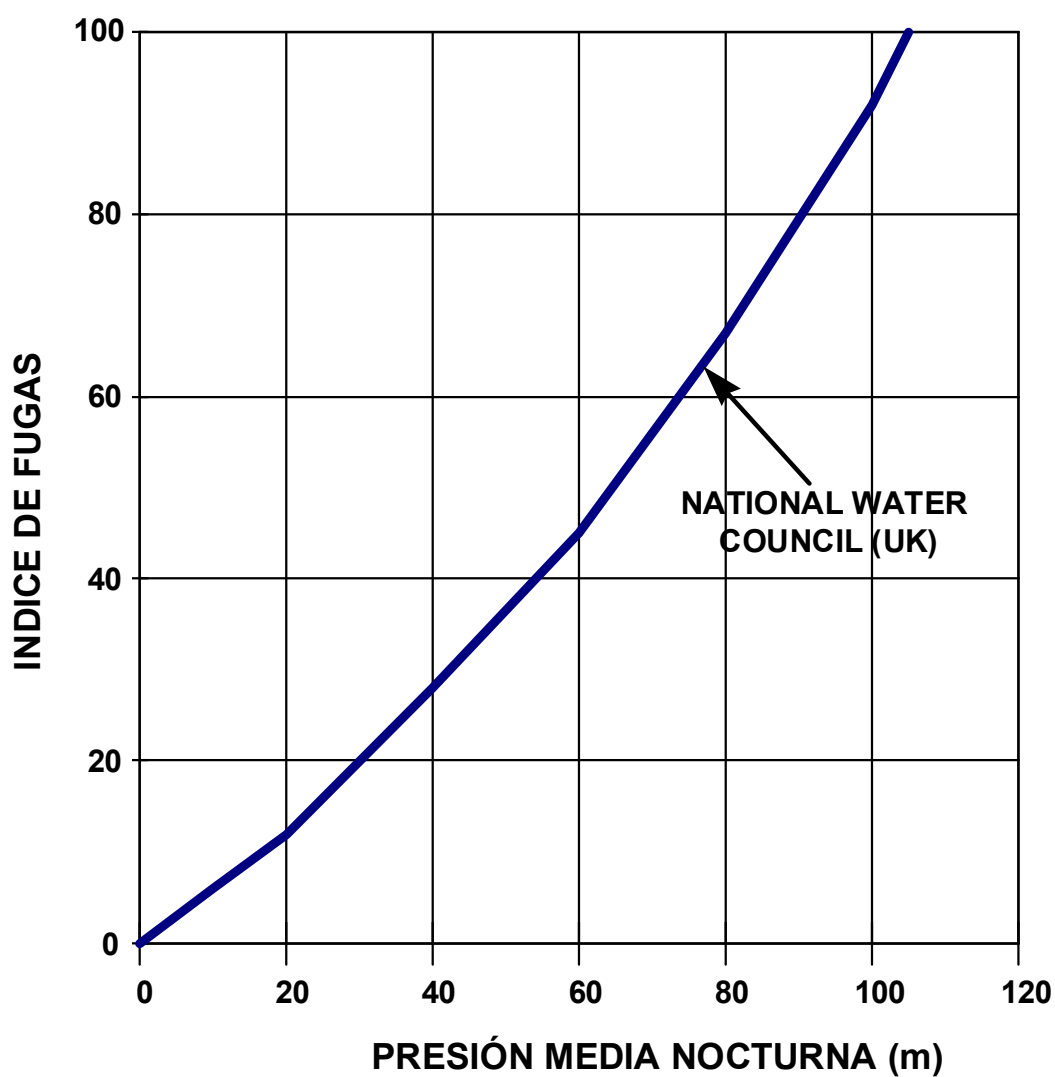
La forma de romper este círculo vicioso y lograr que la reparación de fugas sea eficaz, consiste en instalar un control de presiones mediante válvulas reductoras de presión y delimitar zonas de control de presión en cada uno de los sectores. Se logrará así una reducción de fugas por el solo hecho de 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.- METODOLOGIA DE ANALISIS

En lo que sigue se utilizará el término **demanda** para el agua que recibe la red de distribución, **consumo** para el agua que reciben los usuarios en sus domicilios y **fugas** para la diferencia.

$$\text{Demanda} = \text{consumo} + \text{fugas}$$

3.1.- Hipótesis empleadas

Para el cálculo se emplearon las siguientes hipótesis:

Variación horaria del consumo. Se utilizó la curva que se muestra en la figura siguiente para considerar la variación horaria del consumo:

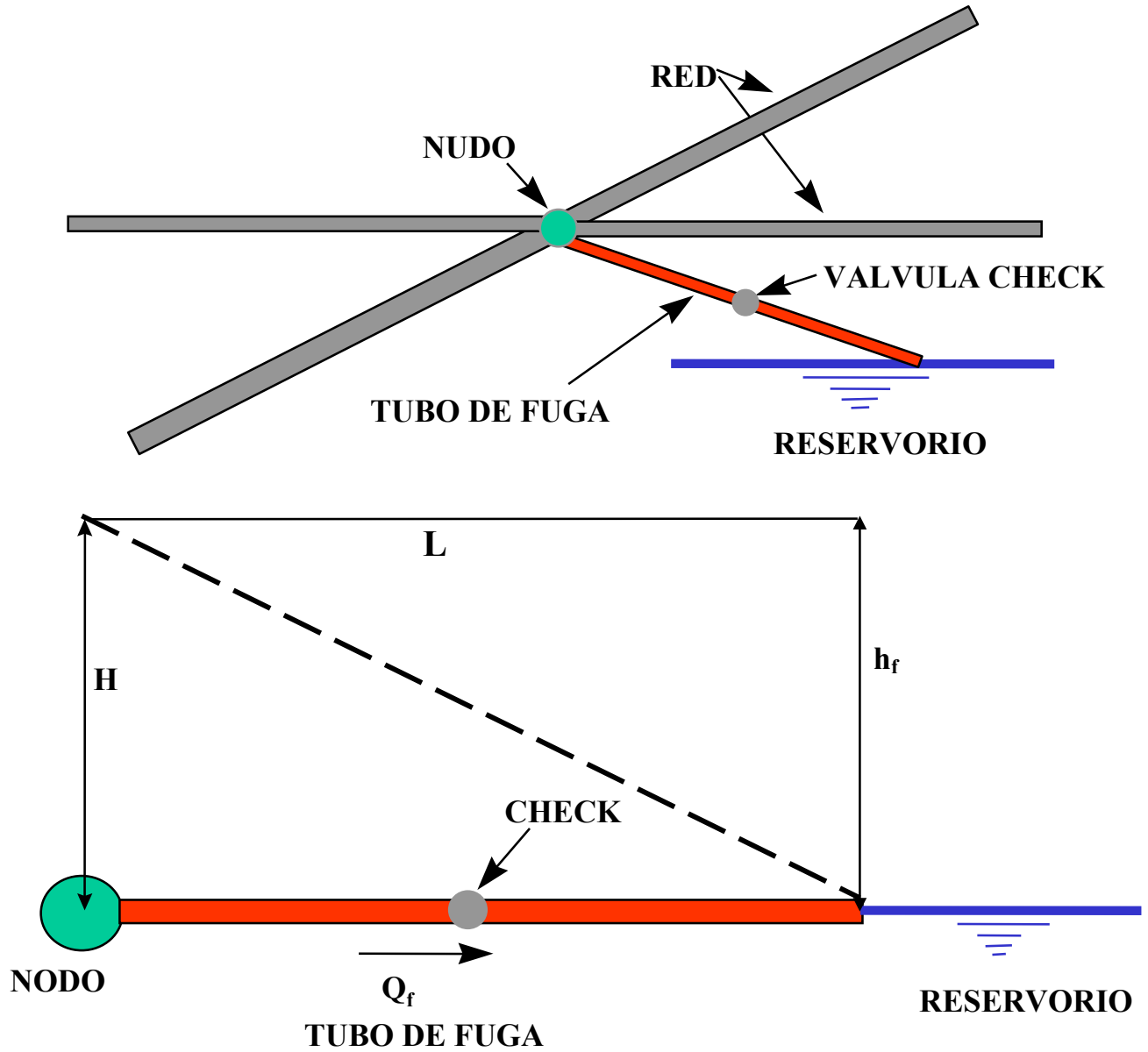


Esta curva fue estimada a partir de mediciones de presión hechas en la zona.

Consumos.- Se consideró un consumo específico de 1.8 lps/km de red para las zonas de nivel socioeconómico medio, de 2.2 lps/km para las zonas populares y de 2.4 lps/km para las zonas residenciales. Esto se obtuvo de los consumos proporcionados por la empresa que se encarga de medir, “Aguas de México”, en las zonas de Camino al Desierto, Sta. Lucía, Pedregal de San Angel y Lomas de Chapultepec.

Fugas.- El modelo de simulación de la red que se utilizó fue el programa EPANET elaborado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) y fue adaptado para permitir la simulación de las fugas en función de la carga en cada nudo. Las fugas se simulan considerando un tubo corto que conecta cada nudo a un reservorio a la misma elevación del nudo, como se muestra en el esquema siguiente. En el programa de simulación de la

red, un reservorio es un depósito de área infinita y nivel constante. Se agrega además una válvula check en ese tubo para evitar que el reservorio alimente la red en caso de que aparezcan presiones negativas.



El balance de energía para el tubo de fugas es:

$$H = h_f$$

En vista de que el programa de simulación ignora la carga de velocidad

$$h_f = \left(v * n / R^{2/3} \right)^2 L$$

Escogiendo los valores de D, n y L:

$$v = 1/n * (D/4)^{2/3} * (h_f / L)^{1/2}$$

Y el gasto de fuga será

$$Q_f = A * v = .785 D^2 * 1/n * (D/4)^{2/3} * (H / L)^{1/2}$$

Manteniendo constantes la longitud L y el coeficiente de rugosidad n, el gasto de fuga es función del diámetro y la carga:

$$Q_f = K * D^{8/3} * H^{1/2}$$

Las fugas simuladas en el modelo se pueden calibrar con el diámetro D de este tubo. En la simulación se ajustó el diámetro del tubo para obtener fugas de alrededor de 40% de la demanda. Así, se reproducen las fugas que son proporcionales a la raíz cuadrada de la carga en cada nudo.

Para la distribución espacial de las fugas se considera que los diámetros del tubo de fugas son iguales para todos los nudos. Si bien esta hipótesis no corresponde a la realidad no es posible tener información mejor, y el efecto en todo caso será de una subestimación de los ahorros de fugas ya que es de esperar que las fugas sean más abundantes en las zonas de altas presiones.

Coefficiente de rugosidad.- Para los cálculos se utilizó un coeficiente de rugosidad de **Manning** de **0.013** considerando tuberías viejas. Dados los desniveles grandes de la zona y las pérdidas provocadas por las válvulas calibradas, las pérdidas por fricción son menos importantes para las presiones que se obtienen y pequeñas variaciones en el valor del coeficiente de rugosidad no cambian substancialmente los resultados, a pesar de que las pérdidas varían con el cuadrado de éste.

3.2.- Simulación de las redes

Las redes de cada sector fueron simuladas en las condiciones actuales, ajustando las pérdidas producidas por las válvulas “calibradas” hasta obtener las mismas presiones medidas alrededor del mediodía en diversos puntos de la red del sector. Con esto se obtuvo, además, una estimación de la variación horaria de las fugas.

Posteriormente se ubicaron las válvulas reguladoras de presión (VRP) y las de seccionamiento para delimitar áreas de presión controlada, procurando tener presiones entre 10 y 30 m. Del programa de simulación se obtuvo la presión máxima y la de control para cada VRP, así como los gastos máximo y mínimo. Con ellos se eligió el diámetro de la VRP, menor al de la tubería, de tal modo que su operación no caiga en la zona de cavitación y para que ese diámetro permita el funcionamiento en ese intervalo de gastos. Se tuvo en mente para esto que una posterior reparación de fugas puede hacer disminuir el gasto mínimo, por lo que conviene tener cierta holgura para admitir gastos mínimos menores.

De la simulación con las presiones controladas se obtuvo una estimación de fugas en estas condiciones. Es de esperar que los ahorros reales sean algo mayores que los calculados de esta manera por tres razones no consideradas en el modelo:

- Se disminuyen consumos en llaves que estén conectadas directamente a la red, como pueden ser las llaves de jardín de los cuadros.
- La disminución de presión puede producir ahorros mayores en las fugas existentes que los calculados en función de la raíz cuadrada de la carga hidráulica, en caso de que haya elementos flexibles, ya que la presión también aumentaría el área de fuga. Esta es una experiencia tenida en trabajos similares en Sao Paulo.
- Si las fugas existentes son, como es de esperar, mas abundantes en las zonas con presiones mas altas, la eficacia del control de presiones será mayor que la calculada.

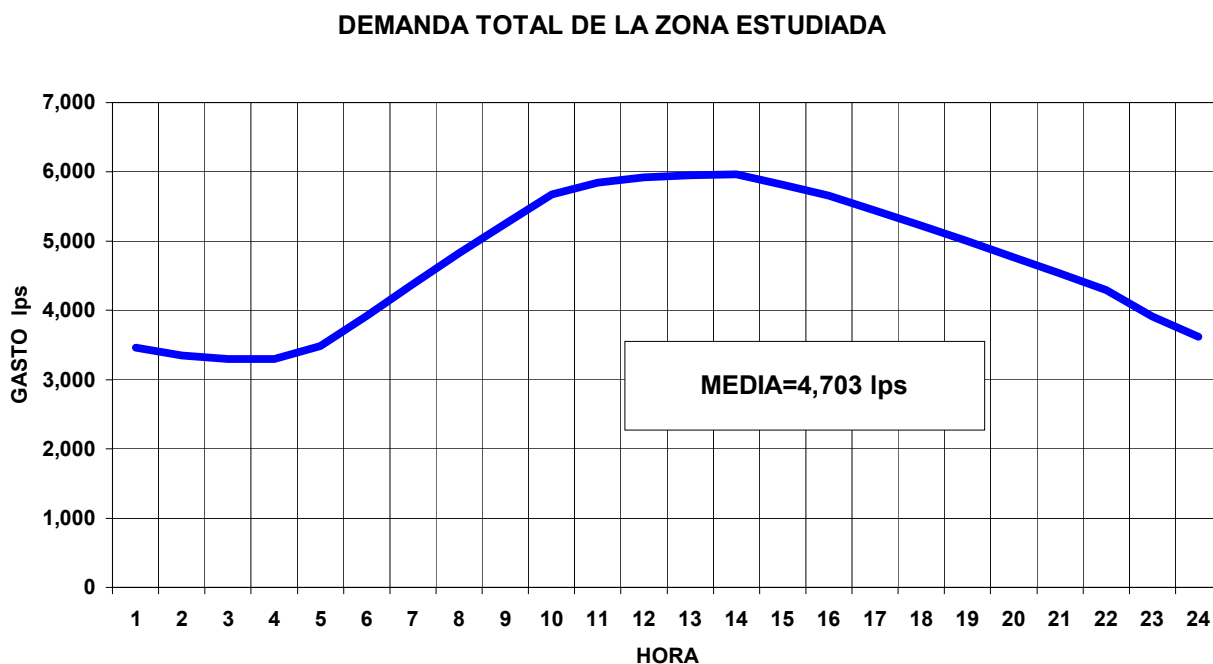
5.- SECTORES ESTUDIADOS Y RESULTADOS.

Los sectores estudiados en la zona poniente fueron los que se muestran en el plano de la figura 4, donde puede verse el área cubierta por el estudio.

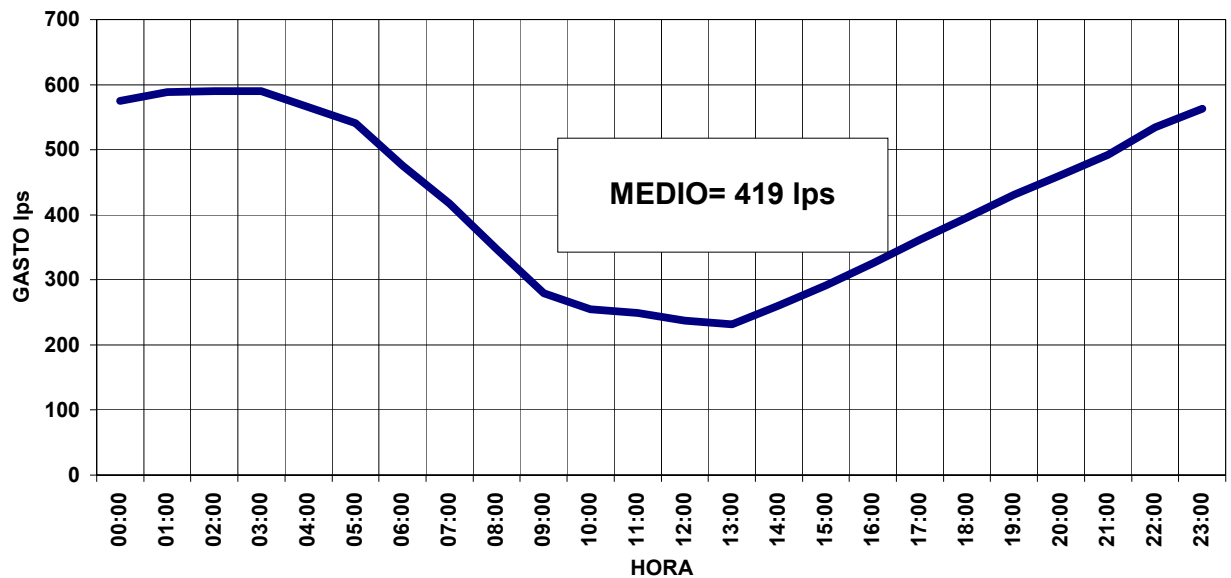
La demanda estimada actual en el área de estudio es de 4,703 lps, las fugas supuestas en la simulación son de alrededor del 37%, es decir unos 1,700 lps.

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.



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 / m³, 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 costo 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.

A continuación se presentan tres anexos con resultados de los análisis y su comparación con mediciones continuas de gastos y presiones que pudieron hacerse en esos sectores. 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.

ANEXOS

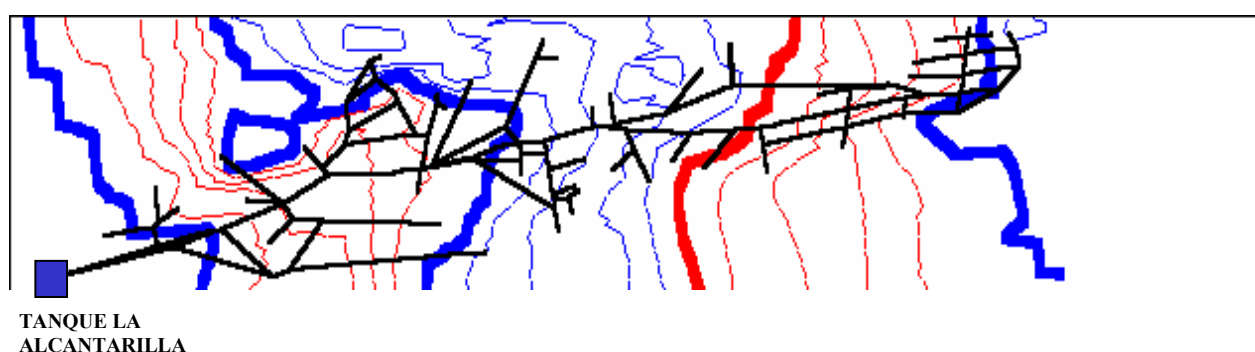
MEDICIONES Y COMPARACIÓN CON LA SIMULACIÓN

ANEXO I

MEDICIONES DE CONSUMOS, DEMANDAS Y FUGAS EN EL SECTOR CAMINO AL DESIERTO Y COMPARACION CON LA SIMULACION

SECTOR CAMINO AL DESIERTO

Este sector se encuentra a lo largo de la vialidad de ese nombre, se abastece desde el tanque “ La Alcantarilla” que se encuentra en la intersección de Camino al Desierto y Av. Toluca. Se encuentra limitado por las barrancas laterales y está naturalmente aislado. La figura siguiente muestra la red y curvas de nivel a cada 10 m que permiten ver el gran desnivel de la parte alta la más baja de la red de más de 150m.



GASTOS MEDIDOS Y SUPUESTOS EN LA SIMULACION

	SUPUESTOS lps	MEDIDOS lps
DEMANDA	59.6	61.8
CONSUMO	32.4	33.4
FUGAS	27.2	28.4
% DE FUGAS	45.6%	46%

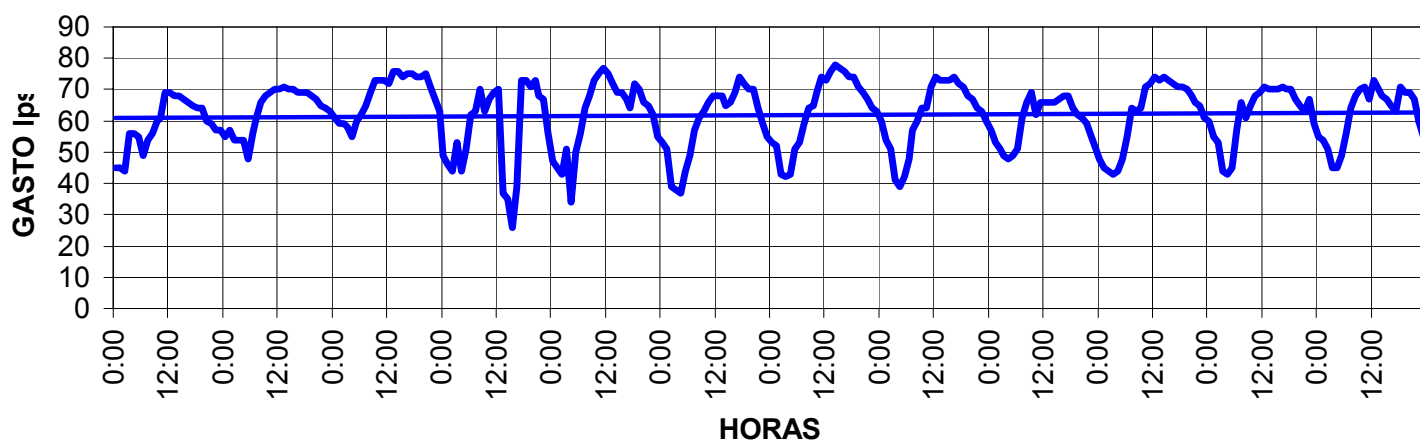
Los consumos supuestos en la simulación se obtuvieron considerando un consumo específico de 1.8 lps/km de red.

Los consumos medidos fueron proporcionados por Aguas de México que en la zona tiene registrados a 2095 usuarios con medidor y 323 sin medidor. El consumo promedio diario de los usuarios con medidor es de 28.82 lps y se estimó para los no medidos, en función del tipo de usuario, un gasto de 4.54 lps.

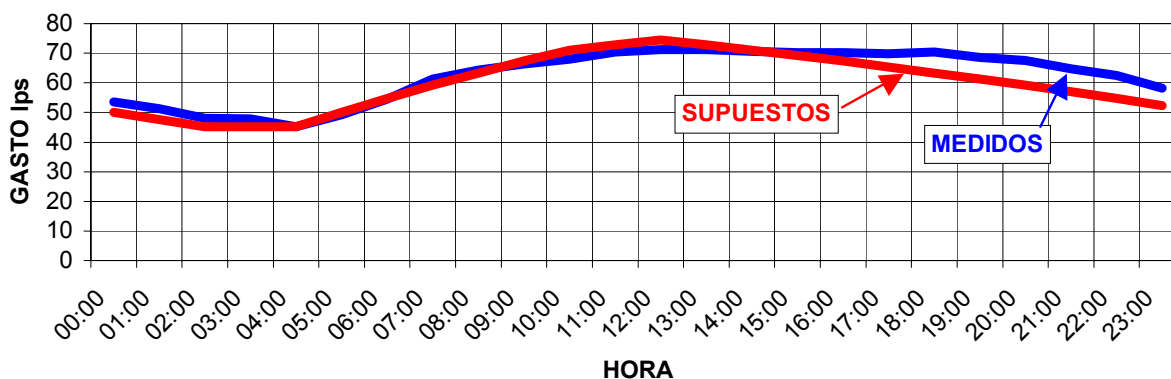
En la simulación se ajustaron las fugas para obtener el % señalado y la demanda resultó de este ajuste. La demanda medida se midió a la salida del tanque “Alcantarilla” en las tuberías que alimentan a la zona.

Las gráficas que siguen muestran la medición de gastos que se suministraron a ese sector durante doce días y se compara la demanda supuesta con su variación horaria con la demanda horaria promedio medida.

GASTOS MEDIDOS EN CAMINO AL DESIERTO DEL 1 AL 12 DE ENERO 2000



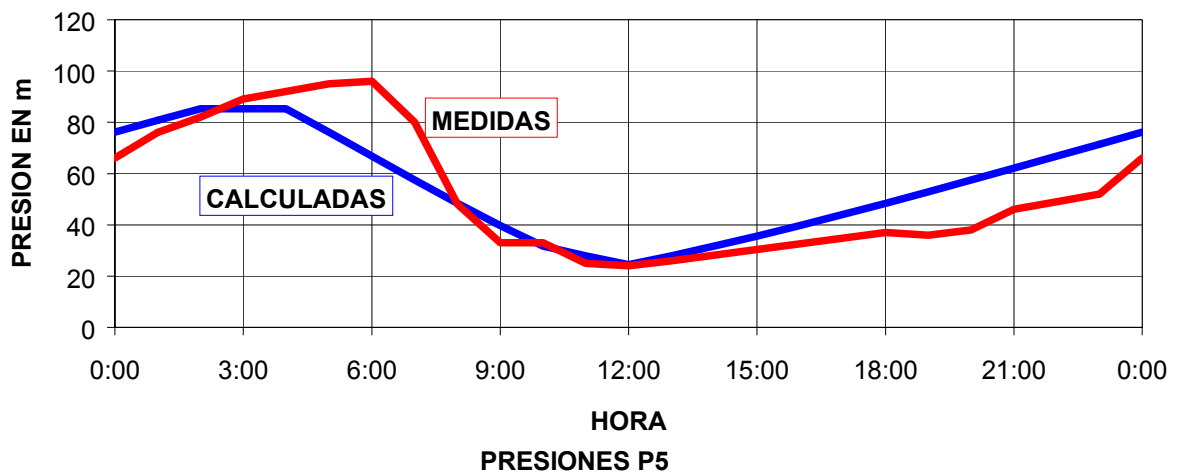
GASTOS SUPUESTOS Y MEDIDOS EN CAMINO AL DESIERTO



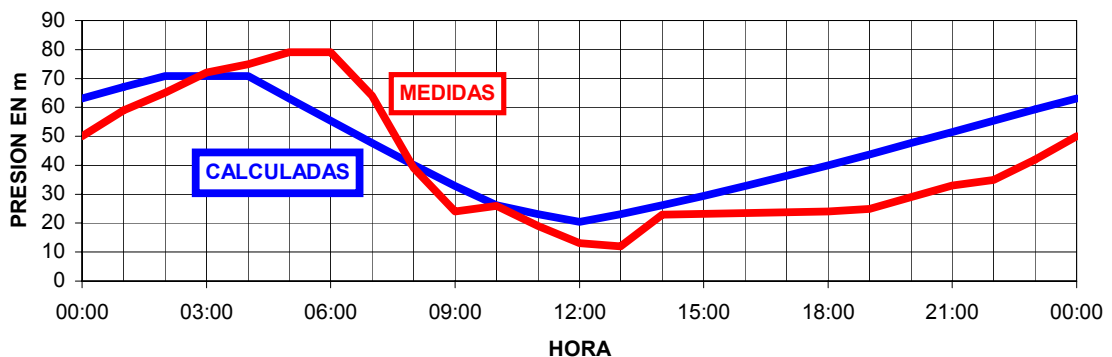
PRESIONES MEDIDAS Y OBTENIDAS DE LA SIMULACION

En el sector camino al desierto se tomaron registros durante 24 horas en diversos puntos. Las gráficas que siguen muestran las mediciones hechas y se comparan con las calculadas con la simulación:

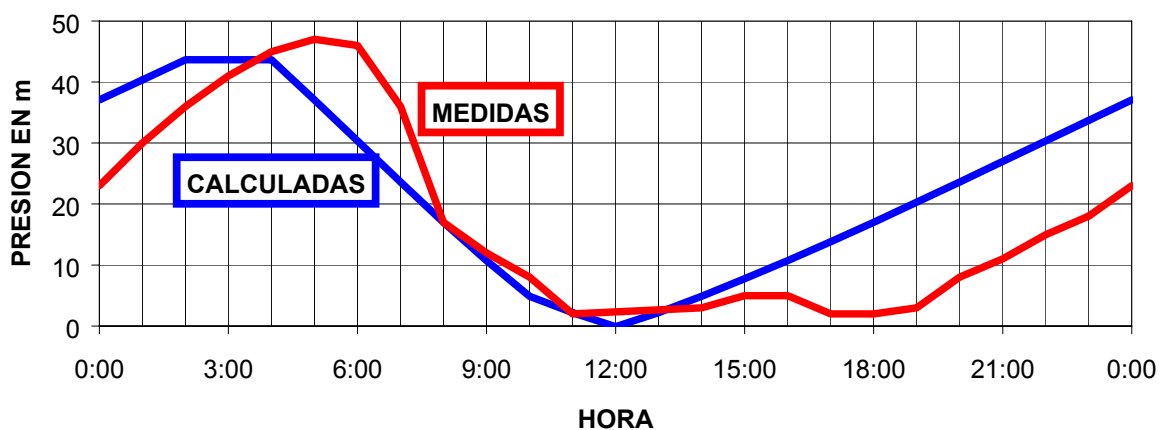
PRESIONES P6



PRESIONES P5

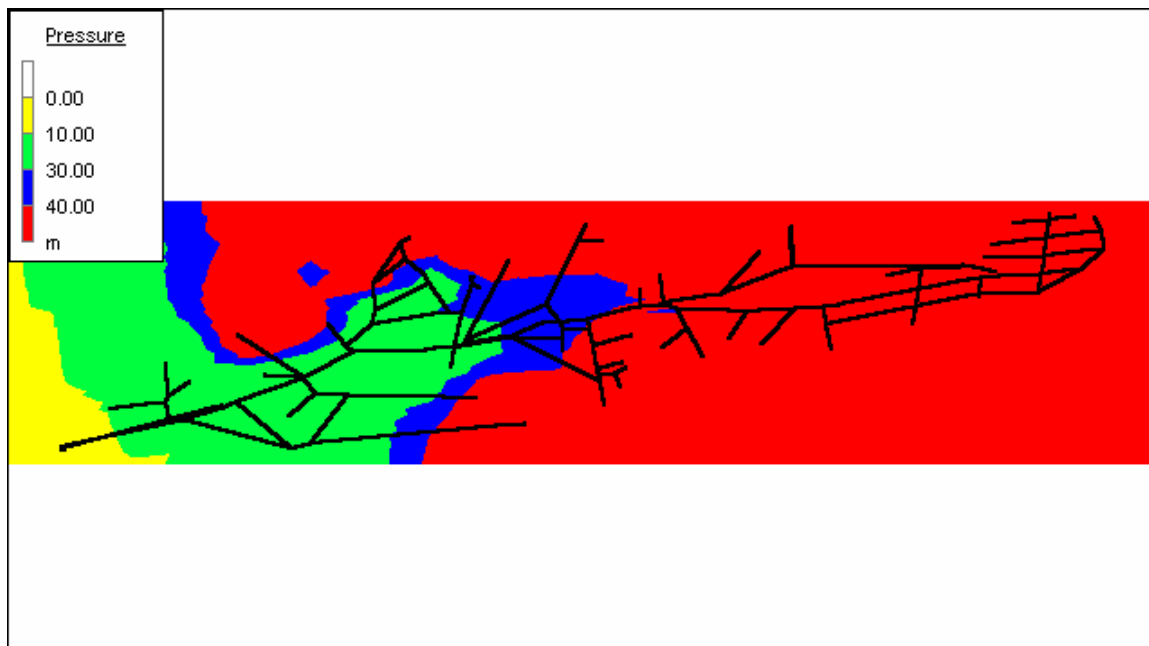


PRESIONES P4

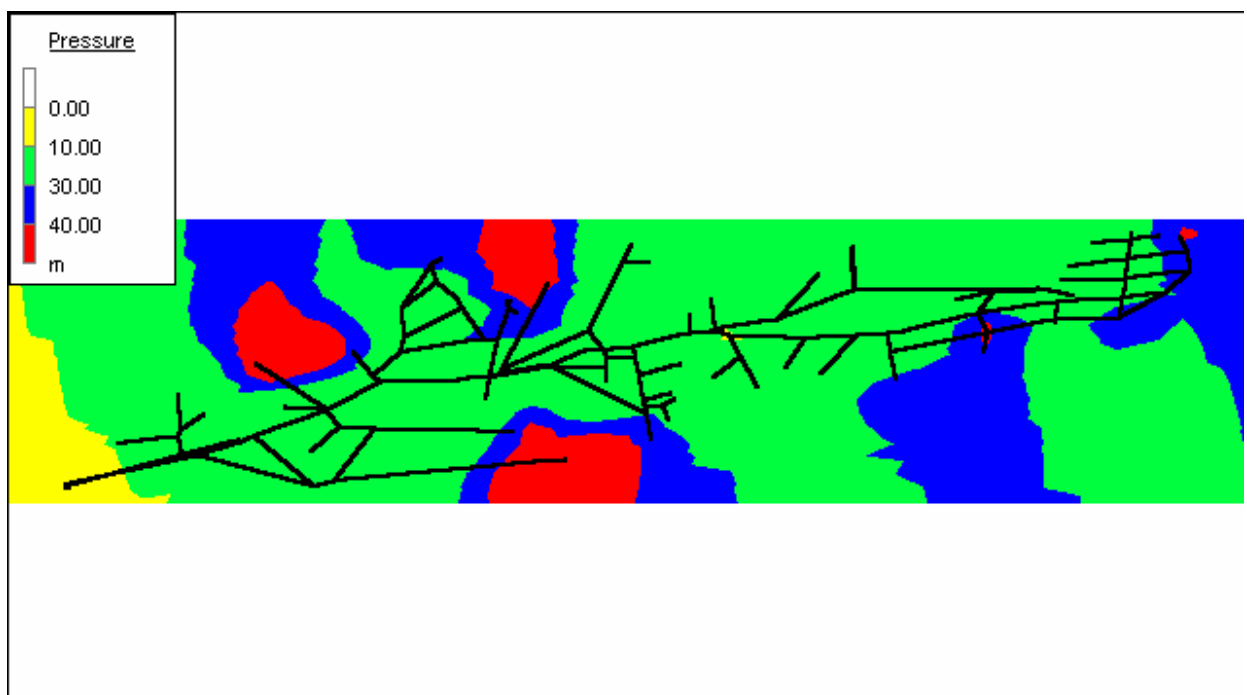


La instalación de válvulas reguladoras de presión permitiría reducir las presiones como se muestra en las siguientes figuras en las que se comparan las presiones máximas y mínimas en la situación actual y con control de las presiones.

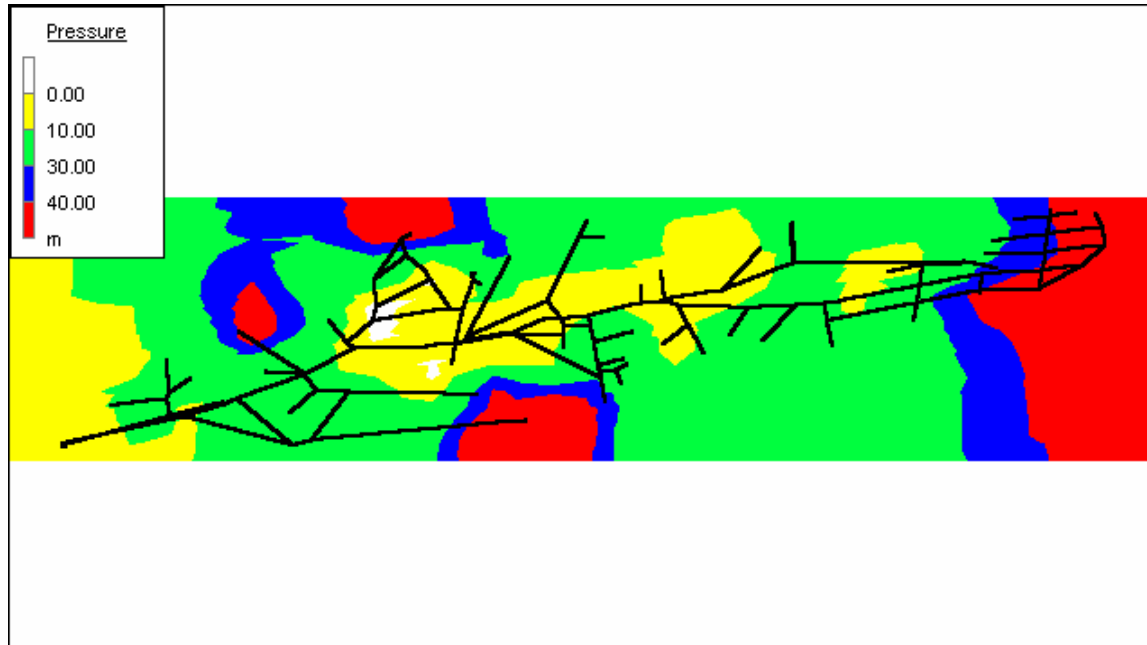
PRESIONES MAXIMAS SIN CONTROL DE PRESIONES



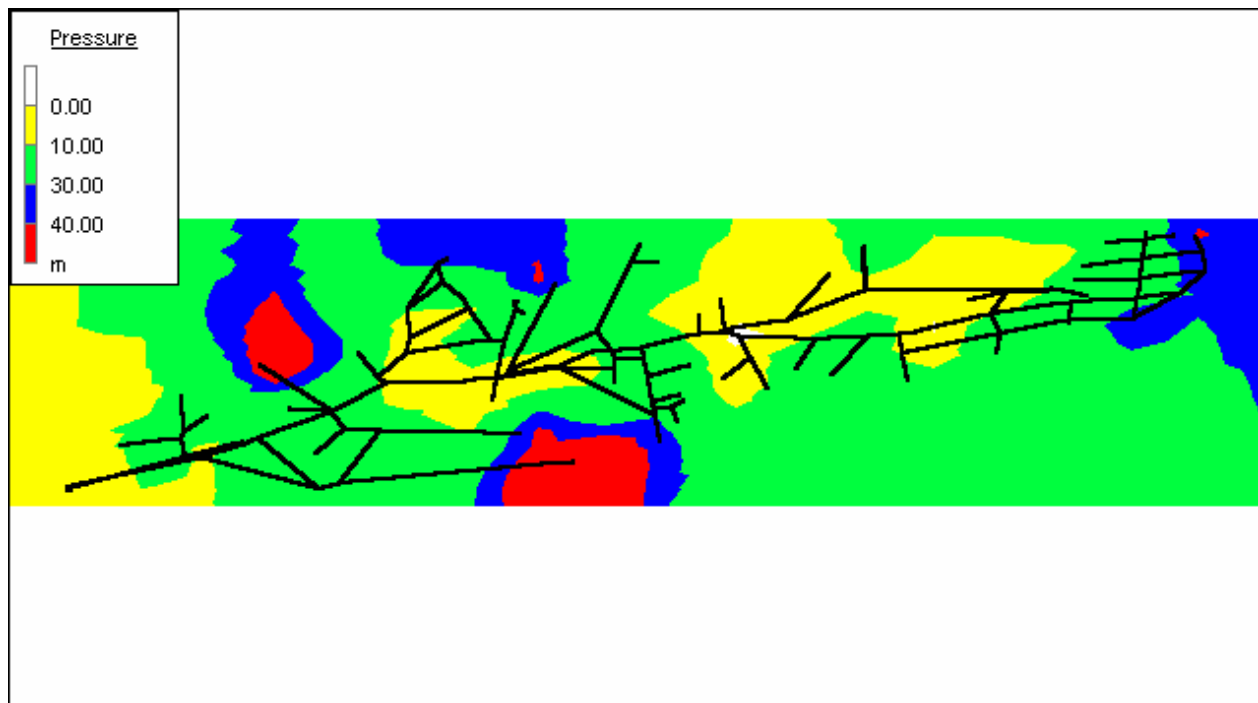
PRESIONES MAXIMAS CON CONTROL DE PRESIONES



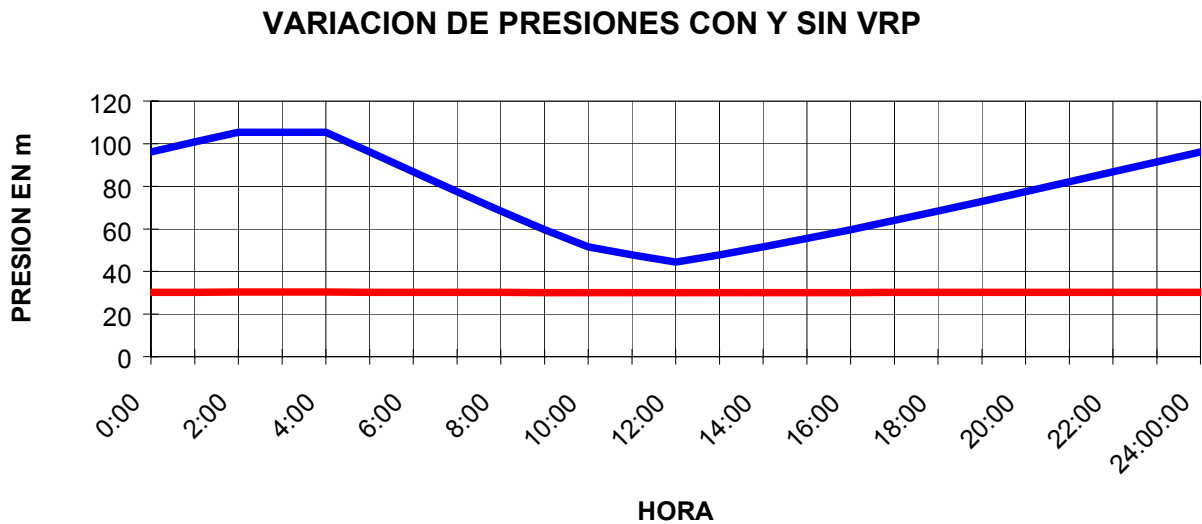
PRESIONES MINIMAS SIN CONTROL DE PRESIONES



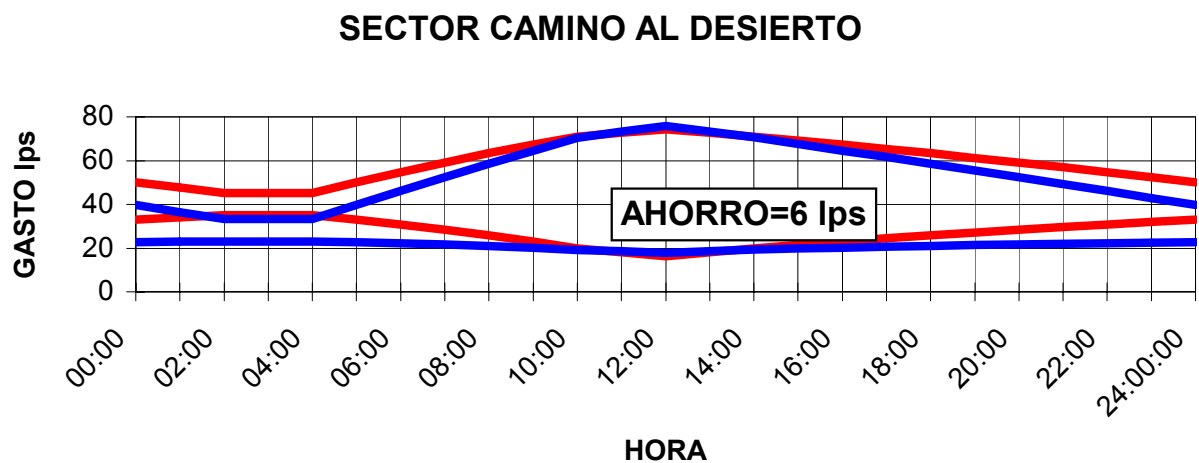
PRESIONES MINIMAS CON CONTROL DE PRESIONES



Con este control las presiones en un punto bajo de la red cambiarían como muestra la siguiente gráfica:



Y las demandas y fugas como se muestra en la gráfica que sigue:



ANEXO II

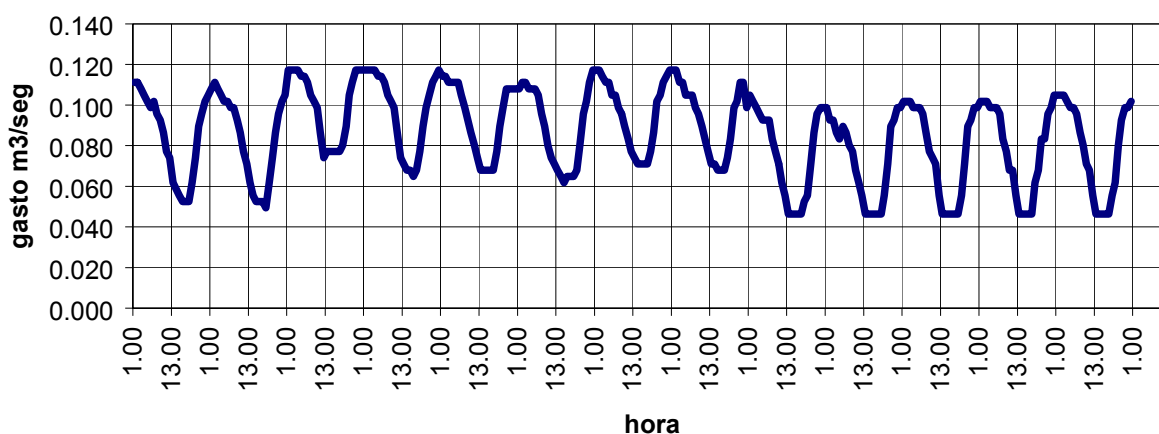
MEDICIONES DE CONSUMOS, DEMANDAS Y PRESIONES EN EL SECTOR STA. LUCIA 1 Y COMPARACIÓN CON LA SIMULACION

El sector Sta. Lucía 1 se muestra en la siguiente figura. Es alimentado a través de la tubería de 12" señalada y eventualmente por la tubería de 4" que se muestra, según los informes del personal de operación ésta última permanece cerrada.



En la tubería de 12", la DGCOH realizó mediciones de gasto durante 13 días y la gráfica siguiente muestra los resultados.

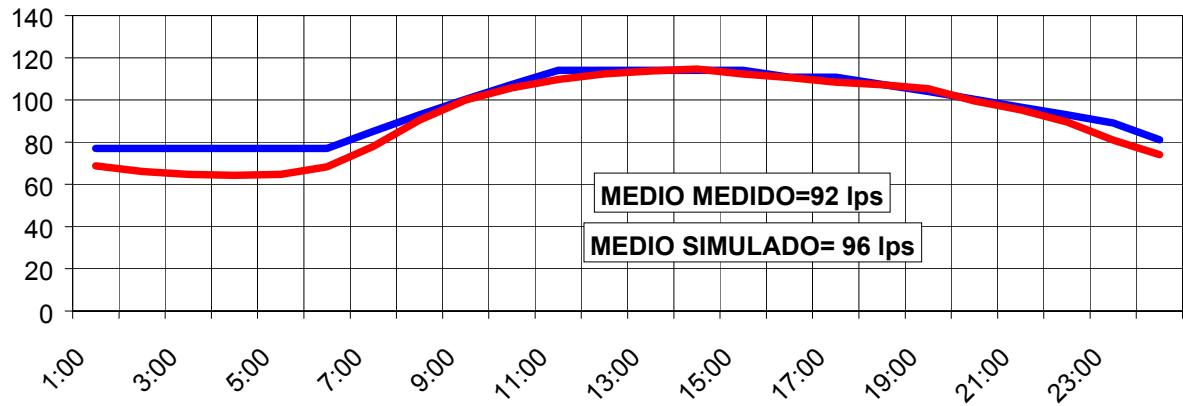
GASTOS MEDIDOS EN STA LUCIA 1



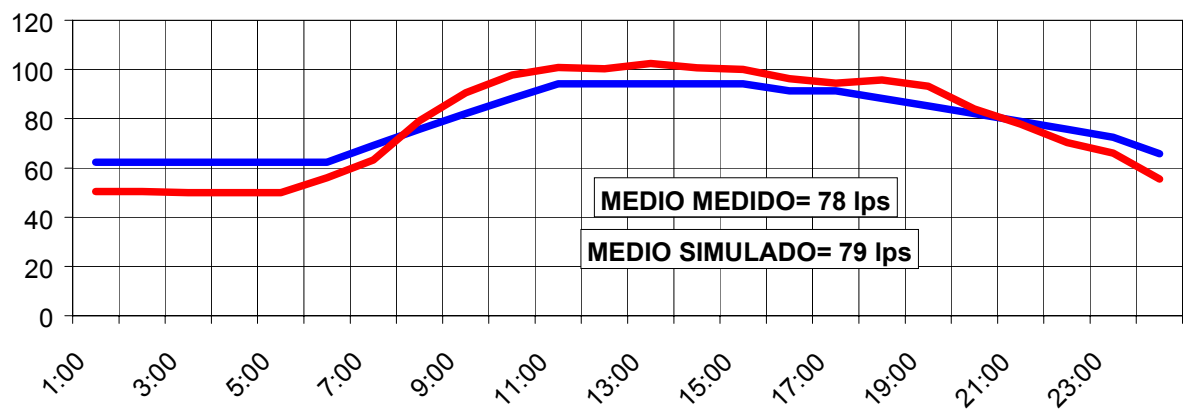
Como puede verse en esta gráfica la demanda del sector se repite cíclicamente con una variación horaria sensiblemente igual cada día. Sin embargo, los últimos 5 días y parcialmente los dos primeros, la demanda es menor que el resto. Esto hace sospechar que la válvula de la tubería de 4" es manipulada y que en los días mencionados estuviera abierta o parcialmente abierta.

Para comparar las mediciones con los resultados de la simulación se tomó el promedio horario de los gastos para los días de gasto máximo y el promedio para los últimos 5 días. Se compararon los primeros gastos con los de la simulación que supone la válvula de la tubería de 4" cerrada, y los gastos promedio de los últimos 5 días con los gastos de la tubería de 12" suponiendo abierta la válvula de 4". En las gráficas que siguen se presenta el resultado de estas comparaciones. Puede verse la buena coincidencia de las mediciones con los gastos resultantes de los cálculos con las hipótesis hechas para ellos.

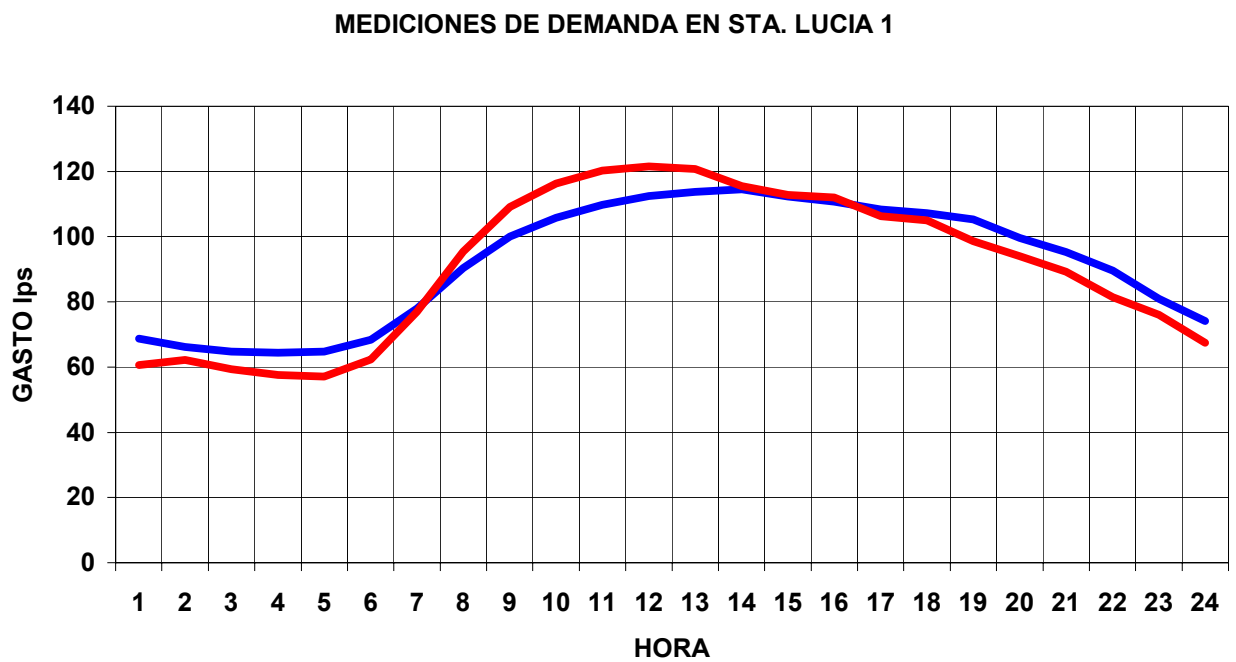
GASTOS CON LA VALV DE 4" CERRADA



GASTOS CON LA VALV DE 4" ABIERTA



Posteriormente se pudo relizar una medición de gastos en ambas tuberías la de 12" y la de 4" los resultados que se muestran en la siguiente gráfica confirman la validez de las hipótesis hechas para explicar el cambio de gastos medios en los últimos cinco días de la medición anterior. En la gráfica, la curva roja corresponde a la segunda medición y es la suma de los gastos en ambas tuberías y la línea azul corresponde a la primera medición, en ambos casos el gasto medio es de 92 lps.



La Empresa Aguas de México hizo una estimación de los consumos en ese sector que resulto como se muestra en la tabla siguiente, en la que se señalan las demandas y fugas supuestas y las resultantes de las mediciones:

	DEMANDA	CONSUMO	FUGAS	% DE FUGAS
MEDIDO	92 lps	64 lps	28 lps	30.43%
SUPUESTO	96 lps	54 lps	42 lps	43.75%

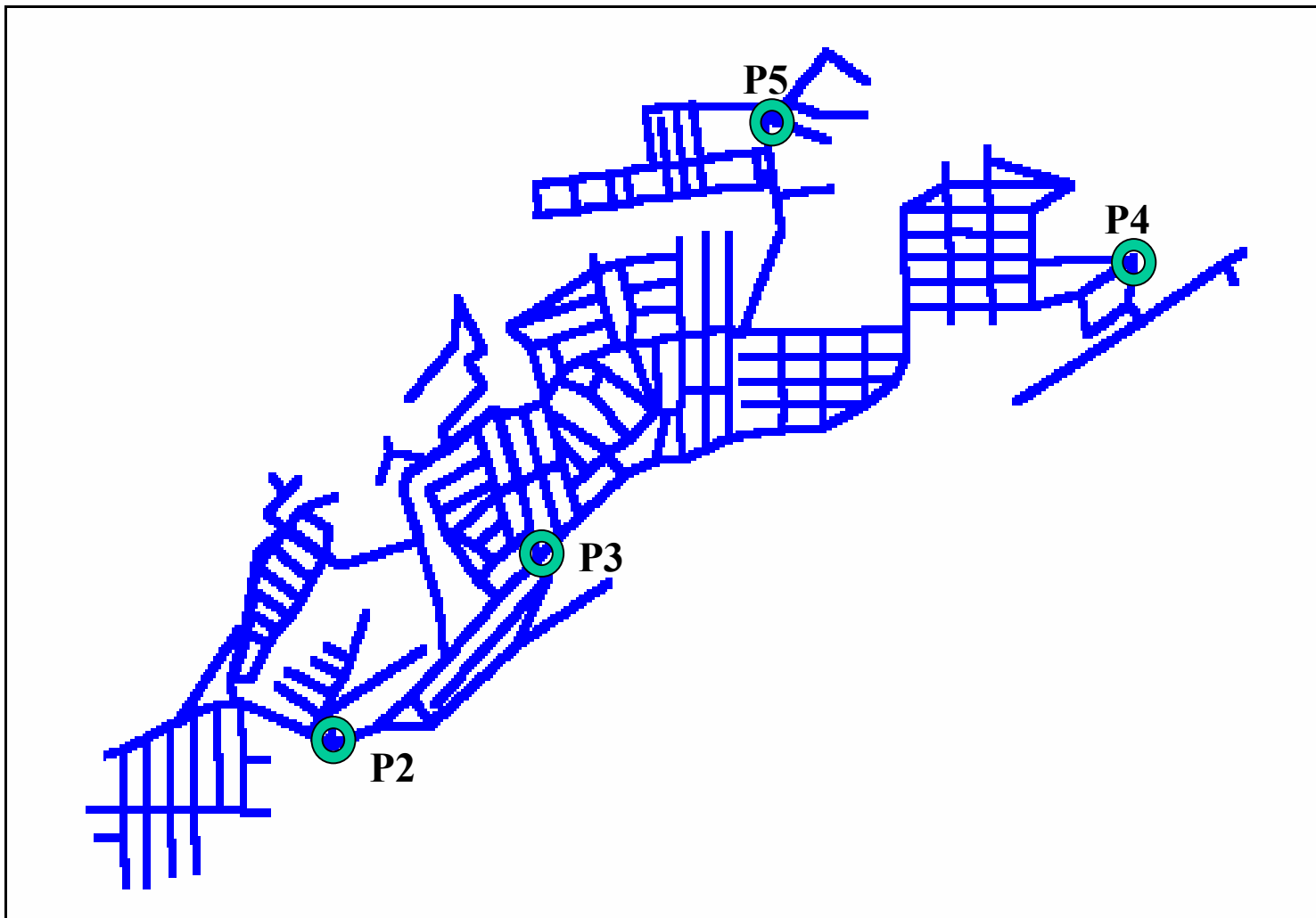
Puede verse que hay una diferencia importante entre los consumos supuestos y los reportados por Aguas de México. A pesar de que existe duda de que los consumos reportados estén algo sobrestimados debido a la falta de medición en algunas áreas y a la forma en que se estimó el consumo para los usuarios no medidos, es notable la diferencia si se compara con el caso del sector Camino al Desierto. En todos los casos se tomo un consumo específico de 1.8 lps/km de red. Esta hipótesis fue correcta en el caso de Camino al Desierto pero en esta zona mas popular y populosa el consumo específico es mas alto y del orden de 2.1 lps/km.

Llama la atención, sin embargo, que las fugas estimadas a partir de las mediciones son mucho mas bajas en este caso, 30.4%, que en Camino al Desierto que eran de 42% Conviene revisar las áreas donde la medición de Aguas de México es escasa, pues es posible que la estimación de los consumos en las zonas no medidas sea excesiva.

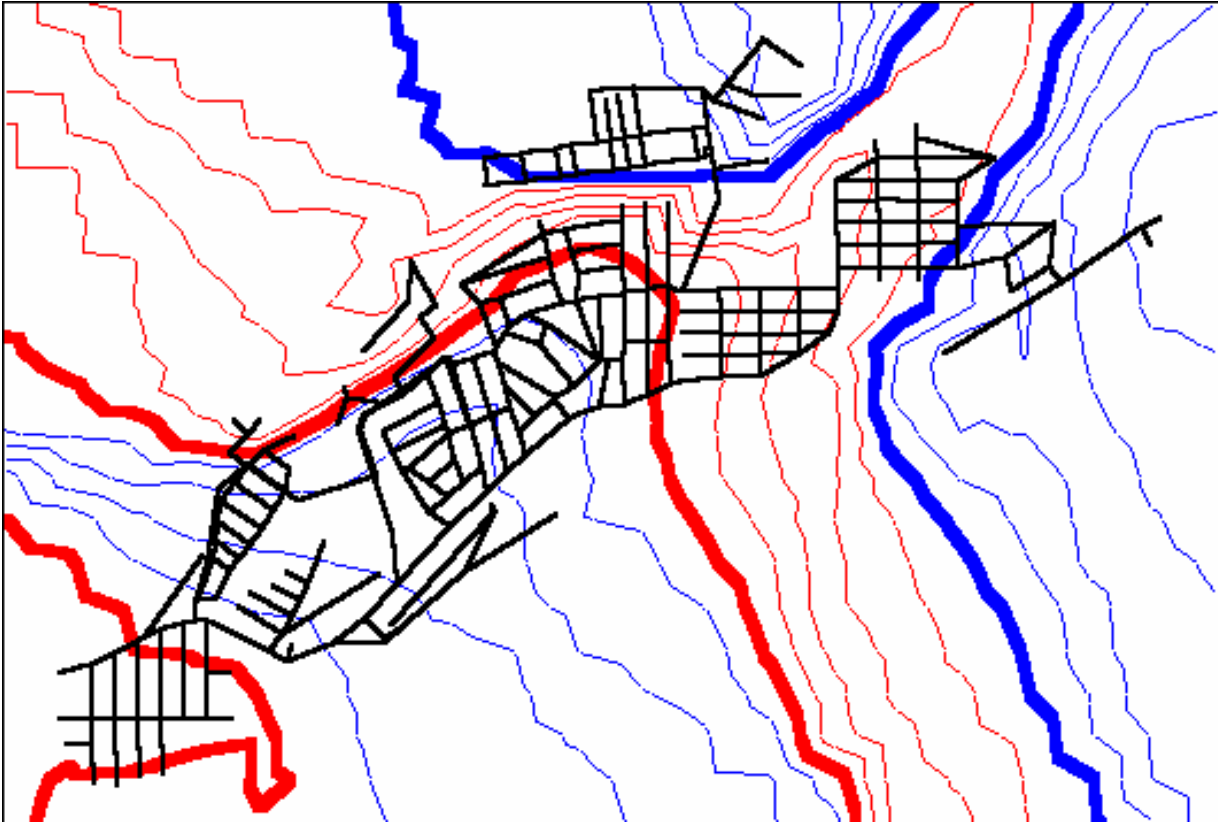
2.- Mediciones y calibración.

En la zona de Sta. Lucía 1, se pudieron realizar mediciones de presión continua por 24 horas.

Las medidas se tomaron en 4 puntos que se muestran la figura 1.

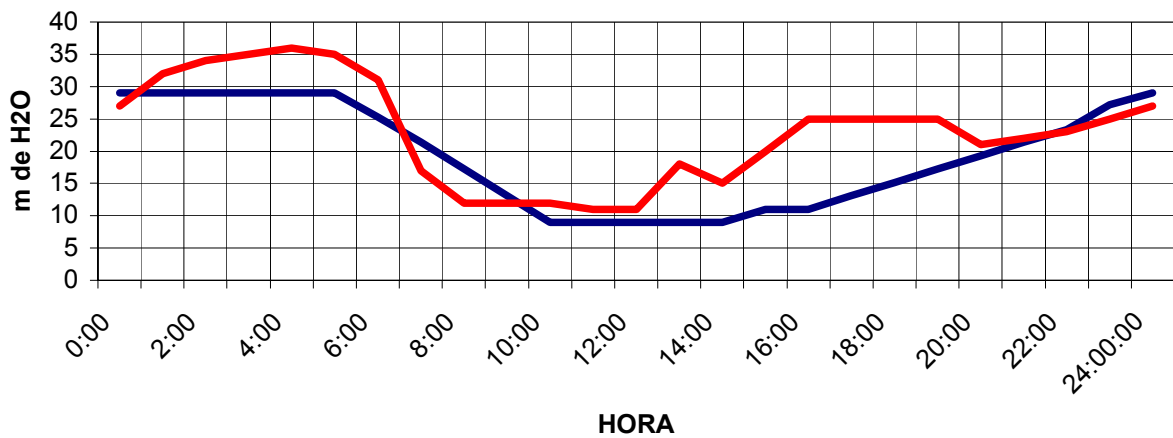


Los desniveles de la zona son importantes como muestra la figura 2, con curvas a cada 10 m.

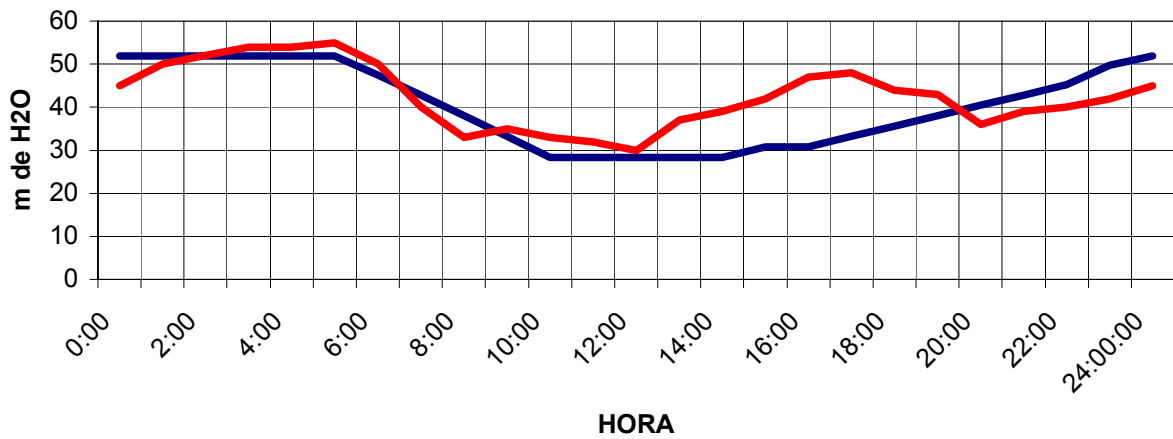


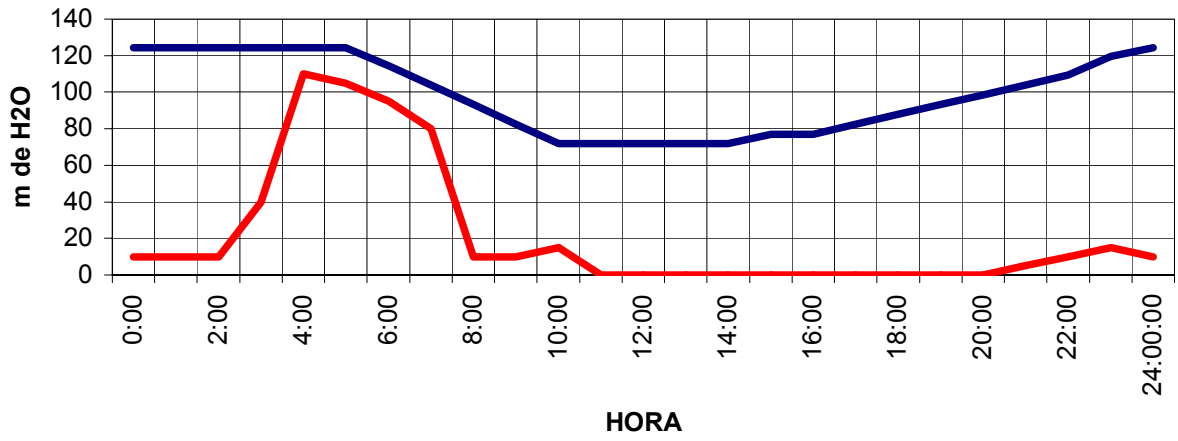
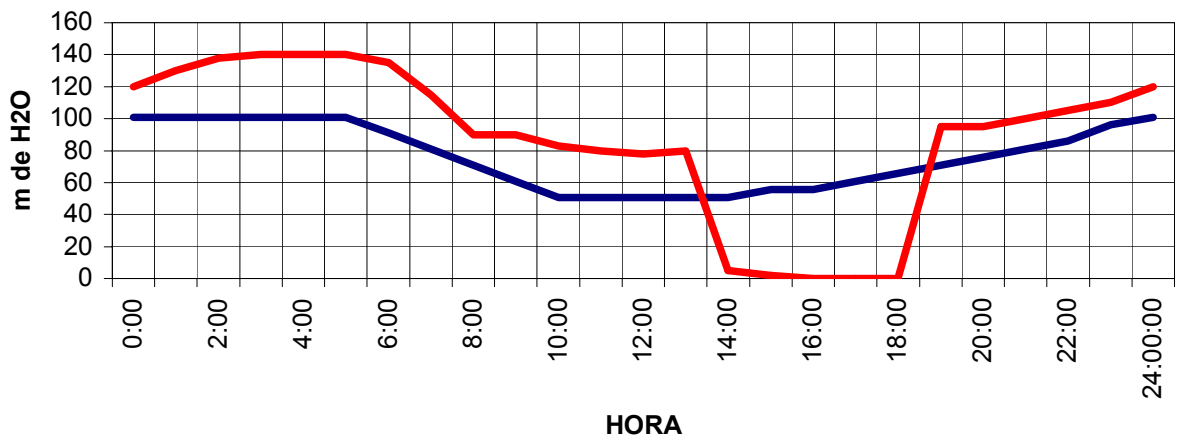
Las siguientes gráficas muestran las presiones medidas (en rojo) y las calculadas (en azul) durante la simulación.

PRESIONES EN P2



PRESIONES EN P3



PRESIONES EN P4**PRESIONES EN P5**

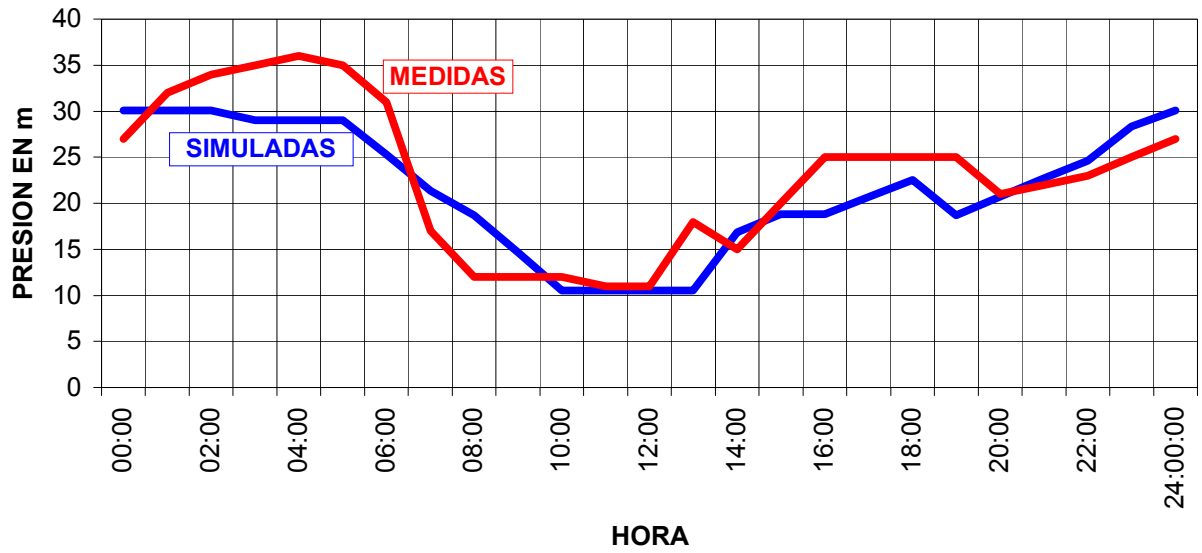
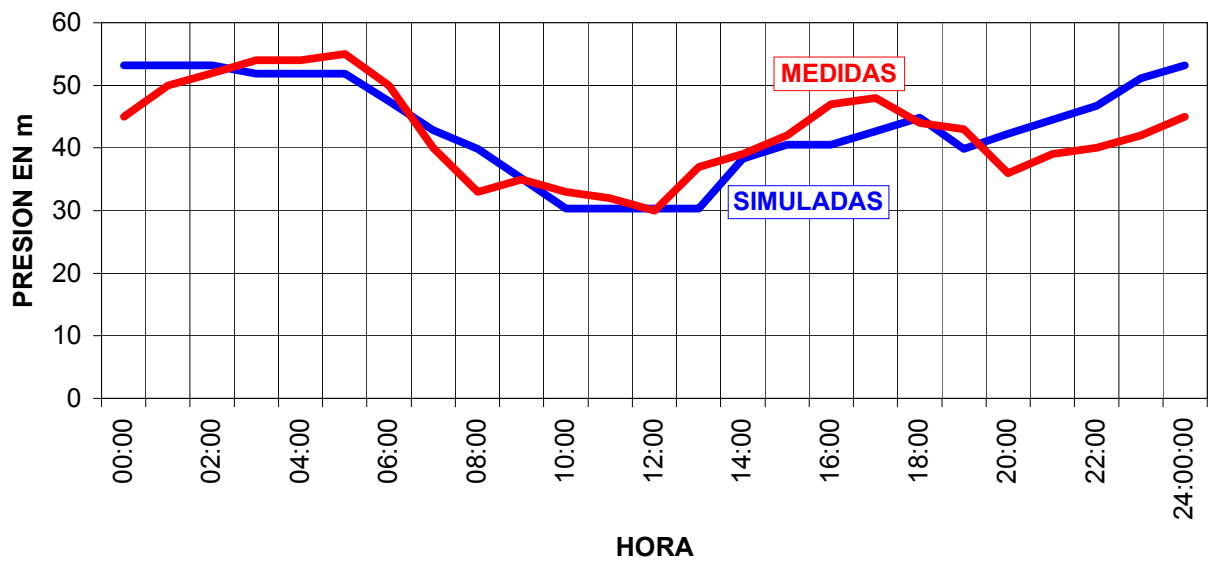
En las gráficas anteriores se puede observar lo siguiente:

Las presiones en los puntos 2 y 3 son bastante parecidas excepto para las horas entre las 13 y las 21 en donde la presión medida se incrementa.

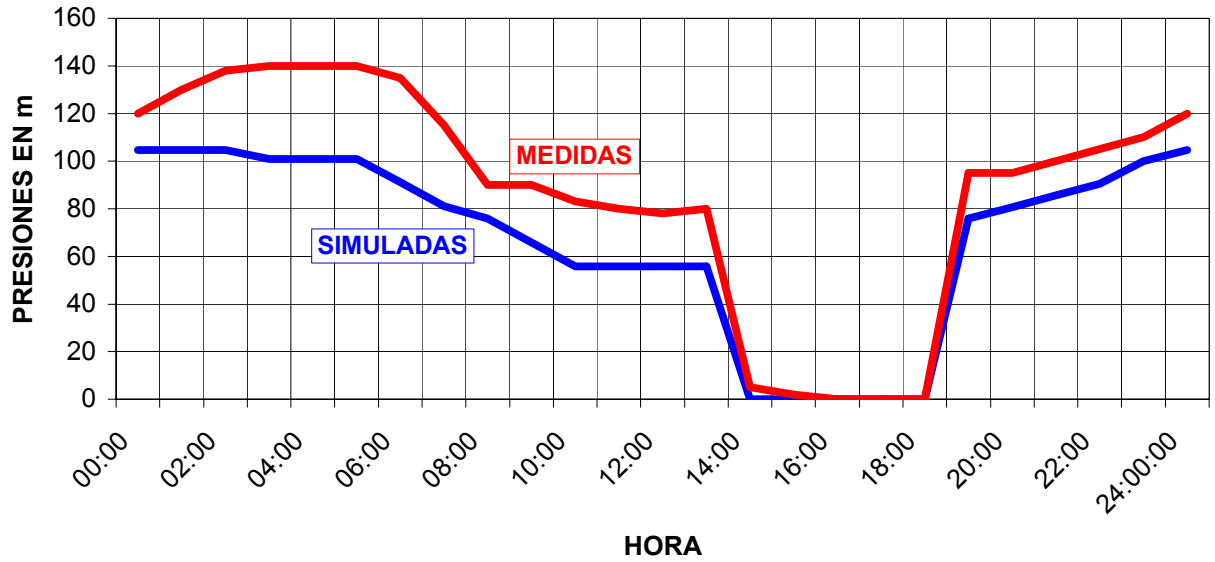
Este aumento de presión se explica, como puede verse en las gráficas para los puntos 4 y 5 que se encuentran en la zona baja, por el cierre de válvulas que cortaron la alimentación a esa zonas bajas, entre las 13 y las 19 horas para el punto 5 y entre las 8 y las 2 para el punto 4.

La disminución de gasto en la red por estos cortes, provoca una disminución de pérdidas sobre todo en las válvulas parcialmente cerradas que explican el aumento de presión de los puntos 2 y 3.

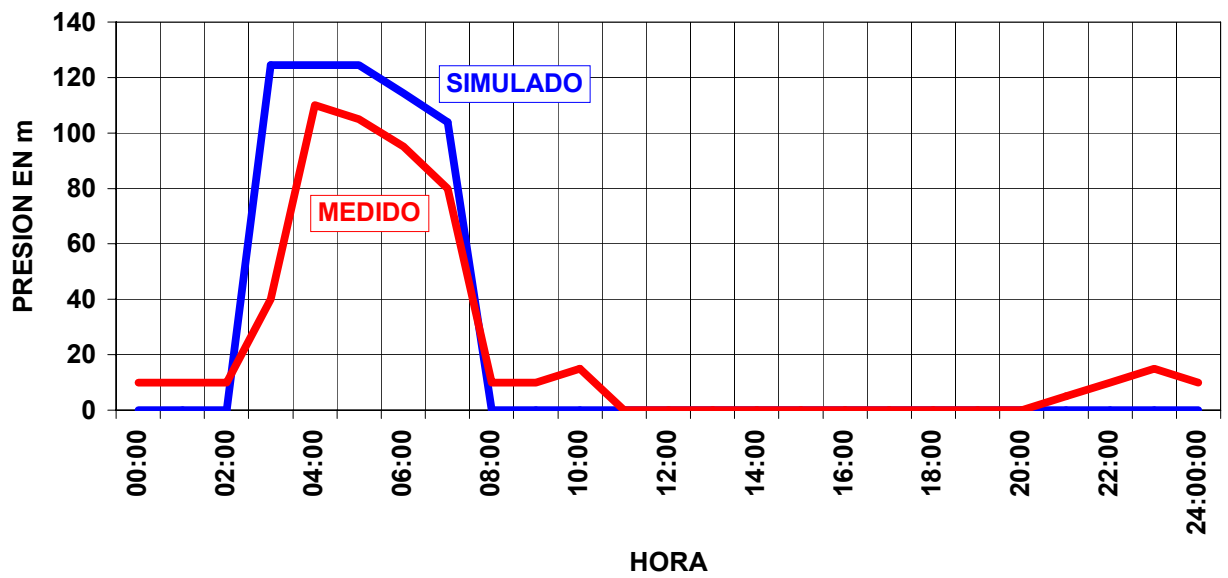
Se hizo una simulación de la red suponiendo cortado el suministro hacia las zonas de los puntos 4 y 5. Como se ve en las siguientes gráficas, las presiones simuladas así son muy parecidas a las medidas, con la salvedad de que en el punto P5 hay una presión mayor que la supuesta, probablemente la causa es que el día de las mediciones continuas de presión, la válvula que se “calibra” hacia esa zona estaría menos cerrada que el día que se midió la presión para ajustar la simulación. Esas presiones tan altas, de 140 m por la noche, son preocupantes sobre todo en esa zona que es la del “ Desarrollo Urbano Alvaro Obregón” cuya red fue hecha con los programas de Solidaridad que no necesariamente cumplieron con las normas de instalación. Los operadores reportan que en esa zona las fugas visibles son muy abundantes a pesar de las reparaciones que se hagan.

PRESIONES EN P2**PRESIONES EN P3**

PRESIONES EN P5

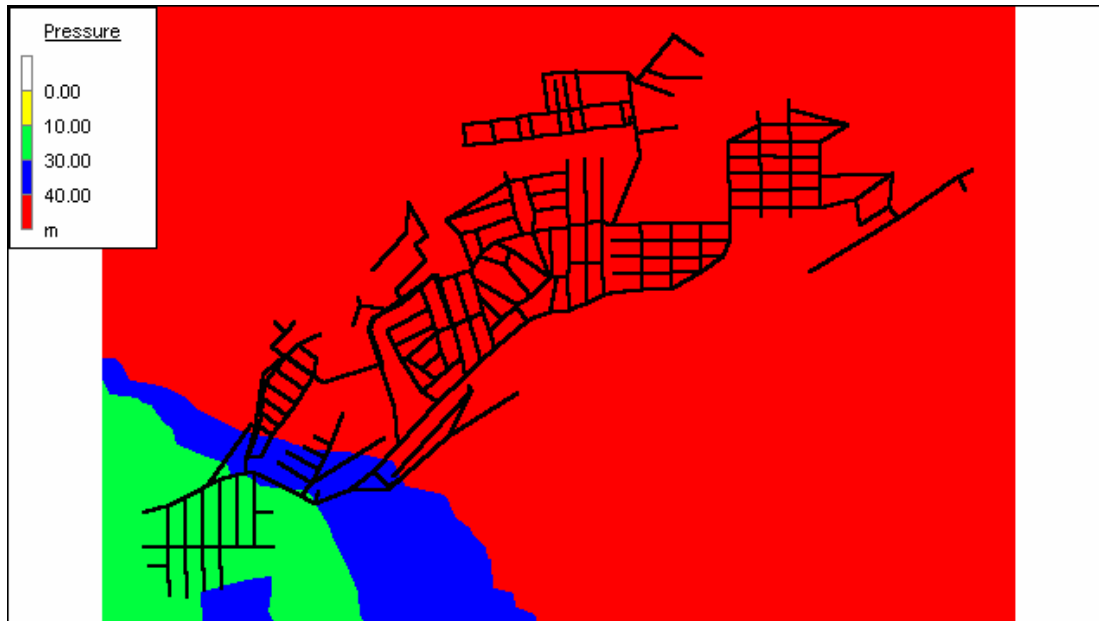


PRESIONES EN P4



En las siguientes figuras se muestran las presiones máximas y mínimas en las condiciones actuales y las que se obtendrían con la instalación de las válvulas reguladoras de presión y los seccionamientos correspondientes:

PRESIONES MÁXIMAS CONDICIONES ACTUALES



PRESIONES MÁXIMAS CON CONTROL



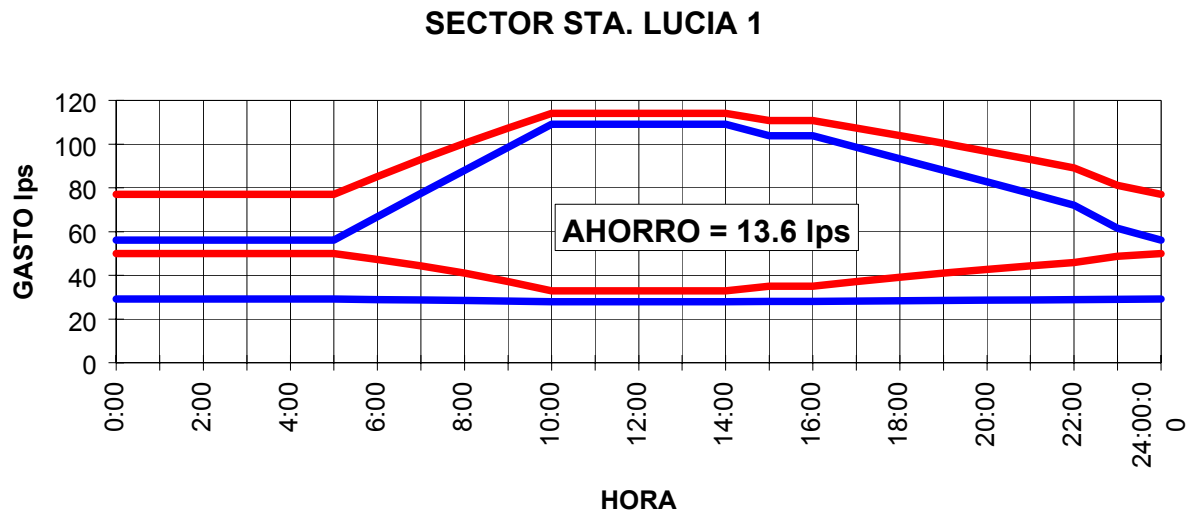
PRESIONES MÍNIMAS CONDICIONES ACTUALES



PRESIONES MINIMAS CON CONTROL



Las gráficas siguientes muestran las demandas y fugas estimadas en ambas condiciones :



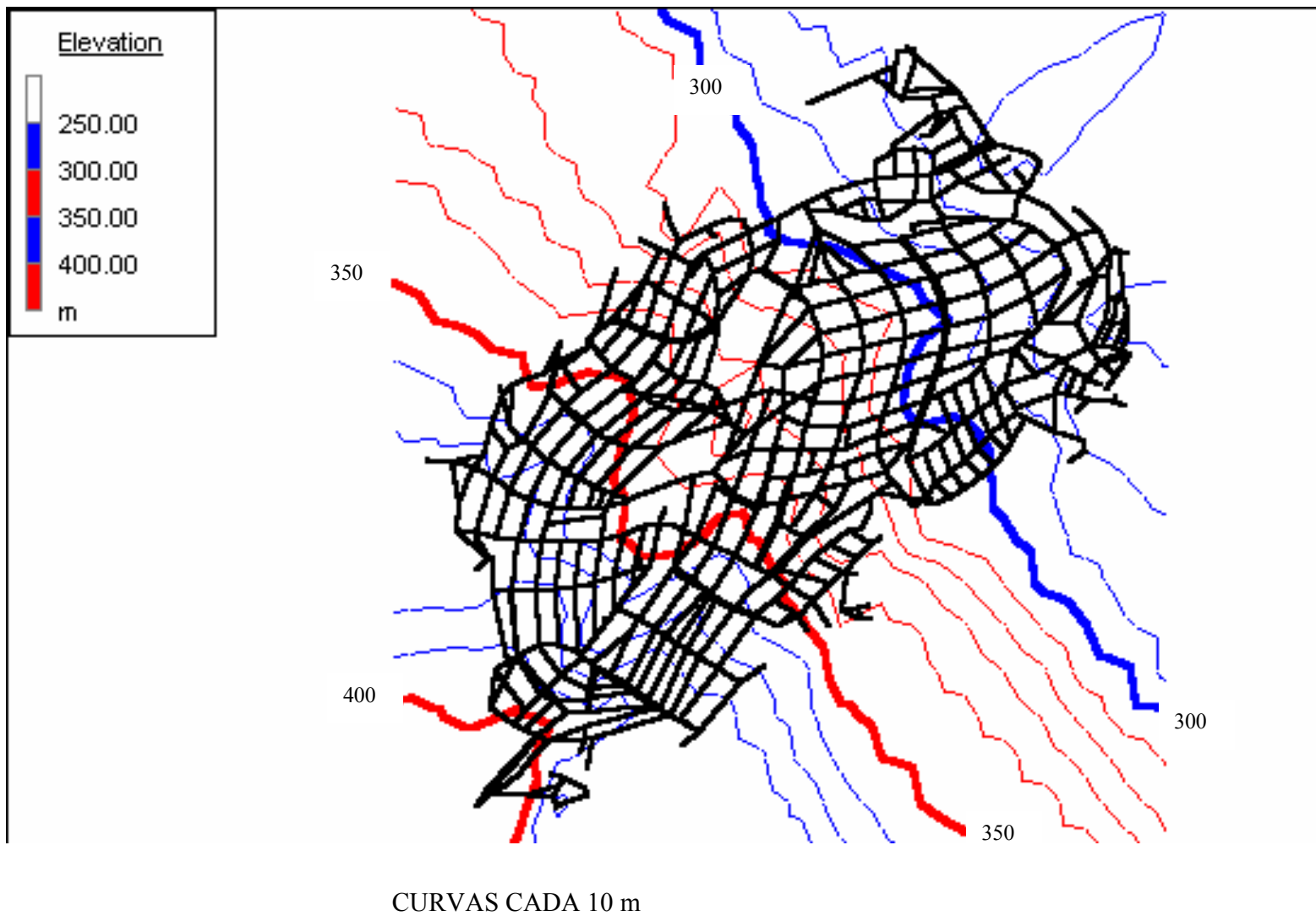
ANEXO III

MEDICIONES DE PRESION EN EL SECTOR LOMAS DE CHAPULTEPEC Y COMPARACIÓN CON LA SIMULACION

MEDICIONES Y CALIBRACION EN EL SECTOR LOMAS DE CHAPULTEPEC

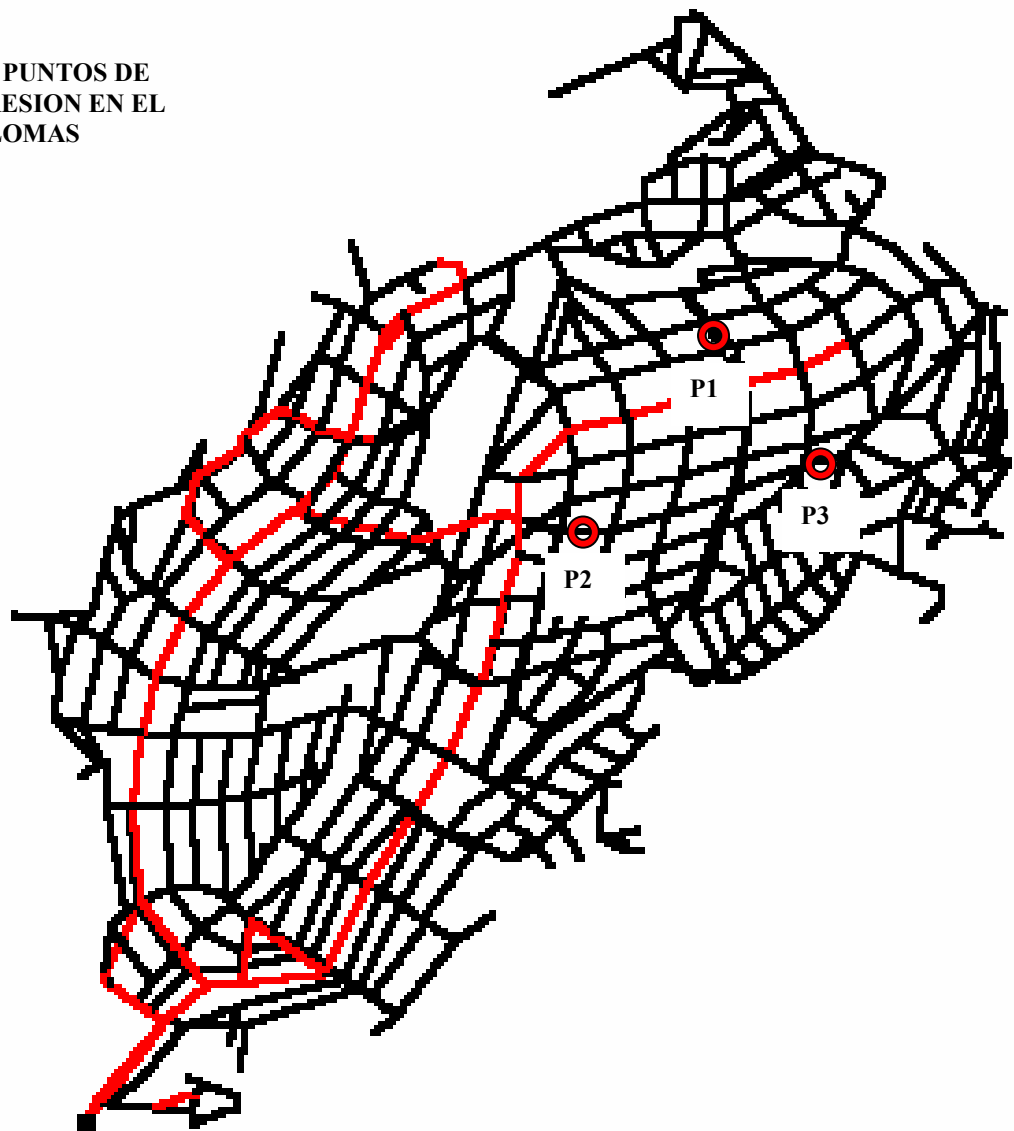
El sector Lomas de Chapultepec tiene una red con desniveles como los que se muestran en la figura siguiente:

ELEVACIONES EN EL SECTOR



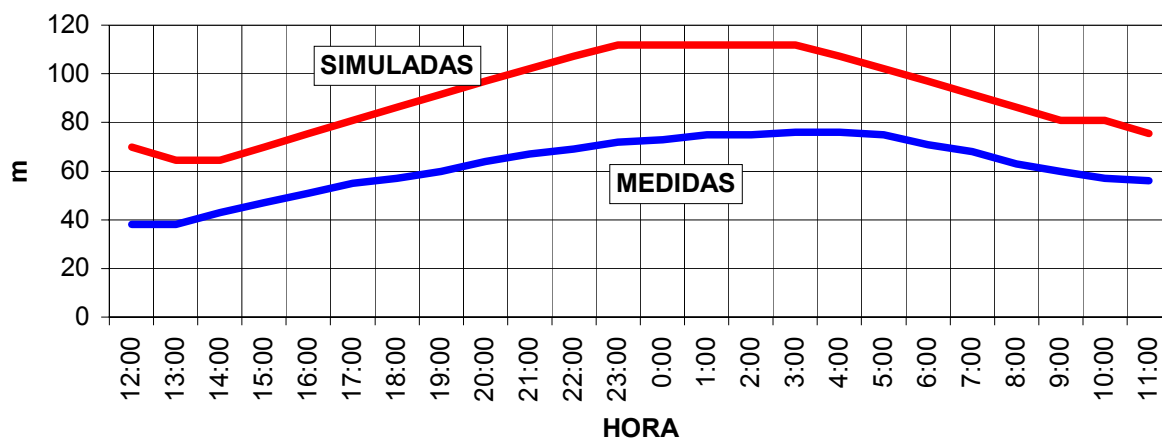
En este sector no fue posible hacer medición de gastos pero se instalaron medidores continuos de presión en tres punto como muestra la siguiente figura:

UBICACIÓN DE PUNTOS DE CONTROL DE PRESION EN EL SECTOR LOMAS

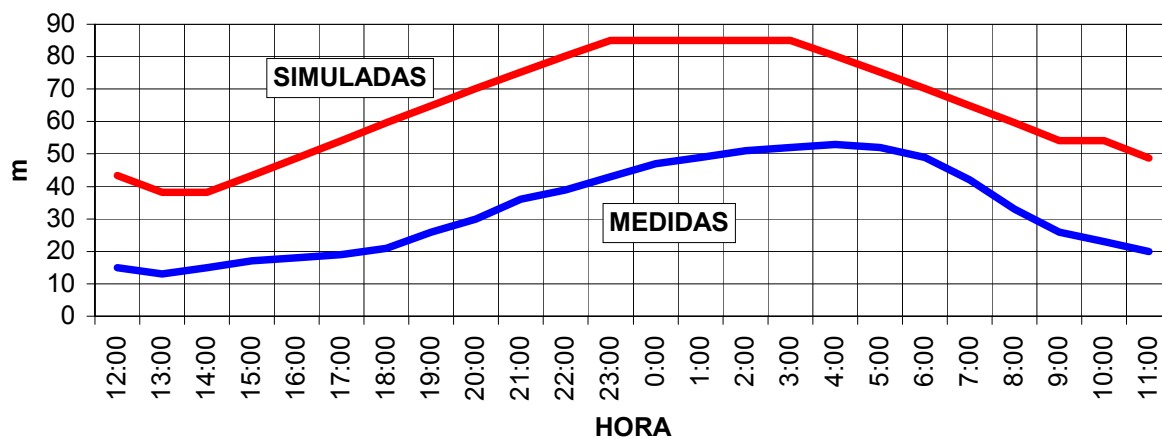


La comparación entre las presiones medidas y las resultantes de la simulación del sector muestran diferencias importantes tanto en el valor de las presiones como en la variación horaria, como muestran las figuras siguientes:

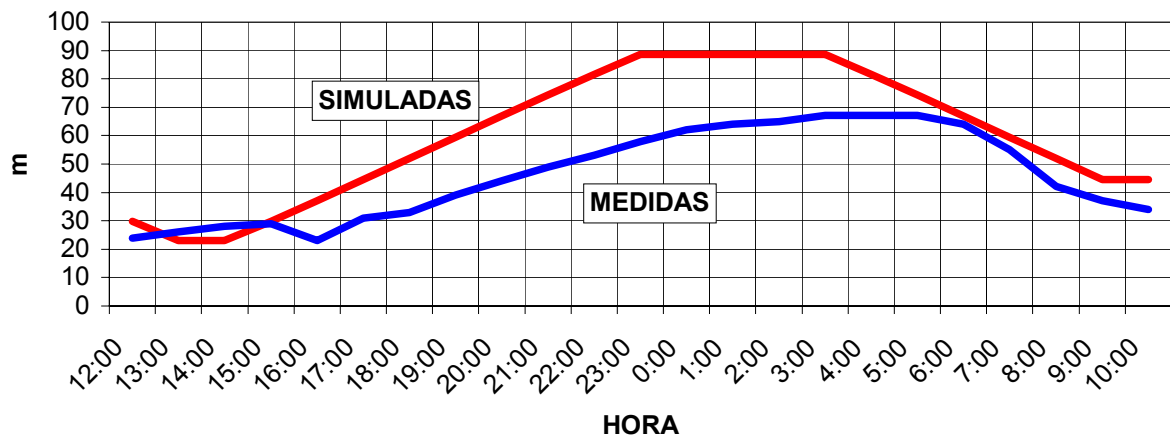
PRESIONES EN P1



PRESIONES EN P2

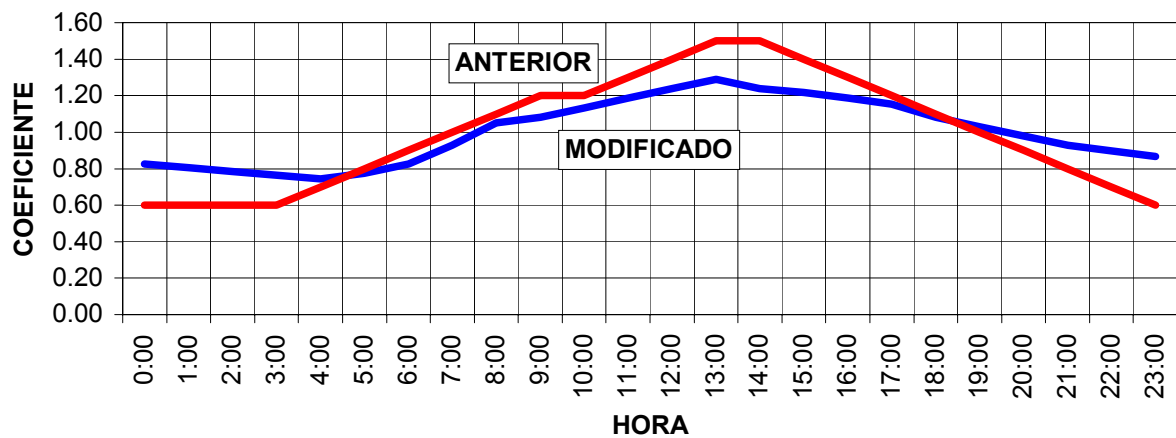


PRESIONES EN P3



Con los resultados de estas mediciones se modifico el patrón horario de variación de consumos de la siguiente manera:

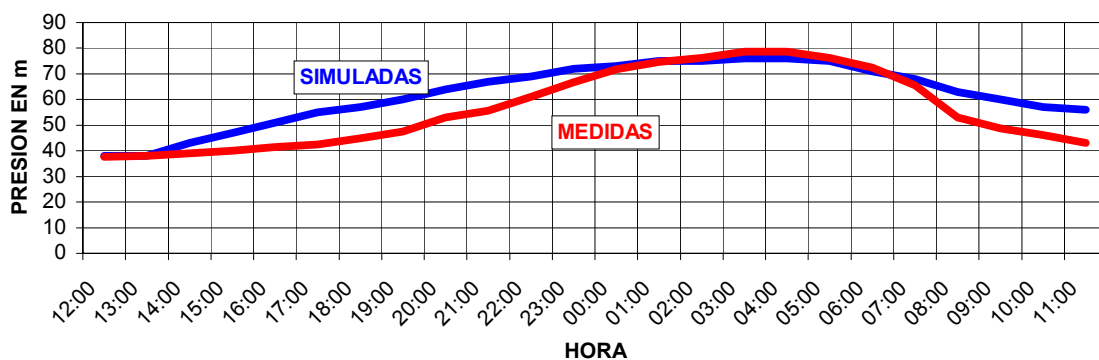
PATRONES DE CONSUMO



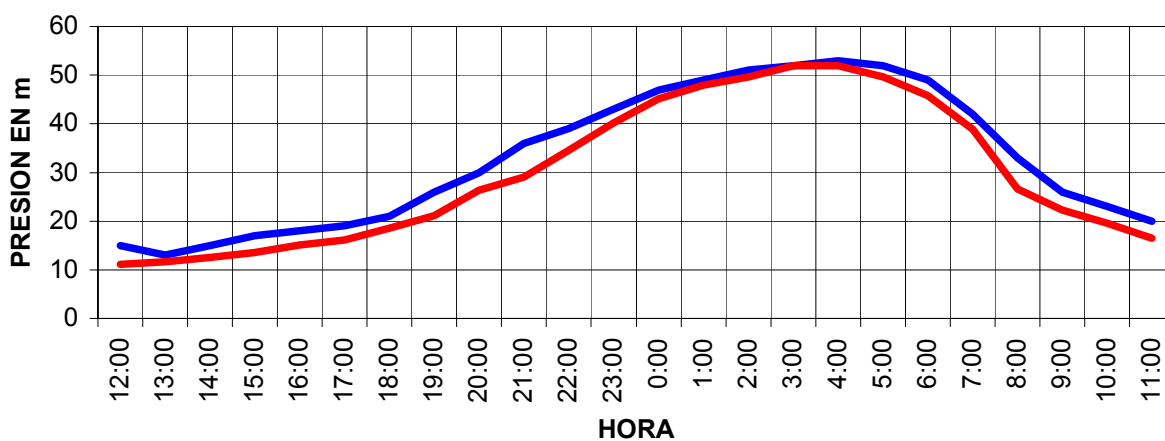
Adicionalmente se supuso que una de las válvulas “calibradas” estaría más cerrada.

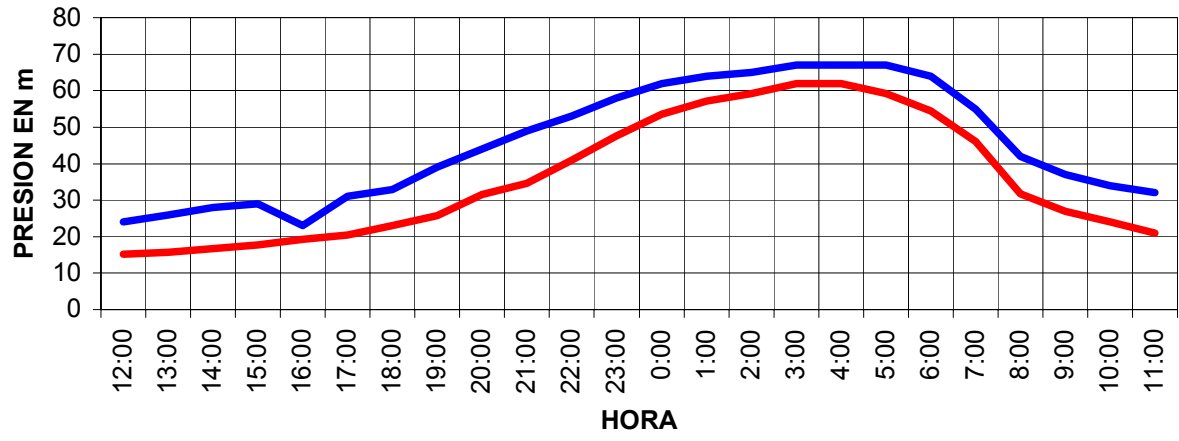
Con estas consideraciones se simuló nuevamente la red y las presiones resultantes se comparan en las siguientes gráficas con las medidas en los tres puntos señalados:

PRESIONES CALIBRADAS EN P1



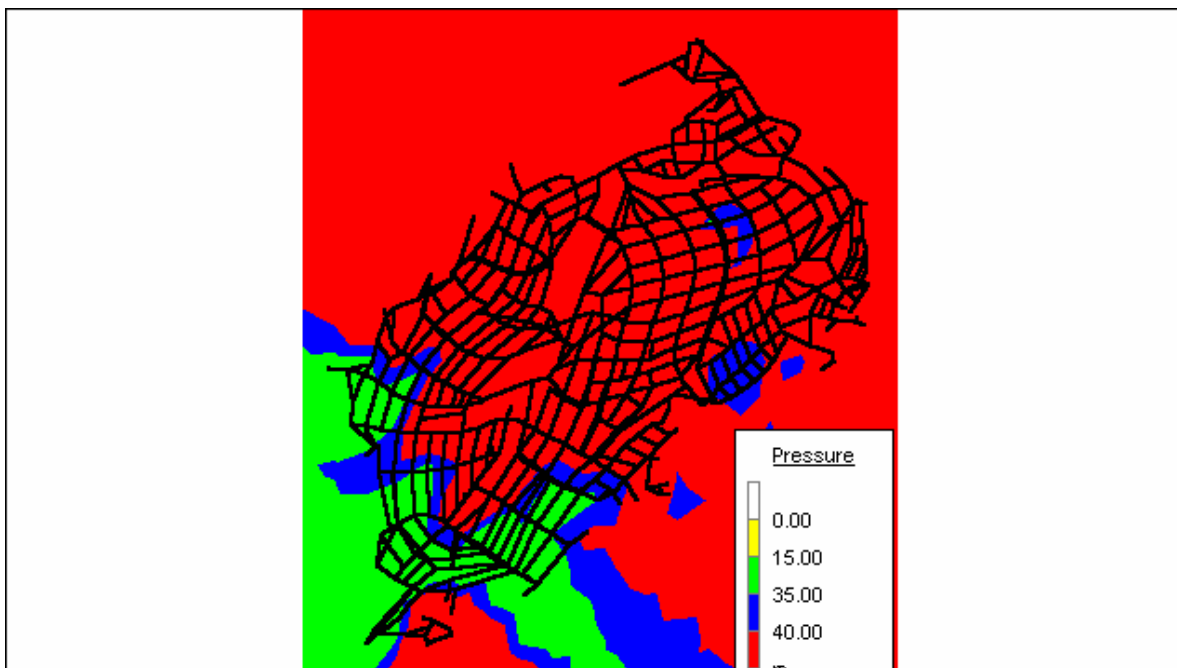
PRESIONES CALIBRADAS EN P2



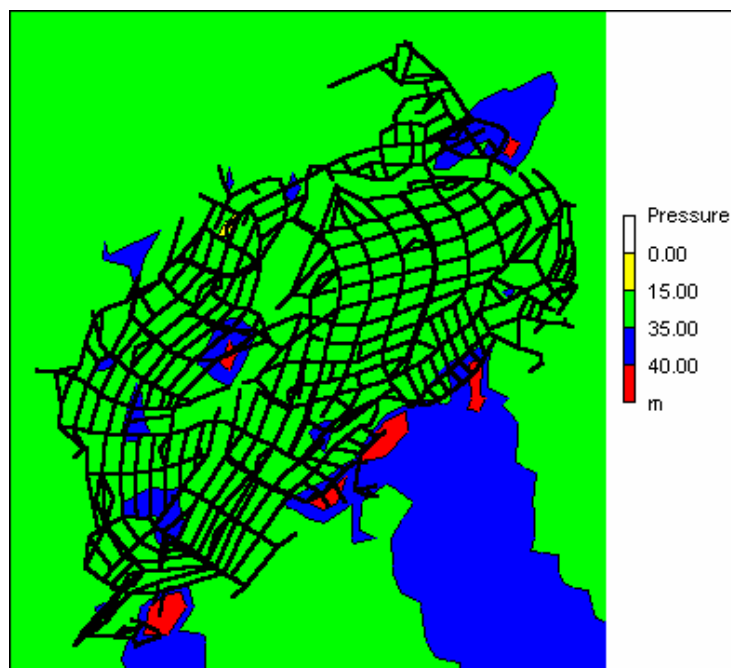
PRESIONES CALIBRADAS EN P3

En estas condiciones de simulación, el cálculo de presiones y de demandas y fugas antes y después del control de presiones con VRP se muestra en las siguientes gráficas.

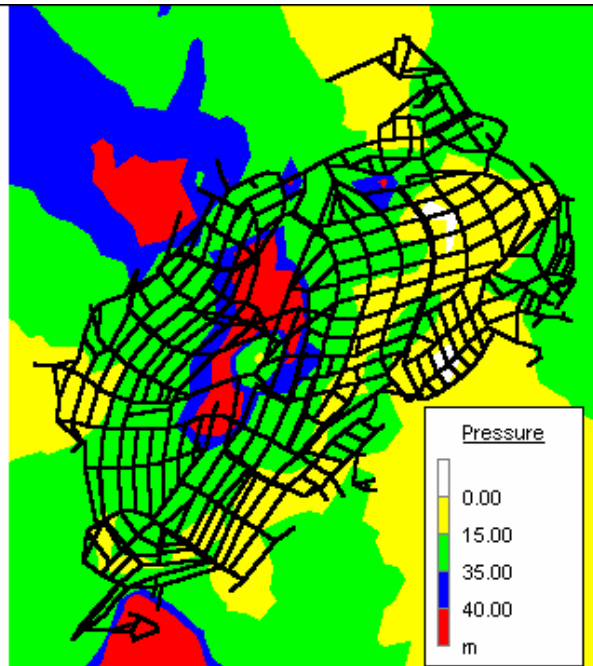
PRESIONES MAXIMAS SIN CONTROL DE PRESIONES



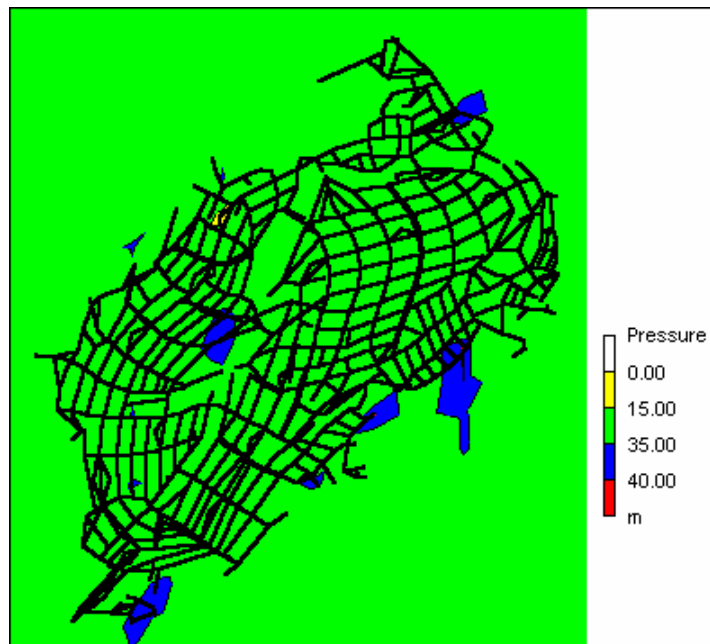
PRESIONES MAXIMAS CON CONTROL DE PRESIONES



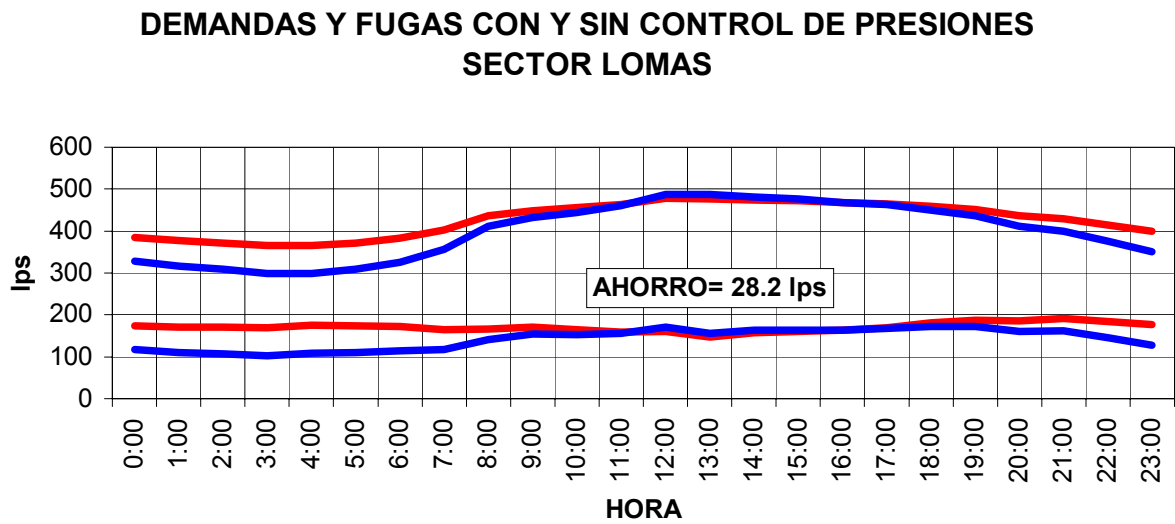
PRESIONES MINIMAS SIN CONTROL DE PRESIONES



PRESIONES MINIMAS CON CONTROL DE PRESIONES



Y la comparación de demandas y fugas y el ahorro estimado se muestran en la siguiente figura:



CONTROL DE PRESIONES Y REDUCCIÓN DE FUGAS EN EL SECTOR STA. LUCIA 1

INFORME DE LOS RESULTADOS ALCANZADOS

JUNIO 2002

INDICE

RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CONTROL DE PRESIONES.....	PAG 3
FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS.....	25
ZONIFICACION DEL SECTOR.....	29
CONSIDERACIONES ECONOMICAS.....	31
RECOMENDACIONES ADICIONALES.....	32

.

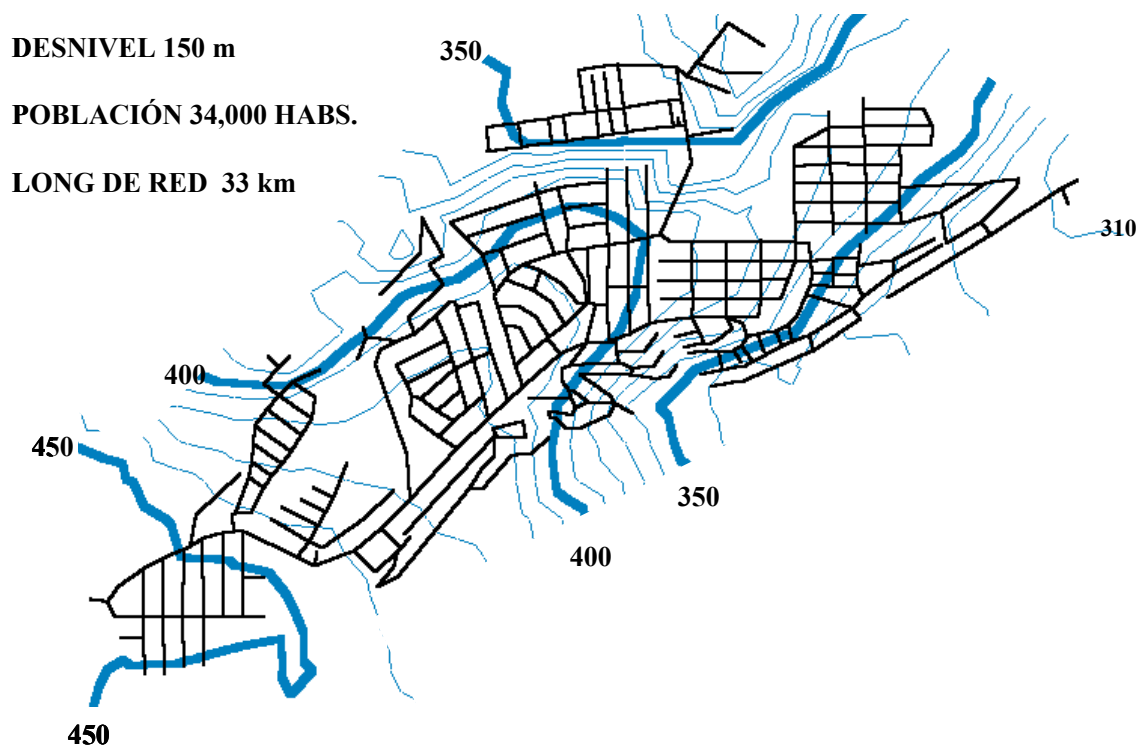
RESULTADOS OBTENIDOS CON EL CONTROL DE PRESIONES

El sector Sta. Lucía 1 es uno de los sectores del poniente del DF en los que se están instalando válvulas reguladoras de presión (VRP) para evitar presiones nocturnas altas y así reducir las fugas. Este es el primer sector que ha quedado terminado y donde se ha podido medir el efecto logrado en la reducción de fugas por ese control de presiones.

La figura 1 muestra un plano de la red de distribución de agua del sector con curvas de nivel cada 10 m lo que permite ver el desnivel del sector de hasta 150 m, lo que provocaba presiones nocturnas por encima de los 100 m de carga hidráulica en una buena parte de la red.

FIGURA 1

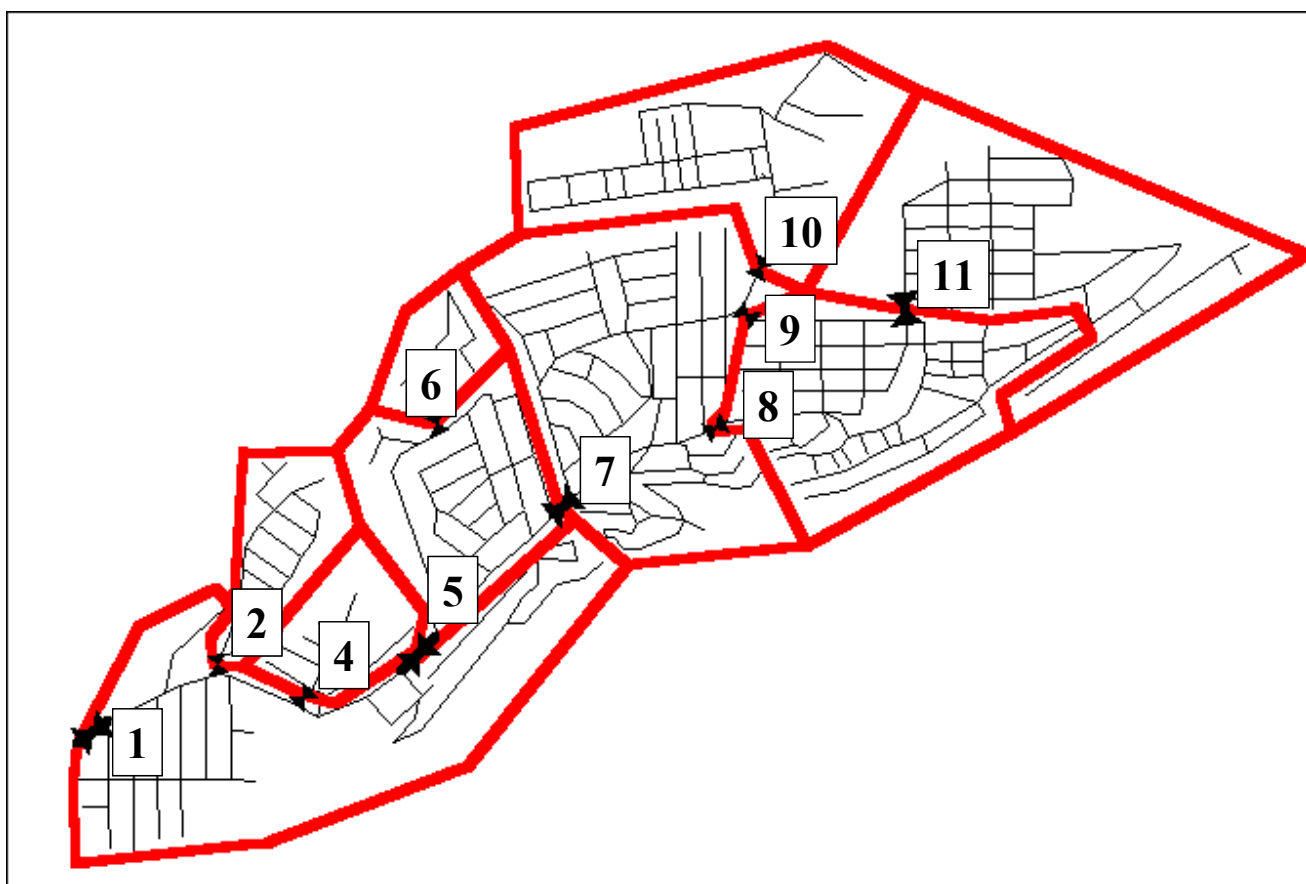
RED DE STA LUCIA 1 Y CURVAS DE NIVEL CADA 10 m



La siguiente figura 2 muestra los lugares de instalación de las VRP y los 9 sectores de presión que controlan. Las válvulas 8 y 9 están en paralelo y controlan el mismo sector. La válvula 3 no existe pues correspondía en el proyecto a una tubería señalada en los planos que resultó inexistente.

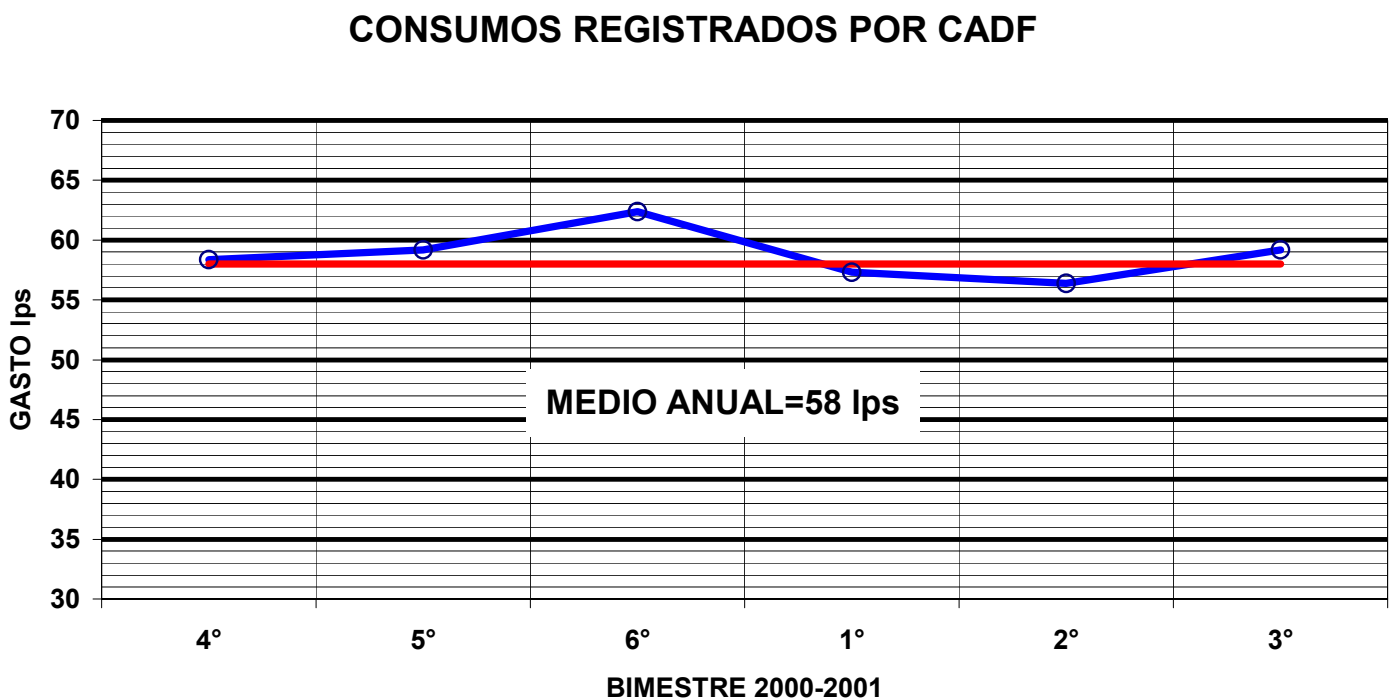
FIGURA 2

VALVULAS REGULADORAS DE PRESION Y ZONAS CONTROLADAS



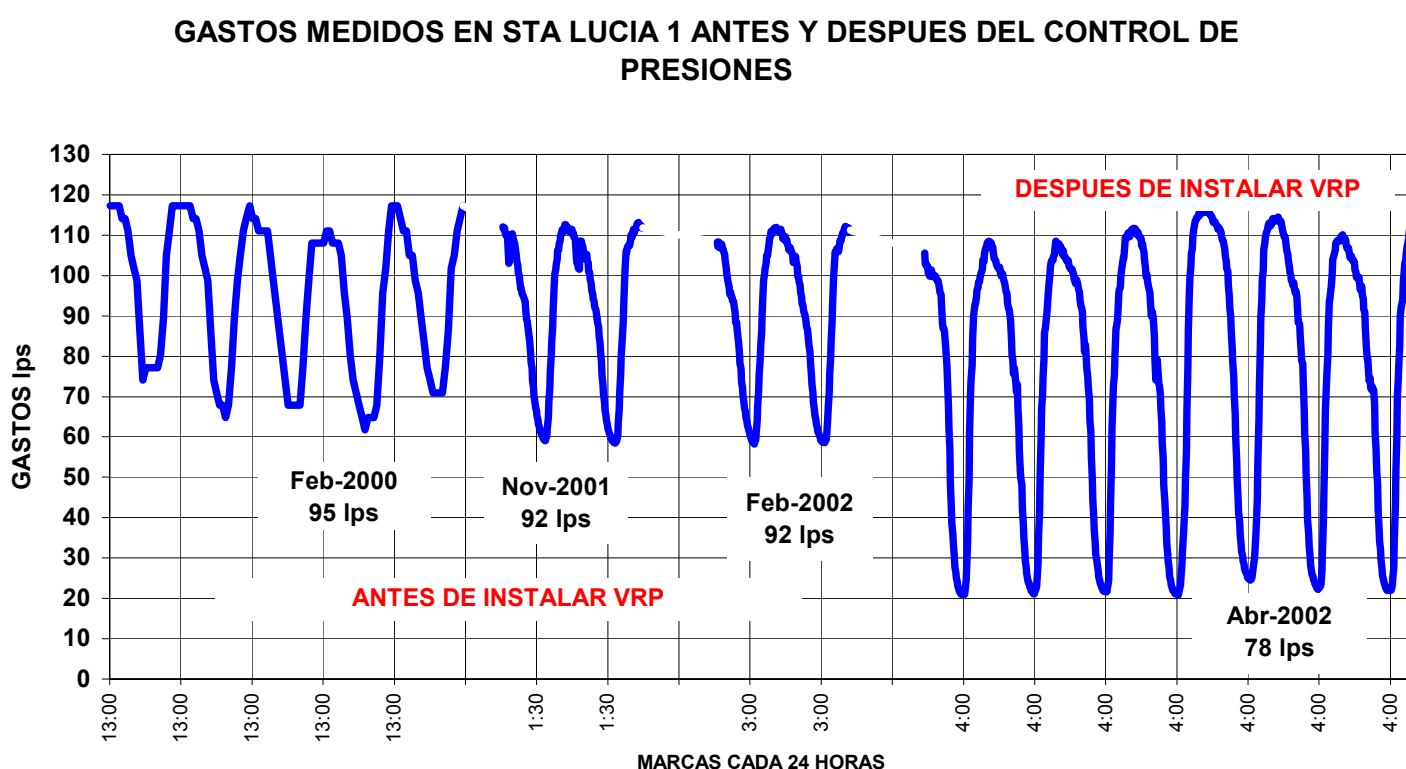
La figura 3 que sigue muestra los consumos bimestrales que la CADF ha medido en este sector entre 2000 y 2001. Se observa un consumo mayor en el 6° bimestre cuya razón no es clara. Para efectos de las estimaciones que siguen se considera un consumo de 60 lps.

FIGURA 3



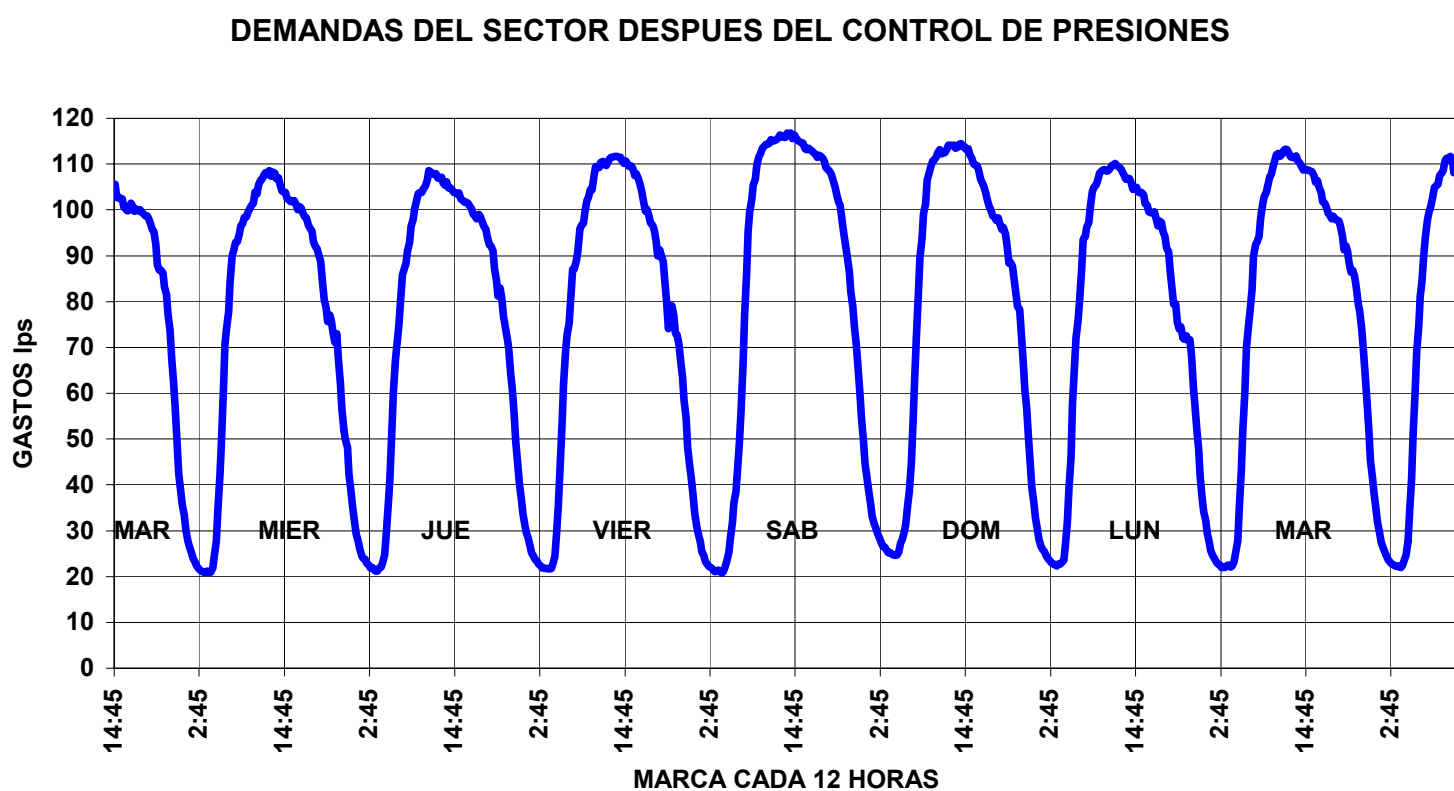
Se hicieron mediciones del gasto de entrada al sector en febrero del año 2000, posteriormente hubo una sustitución de red en la zona que corresponde a la VRP 10 y se midieron nuevamente los gastos de entrada en noviembre del 2001 y en febrero del 2002. Durante el mes de marzo se pusieron a operar las válvulas reguladoras y se midieron nuevamente los gastos en abril del 2002. La figura 4 muestra los resultados de estas mediciones y puede verse que el gasto se reduce de 92 lps a 78 lps, para una diferencia de 14 lps atribuible a la reducción de fugas al reducirse las presiones. Lo más notable es la reducción de 59 lps a 21 lps del gasto mínimo nocturno que corresponde a las horas de mayor reducción de presiones y por lo tanto de mayor ahorro de fugas.

FIGURA 4



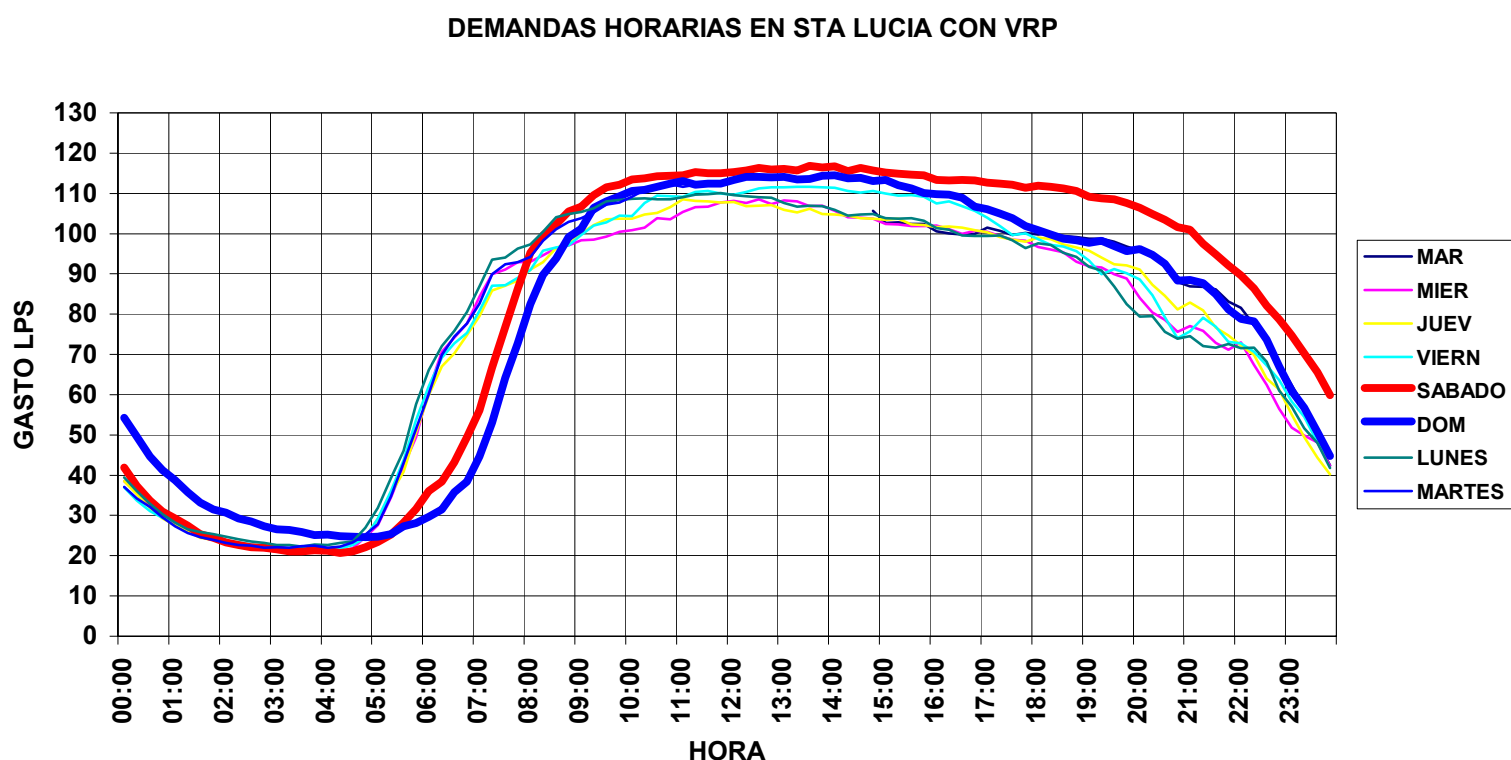
En la figura 5 se muestra una ampliación de las mediciones del 9 al 17 de abril 2002. En ella puede verse la repetición del ciclo diario de demandas.

FIGURA 5



En la figura 6 se sobreponen los gastos para cada día y se aprecia la repetición casi idéntica de los gastos nocturnos desde las doce de la noche y del aumento de demanda hasta las siete de la mañana, después hay pequeñas variaciones a lo largo del día entre uno y otro día de la semana. Las excepciones son el sábado y el domingo; la noche del viernes al sábado es igual a las del resto de la semana pero el consumo aumenta el sábado una hora más tarde y es mayor a lo largo del día por lo que la noche del sábado al domingo el gasto no llega, por pequeña diferencia, al mínimo del resto de los días, seguramente porque los tanques se vaciaron más el sábado y no se llegan a llenar del todo la noche siguiente. El domingo, la demanda crece todavía una media hora más tarde que el sábado pero el consumo durante el día es menor que el del sábado y parecido al del resto de la semana con lo que la noche del domingo al lunes se empieza a repetir nuevamente el ciclo.

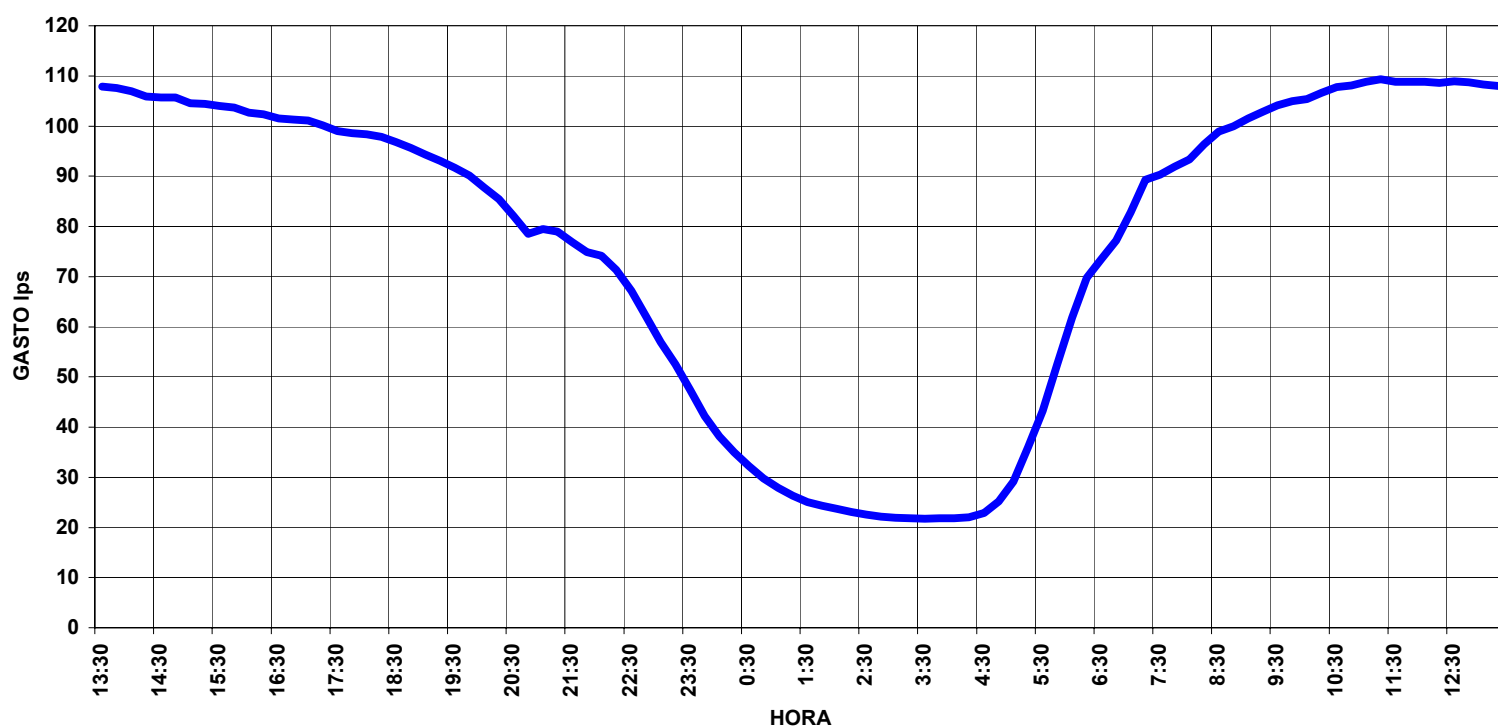
FIGURA 6



La figura 7 muestra el promedio para las 24 horas y en ella puede verse que por la noche se alcanza un gasto mínimo de 21 lps sensiblemente constante durante más de una hora por lo que es de esperar que este gasto mínimo nocturno corresponda prácticamente al gasto nocturno de fugas. Se puede ver que el consumo de agua empieza tan temprano como las 4:30 de la mañana, sube bruscamente hasta las 7:30 y luego más lentamente hasta las 11:30. A partir de las 12:30 empieza a disminuir lentamente y más rápidamente a partir de las seis de la tarde, con una interrupción en la bajada entre las 8:45 y las 10:15 de la noche debido a los consumos de agua antes de la hora de acostarse. Hay que tener presente que la gráfica representa la demanda de los tinacos a la red y que estos amortiguan las variaciones de consumo de agua directo en los domicilios.

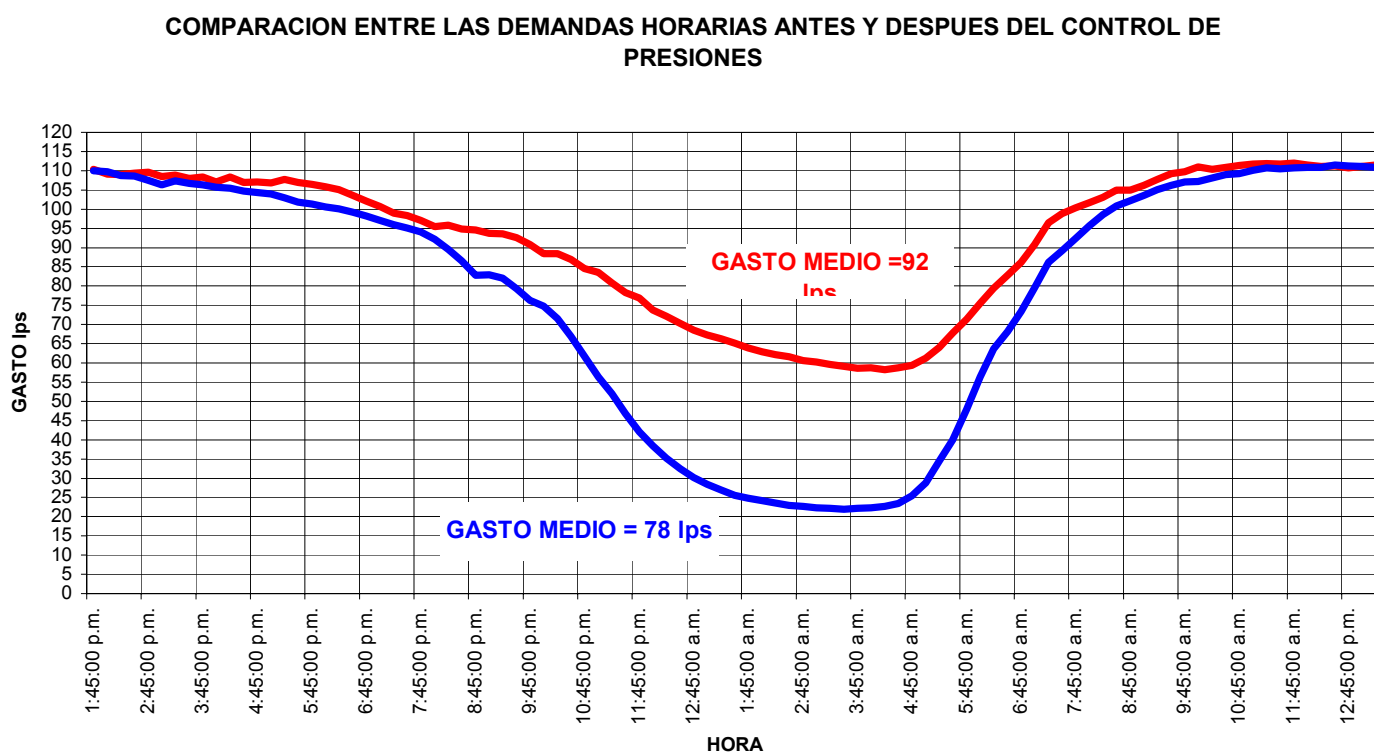
FIGURA 7

DEMANDA HORARIA MEDIA DESPUES DEL CONTROL DE PRESIONES



En la figura 8 se compara la curva anterior con la medida antes del control de presiones, dibujada en color rojo. Se puede ver la disminución más lenta de la demanda de esta línea roja debido a que al disminuir el consumo aumentan las presiones y por lo tanto las fugas.

FIGURA 8



En la tabla de la figura 9 se muestran las demandas, los consumos y la estimación de fugas antes y después del control de presiones. Las fugas se reducen del 35% al 23% respecto al suministro.

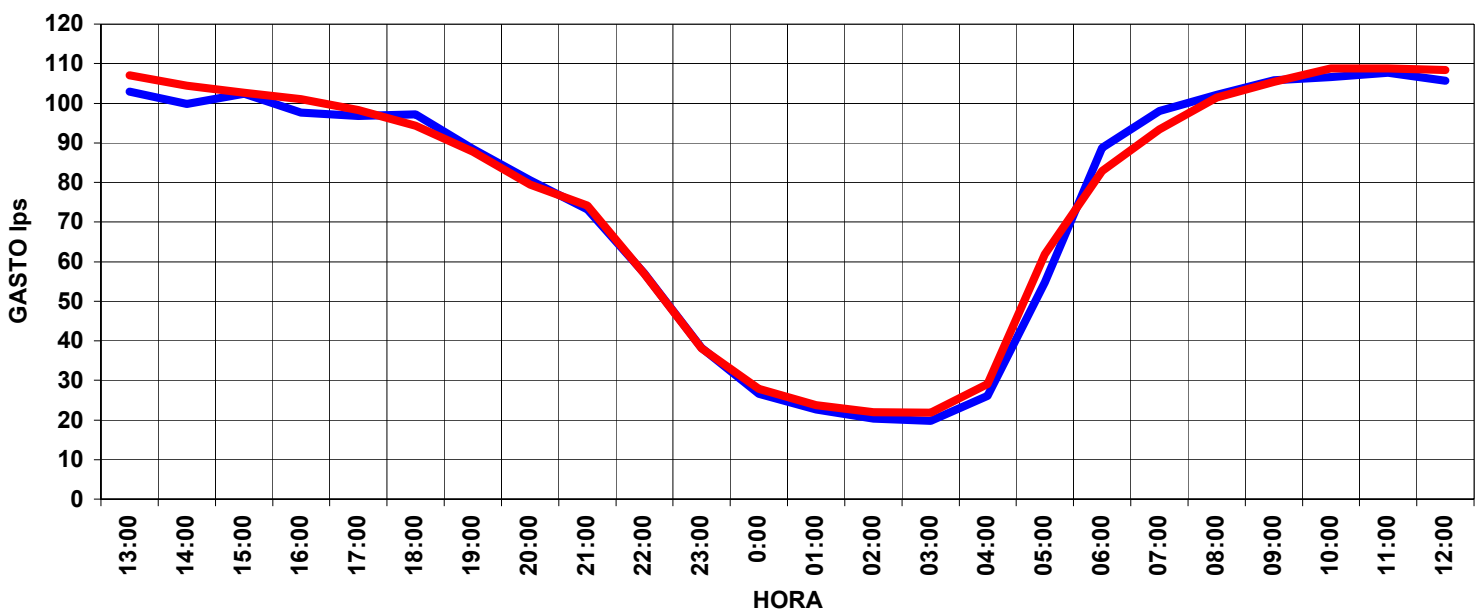
FIGURA 9

	DEMAND A lps	CONSUM O lps	FUGAS lps	FUGA S %	FUGAS lps/km
ANTES DE VRP	92	60	32	35%	0.97
DESPUES DE VRP	78	60	18	23%	0.55

Con el modelo de simulación se calculó el gasto de entrada ajustando la variación horaria del consumo, calculada por diferencia entre la demanda medida y las fugas consideradas constantes de 18 lps a lo largo del día y ajustando los datos de consumo y el diámetro de los tubos que simulan las fugas para tener gastos de 60 lps y 18 lps respectivamente. La figura 10 muestra el resultado de la simulación con la demanda medida lo que confirma la validez de suponer que las fugas son prácticamente constantes, dado el parecido de las dos curvas, y que las hipótesis sobre los coeficientes de pérdida de fricción son aceptables.

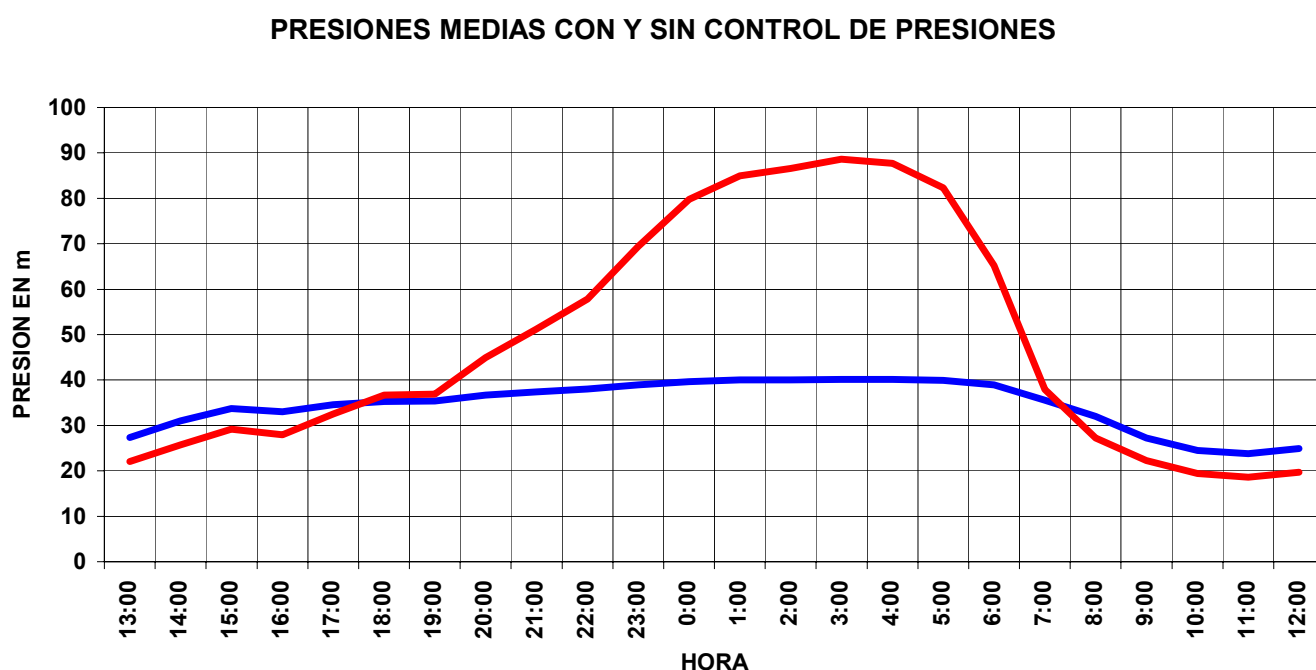
FIGURA 10

GASTOS MEDIDOS Y SIMULADOS EN LA ENTRADA AL SECTOR



De esta simulación se obtuvieron las presiones medias de la red a lo largo del día, que se muestran en la figura 11, con y sin control de presiones

FIGURA 11



En esta figura 11 se observa que las presiones son prácticamente iguales durante el día en ambos casos gracias a la práctica de los operadores de cerrar parcialmente válvulas de seccionamiento, que en su jerga llaman “calibradas” y es por la noche cuando al disminuir los gastos y por ende las pérdidas provocadas por estas suben las presiones y por lo tanto las fugas. Esto es lo que las VRP evitan y los ahorros son de las fugas nocturnas. Las presiones nocturnas antes y después del control resultantes del programa de simulación se muestran en las figuras 12 y 13, la diferencia es de alrededor de 100 m en las partes bajas a alrededor de 40 m.

FIGURA 12

ZONAS CON PRESION > 50 m A LAS 4:00 AM SIN VRP

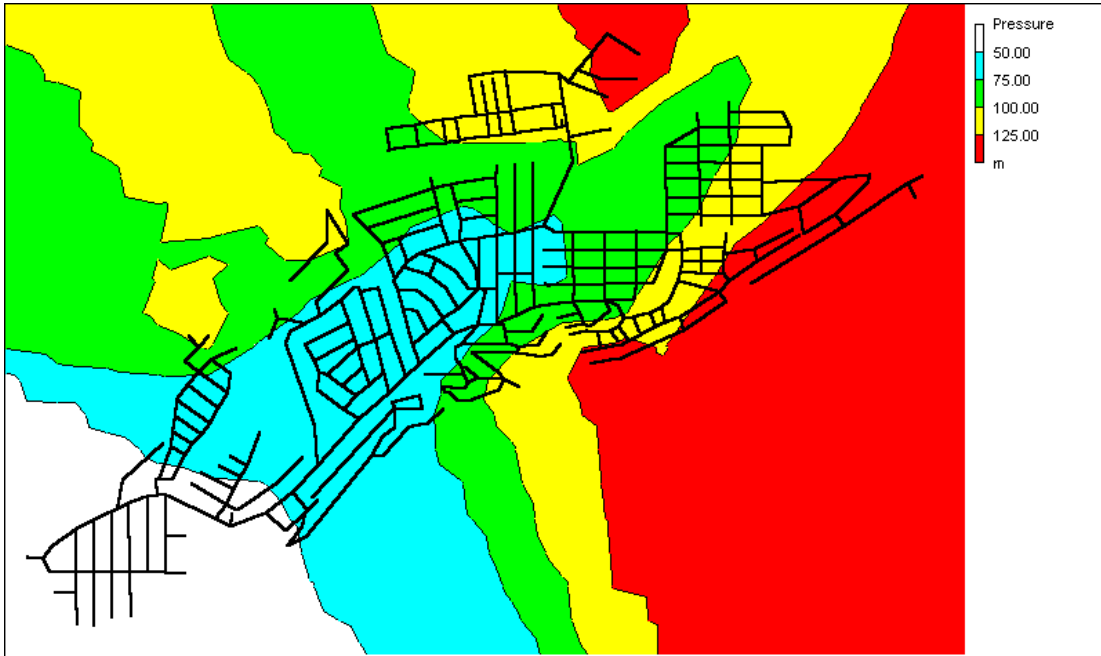
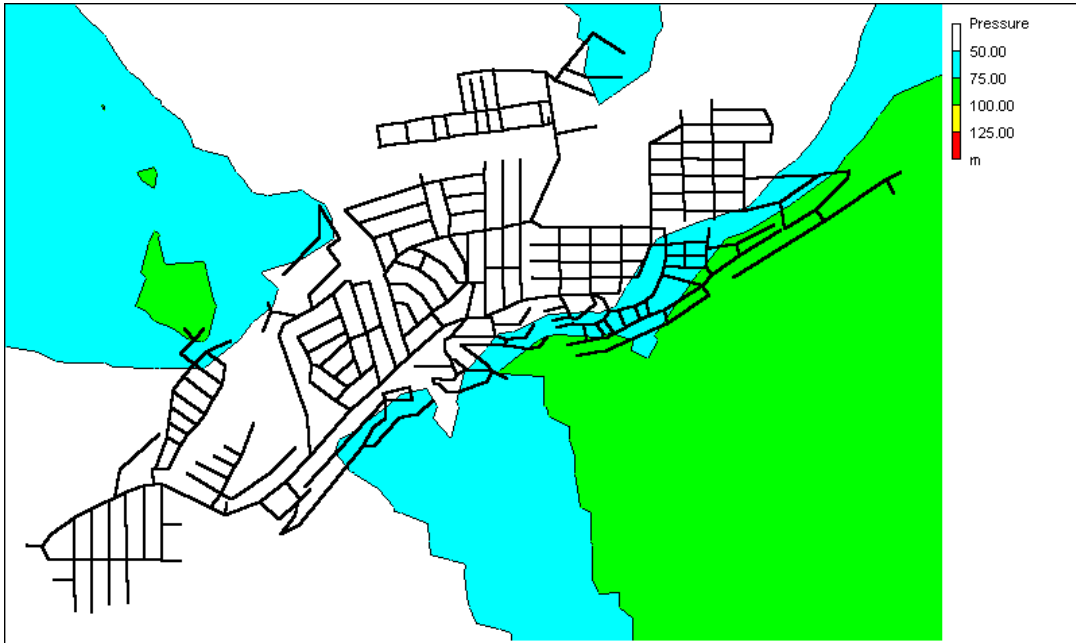


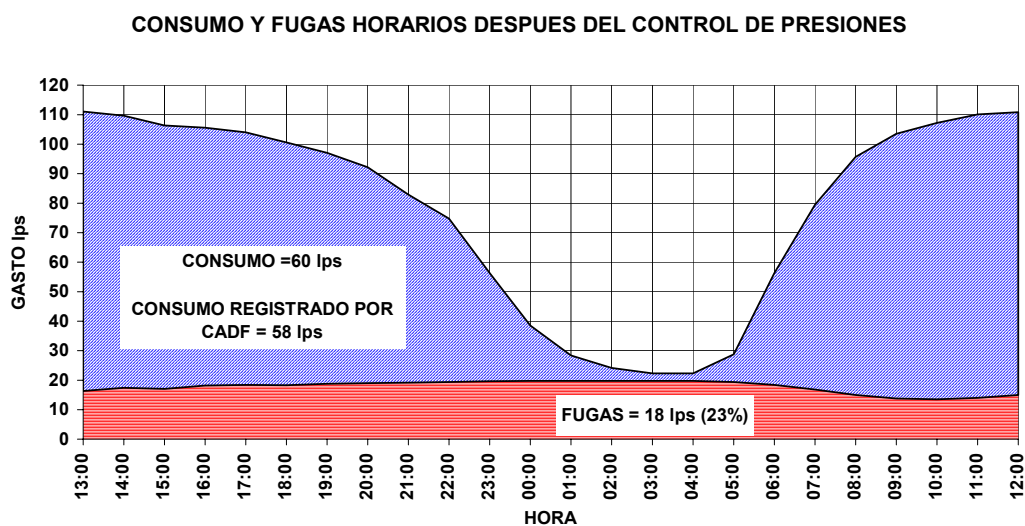
FIGURA 13

ZONAS CON PRESION >50 m A LAS 4:00 AM CON VRP



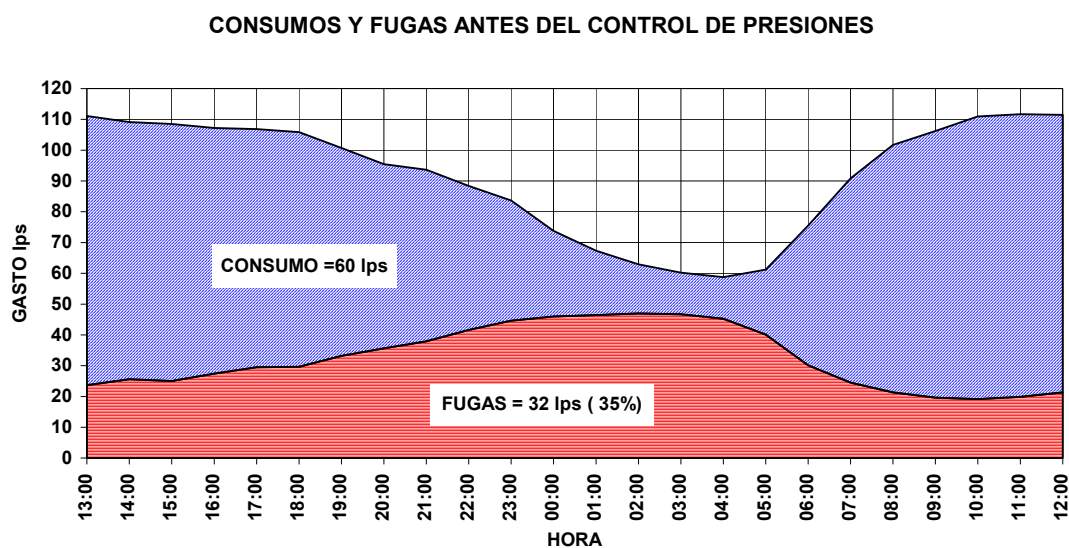
Al ajustar el modelo de simulación para las presiones controladas con los datos medidos, se puede calcular la variación horaria de las fugas como se muestra en la figura 14 y se confirma que la variación de las fugas a lo largo del día es pequeña.

FIGURA 14



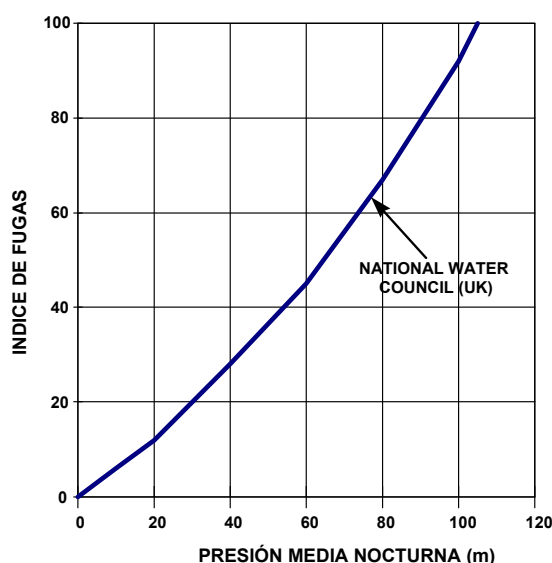
Al hacer la simulación en las condiciones previas al control de presiones, fue necesario suponer áreas de fuga mayores para reproducir las entradas de 92 lps y las fugas de 32 lps. El resultado se muestra en la figura 15

FIGURA 15



Sin embargo, además de la necesidad de aumentar el área de fugas, se observan algunas incongruencias. Las fugas durante el día son mayores sin el control de presiones que con él, lo que no corresponde a la realidad en la medida que las presiones son casi iguales en los dos casos. Además, el gasto máximo de fugas sin el control de presiones es notablemente inferior al mínimo medido en la demanda cuando es de suponer que este gasto mínimo corresponde fundamentalmente a las fugas nocturnas. La realidad debe ser que las fugas durante el día sean menores que lo que resulta de la simulación y que han de ser mayores durante la noche para sumar el total de 32 lps resultante de las mediciones para eliminar las incongruencias dichas. Todo lo anterior lleva a la conclusión de que las fugas no son proporcionales a la raíz cuadrada de las cargas hidráulicas, $Q_{fugas} = K\sqrt{H}$, como supone el modelo sino que debe ser función de una potencia mayor de H. Esto corresponde a lo que sugiere la gráfica publicada por el National Water Council del Reino Unido sobre la relación entre presiones nocturnas e índice de fugas, que se muestra en la figura 16, así como las experiencias comentadas por la empresa que estaba haciendo trabajos semejantes en São Paulo, Brasil y con lo que se anotaba en el informe del proyecto sobre que los ahorros reales deberían ser mayores que los estimados, pues las presiones mayores no sólo provocan velocidades mayores en los agujeros de la red sino que aumentan también el área de las fugas, cuando ocurren en elementos flexibles como tubos de plásticos, juntas flojas o mal selladas, etc. Esta es la razón por la que los ahorros obtenidos son de 14 lps contra los 13 lps estimados, a pesar de que las presiones de control se fijaron entre 20 y 30

RELACIÓN ENTRE PRESIÓN Y FUGAS



m para alcanzar los tinacos más altos de la zona, en lugar de los 10 m supuestos en el proyecto.

FIGURA 16

Se puede tener una estimación, para este caso, de la relación entre cargas hidráulicas y gastos de fugas con las siguientes consideraciones:

- Los gastos mínimos corresponden a los gastos nocturnos máximos de las fugas de 21 lps y 59 lps respectivamente para las presiones controladas y para las no controladas.
- Las presiones máximas nocturnas son de 40m y de 100m respectivamente.

Tendríamos así la siguiente relación, en donde SCP significa “sin control de presiones” y CCP con control:

$$\frac{Q_{\text{fugasSCP}}}{Q_{\text{fugasCCP}}} = \frac{K^* H_{\text{SCP}}^X}{K^* H_{\text{CCP}}^X}$$

$$\frac{Q_{\text{fugasSCP}}}{Q_{\text{fugasCCP}}} = \left(\frac{H_{\text{SCP}}}{H_{\text{CCP}}} \right)^X$$

$$\frac{21}{59} = \left(\frac{40}{100} \right)^X$$

$$0.356 = 0.4^X$$

$$X = \frac{\log 0.356 - 0.449}{\log 0.4 - 0.398} = 1.13$$

$$K = \frac{Q}{H^X} = \frac{21}{40^{1.13}} = 0.324 \approx \frac{59}{100^{1.13}} = 0.324$$

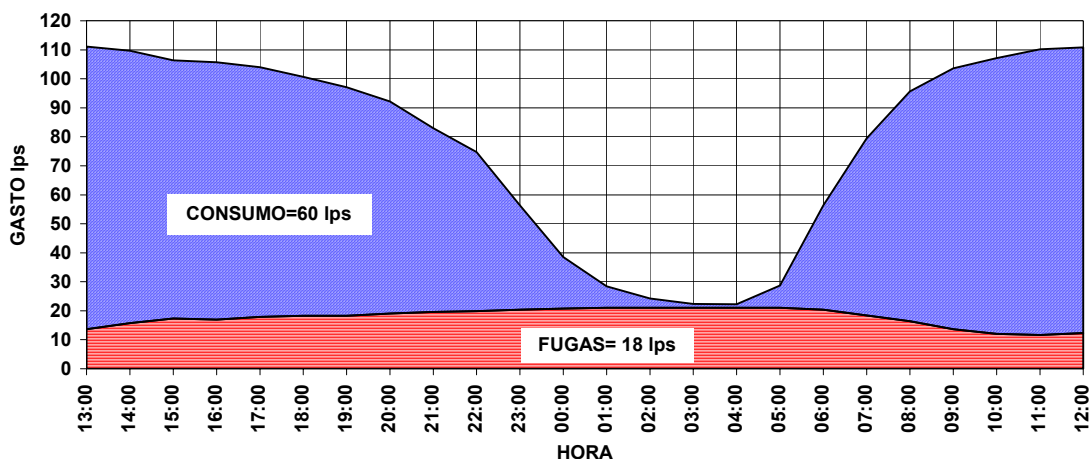
$$Q = 0.324 H^{1.13}$$

Es decir que el gasto de fugas es proporcional a una potencia algo mayor que 1 de la carga hidráulica en lugar de 0.5 como se supuso en el modelo.

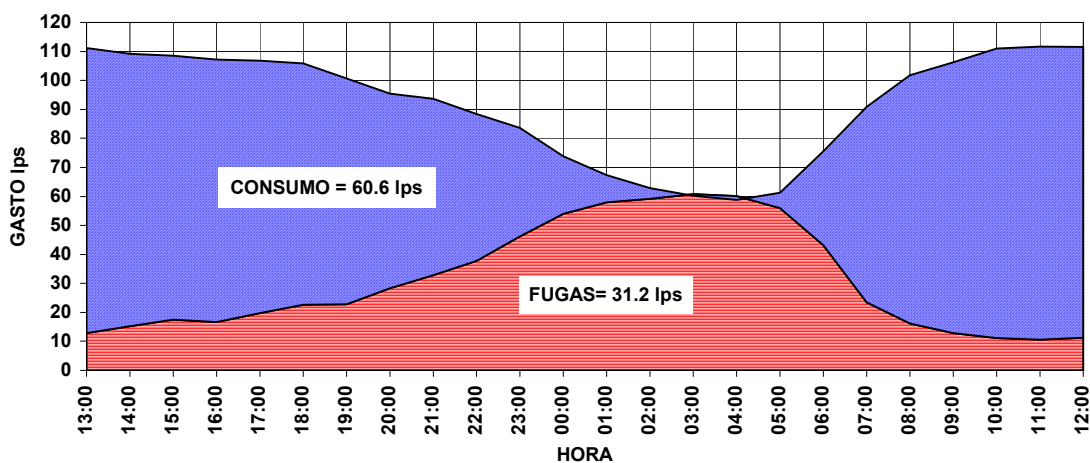
Calculando las fugas de esta manera a partir de las presiones de la figura 11, se obtienen los gastos que se muestran en las figuras 17 y 18, que son congruentes con toda la información disponible.

FIGURA 17

**CONSUMOS Y FUGAS CON CONTROL DE PRESIONES CONSIDERANDO FUGAS
COMO $Q=0.35 \cdot H^{1.13}$**

**FIGURA 18**

**CONSUMOS Y FUGAS SIN CONTROL DE PRESIONES CONSIDERANDO FUGAS
COMO $Q=0.35 \cdot H^{1.13}$**



Lo anterior es de suma relevancia pues indica que es muy importante ajustar las presiones a las mínimas que no creen problemas de suministro, para alcanzar los tinacos cuando no hay bombeo domiciliario o las cisternas cuando si los hay. Este último es el caso más frecuente en la zona plana de la ciudad y abre la expectativa de obtener, con la sectorización y el control de presiones, ahorros significativos, aún antes de las reparaciones de la red, a pesar de las presiones bajas actuales, controlando las presiones nocturnas por debajo de las actuales de unos 12 m.

Después de las mediciones hasta el 19 de abril mostradas antes, se siguió registrando el gasto de entrada al sector y siguió un período de irregularidad por mal funcionamiento de las VRP y por maniobras en la red debido a aparición de fugas que obligaron a cerrar temporalmente las entradas para la reparación. Cuando finalmente se logró estabilizar otra vez el suministro, se registraron los gastos que se muestran en la figura 19 y superpuestos para cada día en la figura 20.

FIGURA 19

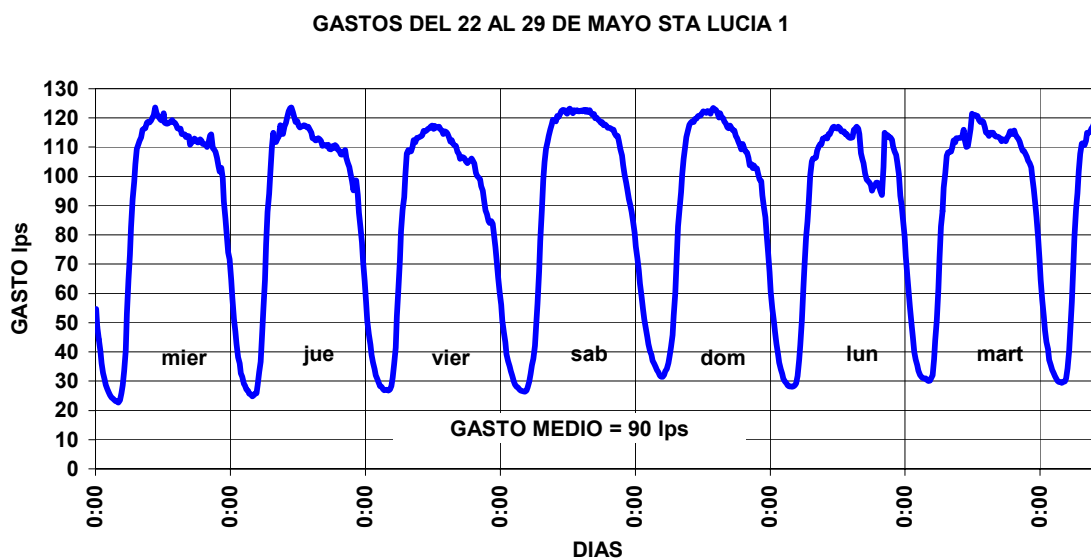
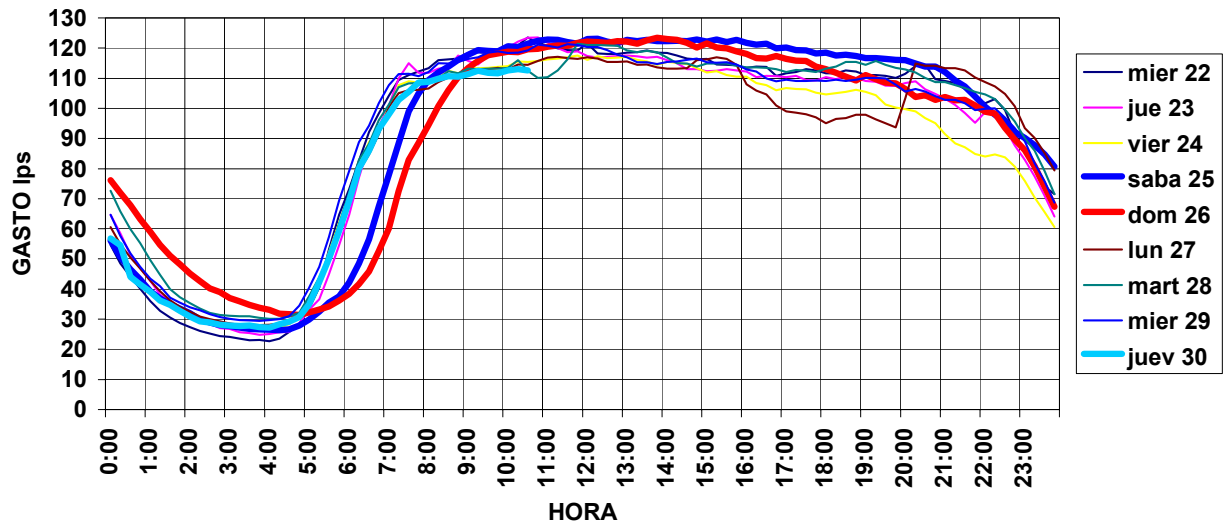
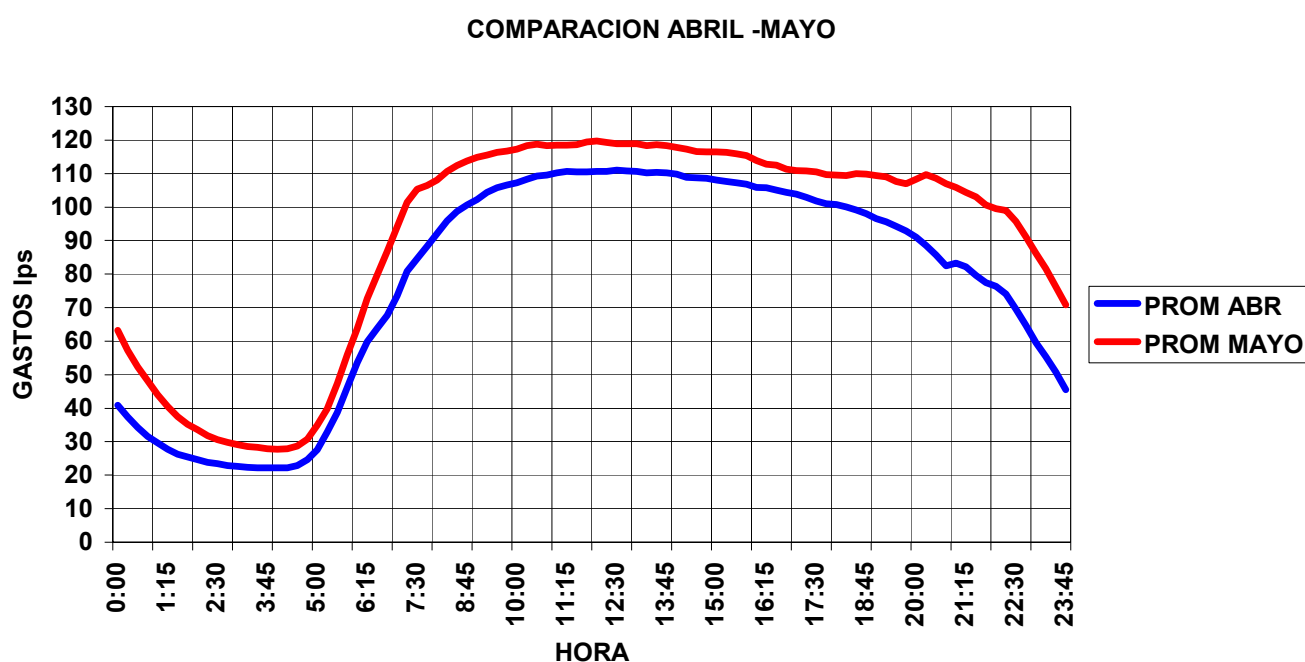


FIGURA 20

GASTOS DE MAYO EN STA LUCIA 1

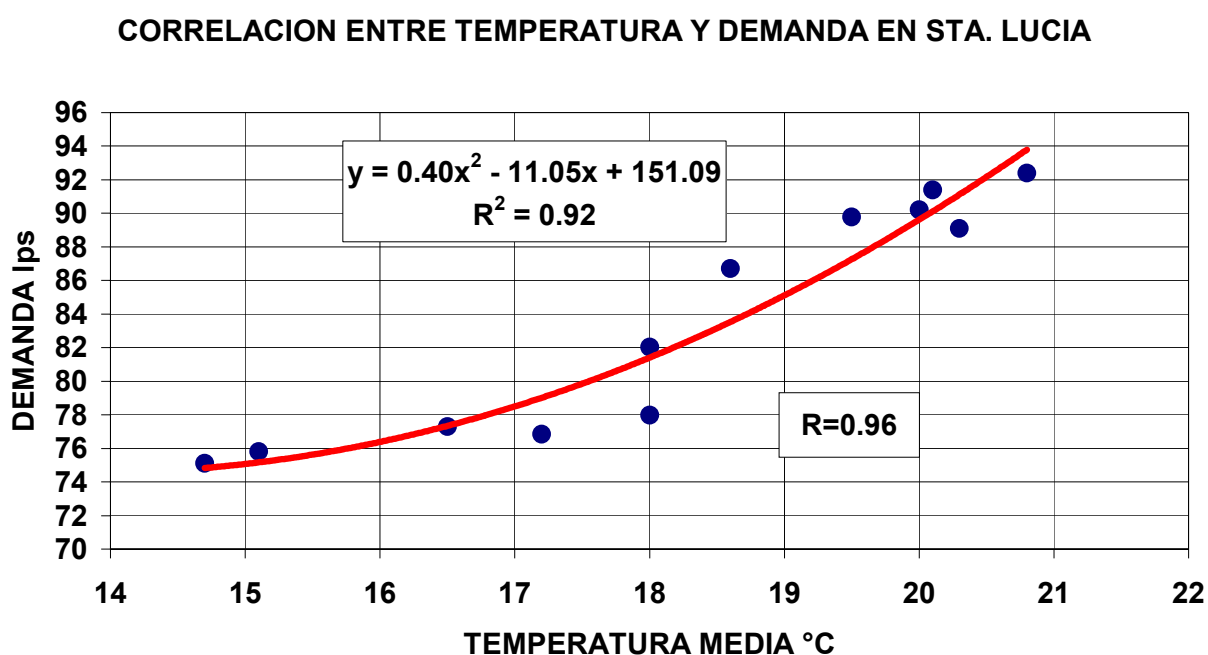
Como se indica en la figura 19, el gasto promedio medido fue de 90 lps, mayor que en abril y casi igual que antes del control de presiones pero se mantiene la reducción de gastos mínimos. La figura 20 muestra el mismo comportamiento que las mediciones de abril en cuanto a la repetición del ciclo diario con las diferencias correspondientes a consumos más tardíos en sábado y domingo, pero los consumos de todos los días de la semana se parecen más al del sábado en vez de ser notablemente menores como en los registros de abril. Las posibles causas que se revisaron para explicar este aumento de demanda fueron, la posible aparición de fugas nuevas, diferencias en la medición por errores en los aparatos y un aumento del consumo que sugiere la figura 21 en la que se comparan los gastos medios de abril con los de mayo; aumenta la demanda de las primeras horas de la mañana y por la tarde entre las 16:00 y las 20:00 horas. La diferencia en los gastos mínimos es atribuible a la precisión de los aparatos ya que para estos gastos las velocidades son solo de 0.20m/seg y para estas velocidades los errores pueden ser del orden del 20%, es decir del orden de 4 lps.

FIGURA 21



Dada la experiencia de los operadores de la red de que en los meses de más calor en la ciudad tienen problemas para satisfacer las demandas a pesar de que el suministro a la ciudad no disminuye notablemente, una explicación plausible es que el consumo sube por efecto de las temperaturas más altas. Con los registros de abril y de mayo se calculó la correlación entre las temperaturas medias diarias y la demanda diaria del sector. La correlación es muy alta, con un coeficiente de correlación de 0.96, como se muestra en la figura 22.

FIGURA 22



Aunque hay razones para considerar que sí hay una relación de causa efecto para esta correlación, era necesario ser prudente para asegurar esta relación de causa efecto en vista de que los gastos menores y mayores corresponden a épocas distintas en las que otras condiciones pudieran haber cambiado y fueron medidos con equipos diferentes. Para asegurar que la causa del aumento de gastos es un mayor consumo por las temperaturas altas era necesario esperar al comienzo de la temporada de lluvias, con la disminución correspondiente de temperaturas, y volver a registrar las demandas.

Estos registros se hicieron del 7 al 15 de junio cuando ya estaban dadas estas condiciones y los resultados se muestran en la figura 23. El gasto medio volvió a ser como en abril de 78 lps. En la figura 24 se muestran los gastos diarios superpuestos donde se observan las mismas características de gastos nocturnos y del principio de la mañana iguales para todos los días con las diferencias correspondientes al fin de semana. Se observan también algunas anomalías de disminución brusca de gasto y aumento brusco posterior que corresponden a cierres temporales de válvulas. Otras anomalías durante la madrugada y la mañana se explican en las figuras posteriores.

FIGURA 23

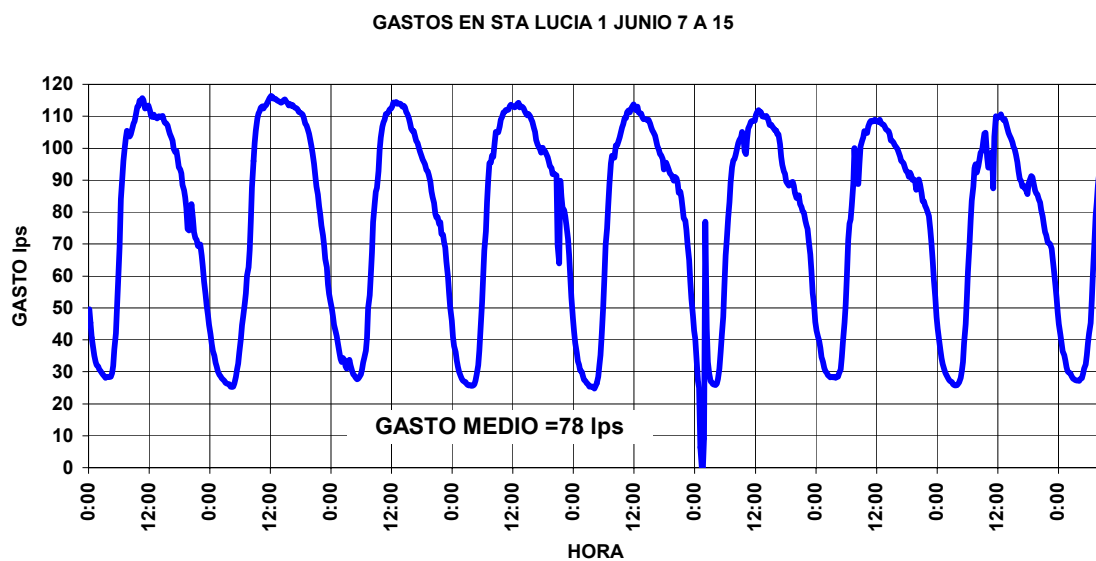


FIGURA 24

Una curiosidad que muestra, además, la sensibilidad de los registros de gasto hechos, es la del efecto de los partidos de futbol del campeonato mundial del 2002 en los que participó el equipo de México. Las figuras 25 y 26 muestran el efecto en el consumo de agua de la transmisión de los partidos por la televisión. En la figura 25 se nota este efecto en la madrugada del domingo 9 de junio y en la figura 26 en la mañana del jueves 13 de junio. Desgraciadamente no se registró la mañana del lunes 17 del juego México-EUA, cuya audiencia probablemente fue mayor, pues los cables que suministraban energía al aparato de medición fueron robados un día antes.

FIGURA 25

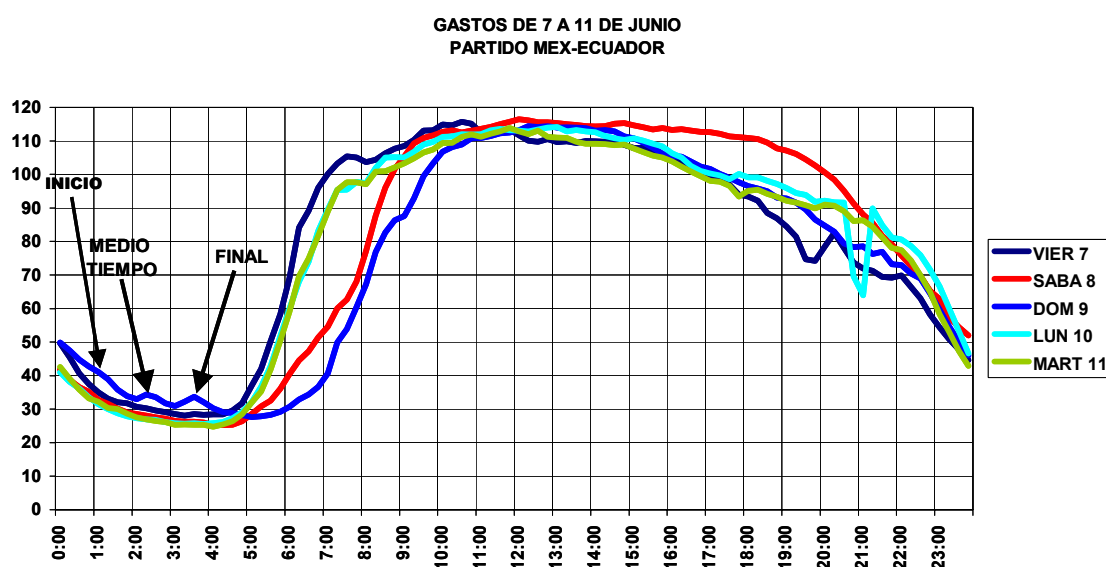
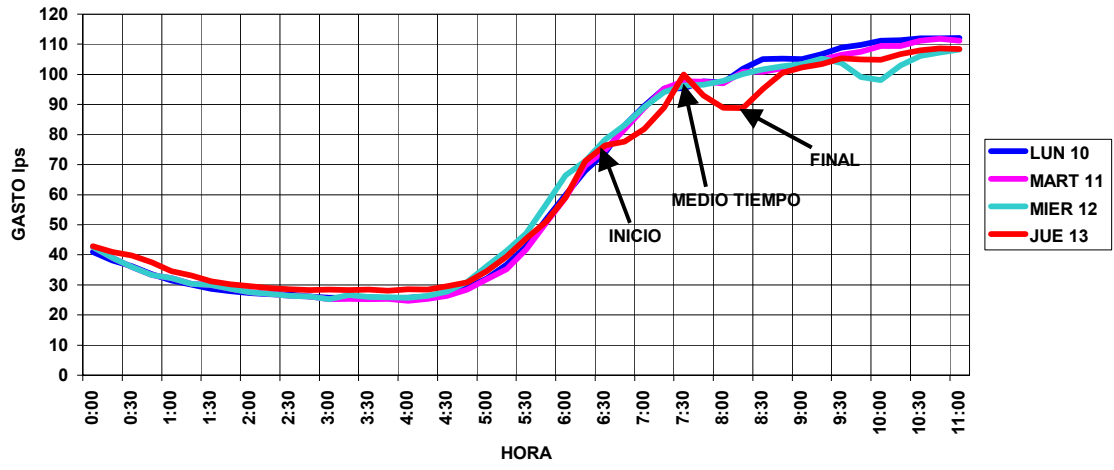


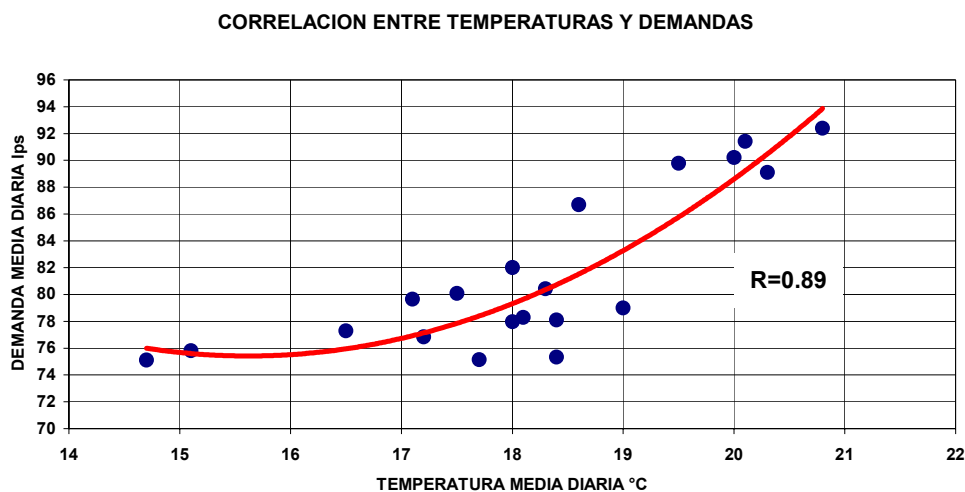
FIGURA 26

**GASTOS STA LUCIA 1.
PARTIDO MEX-ITAL.**



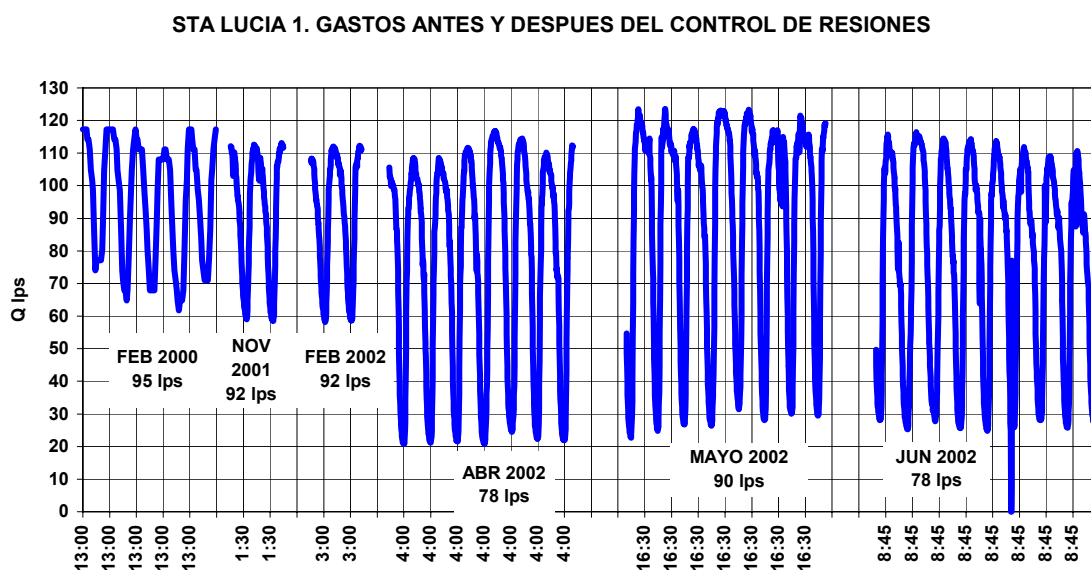
La correlación entre temperaturas y demandas incorporando las mediciones de abril, mayo y junio se muestra en la figura 27. El coeficiente de correlación es alto de 0.89 y ahora se puede asegurar la relación de causa efecto. Considerando que las fugas se mantengan constantes en 18 lps, los consumos varían de 60 lps a 74 lps en los períodos más calurosos de mayo, es decir un 23%. Como las fugas se mantienen constantes, la demanda varía de 78 a 90 lps, es decir un 15%.

FIGURA 27



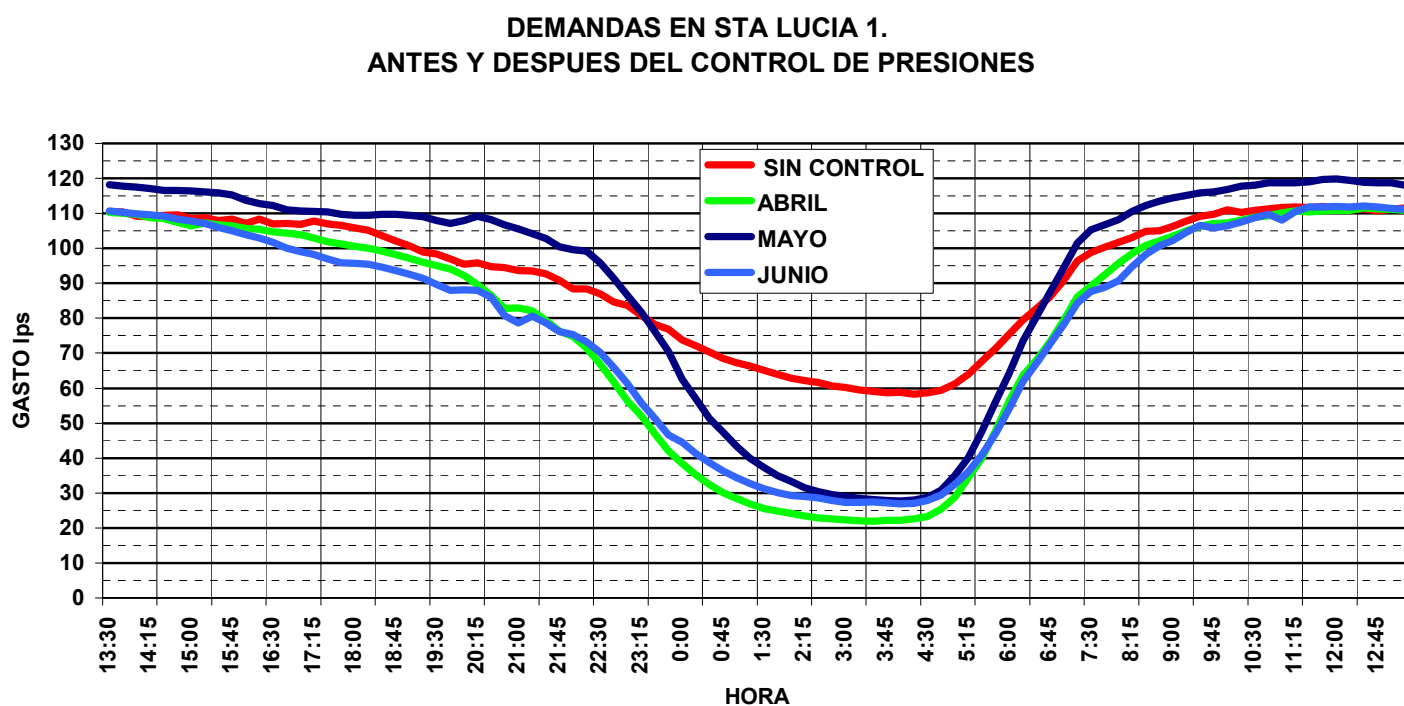
Finalmente, como resumen de las mediciones hechas se presenta la figura 28.

FIGURA 28



Los promedios de los días correspondientes a cada uno de los cuatro períodos se muestran en la figura 29. Pueden verse las diferencias del consumo en mayo con respecto a abril y junio y la diferencia en gastos mínimos que coinciden en mayo y junio y son menores en abril, esto, como se dijo antes, es atribuible a la precisión de los aparatos y para fines prácticos puede considerarse un gasto mínimo de 25 lps que debe corresponder al gasto máximo de fugas nocturnas.

FIGURA 29



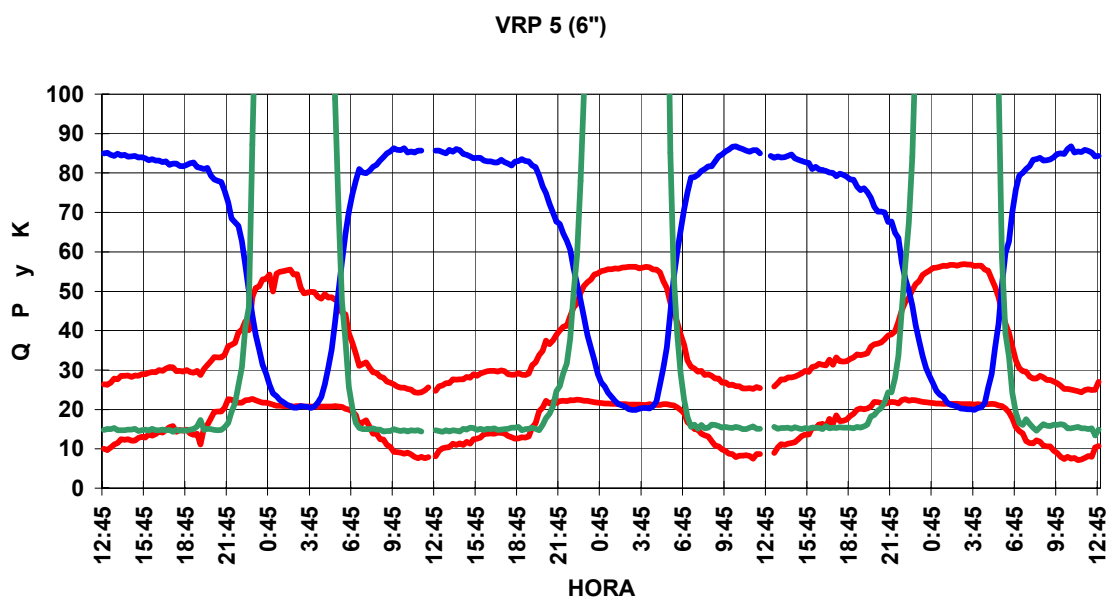
FUNCIONAMIENTO DE LAS VÁLVULAS

Durante las pruebas en el sector, se hicieron mediciones de gastos y presiones aguas arriba y abajo de las VRP. Las VRP están colocadas en un by-pass de la tubería principal que está seccionada con una válvula de tal manera que todo el gasto pase por el by-pass. Debido a que estas mediciones no fueron simultáneas y muchas se hicieron en los días en que hubo muchas perturbaciones por mal funcionamiento de una u otra VRP o de interrupciones de flujo por diversas razones, las mediciones no son comparables y no se pudo extraer de ellas toda la información que se pretendía. Sin embargo, si se pudo obtener alguna información útil y algunas recomendaciones para corregir criterios de diseño.

La válvula VRP 5 fue una de las pocas que funcionaron correctamente todo el tiempo. En la figura 30 se muestra la medición, durante tres días, de gasto, en línea azul, las de presión aguas arriba y debajo del by-pass en líneas rojas y el cálculo de coeficiente de pérdida K , correspondiente a $\Delta \frac{P}{\gamma} = \Delta H = K * \frac{v^2}{2g}$, con

línea verde.

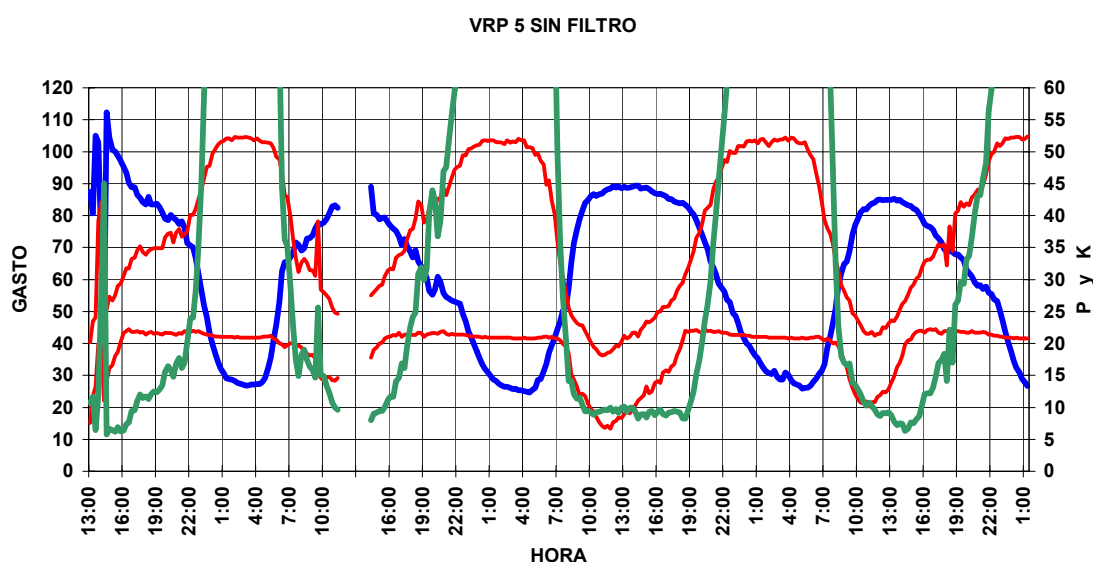
FIGURA 30



En esta figura puede verse que la presión de salida está regulada a poco más de 20m, que las pérdidas en el by-pass que incluyen las de codos, reducciones y ampliaciones más las del filtro colocado antes de la VRP y las de la propia

VRP son de alrededor de 18 m para los gastos máximos de 85 lps. Debido a esto cuando las presiones de llegada a la válvula son inferiores a 38 m esta se mantiene abierta, entre las 6:45 y las 21:00 horas. Durante este tiempo las pérdidas corresponden a la VRP abierta y el coeficiente de pérdida calculado es de $K=16$. Estas pérdidas son superiores a las que se habían considerado en el diseño y se observó que una buena parte era producida por el filtro que tenía una malla muy cerrada. Al quitar el filtro las mediciones correspondientes se modificaron como muestra la figura 31.

FIGURA 31



Como puede verse en esta figura, el coeficiente de pérdida K con válvula abierta se redujo a un valor entre 7 y 9. Las mediciones hechas en las VRP 7 y VRP 11 sin el filtro, ajustadas a 20 y 30 m de presión controlada aguas abajo, se muestran en las figuras 32 y 33 y en ellas puede verse un coeficiente K de pérdidas de 9 y 7 respectivamente. En la figura 34, se muestran las curvas para la VRP 8, con el filtro colocado, y en ella el coeficiente K a válvula abierta es nuevamente de 15.

FIGURA 32

VRP 7 (6")

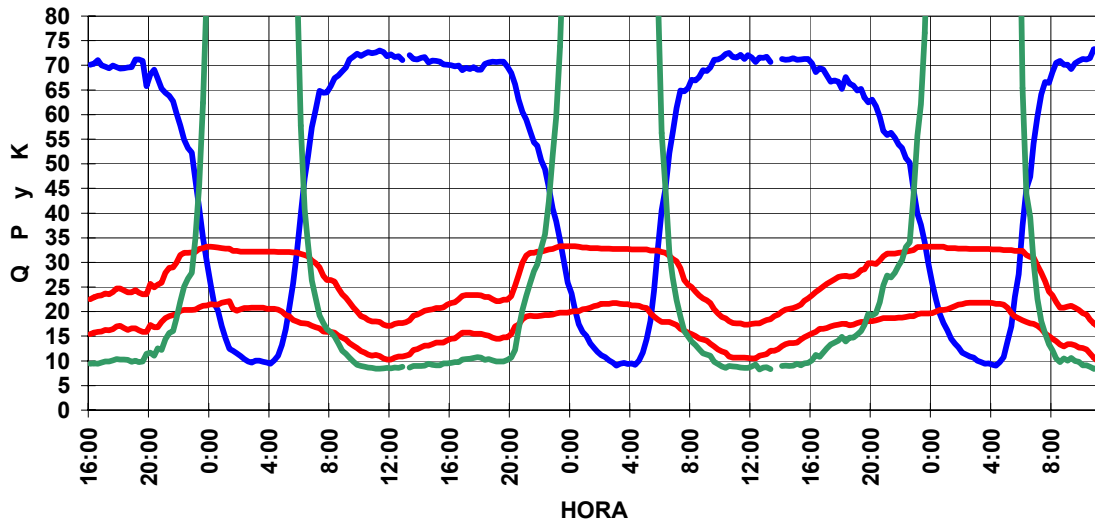


FIGURA 33

VRP 11 (3'') SIN FILTRO

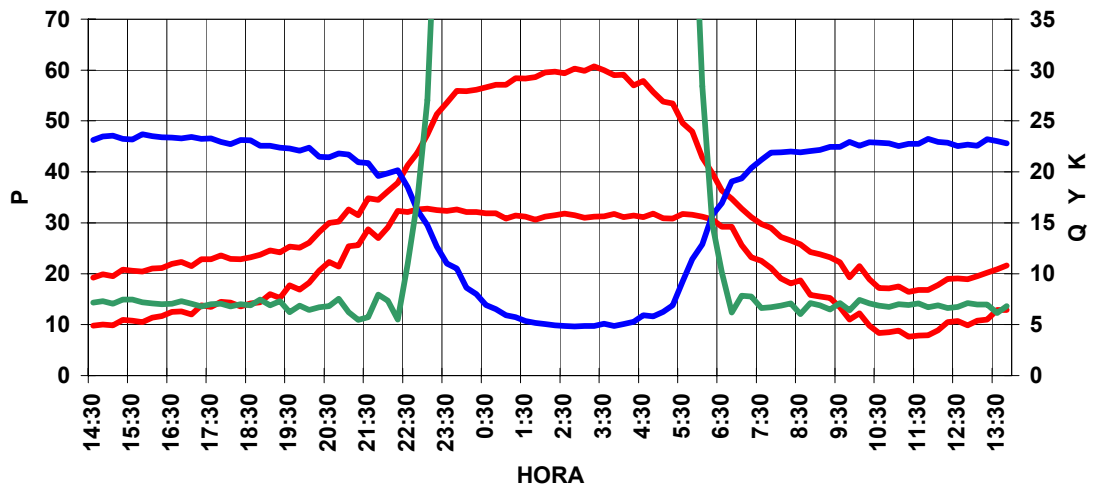
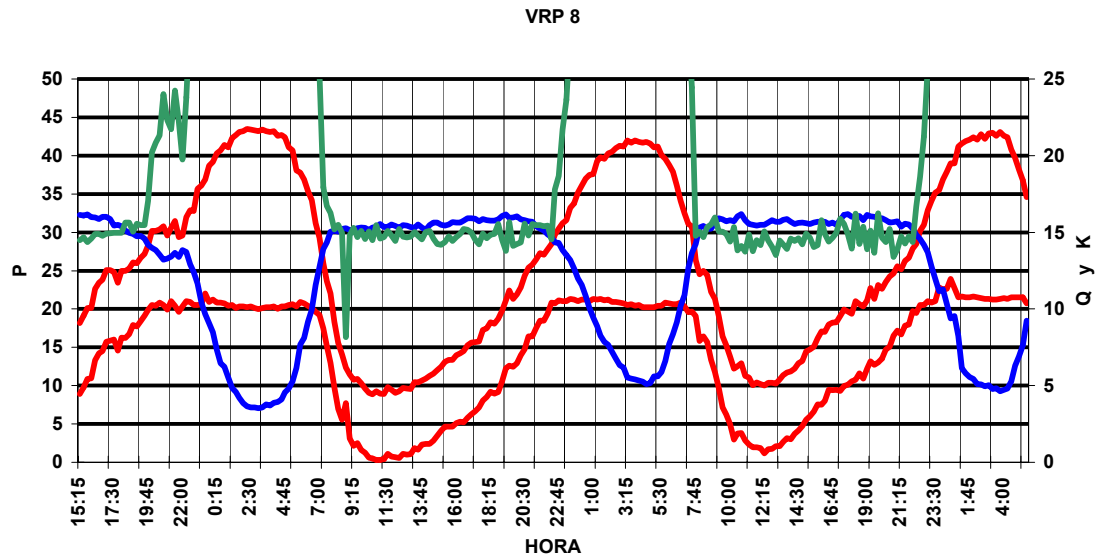
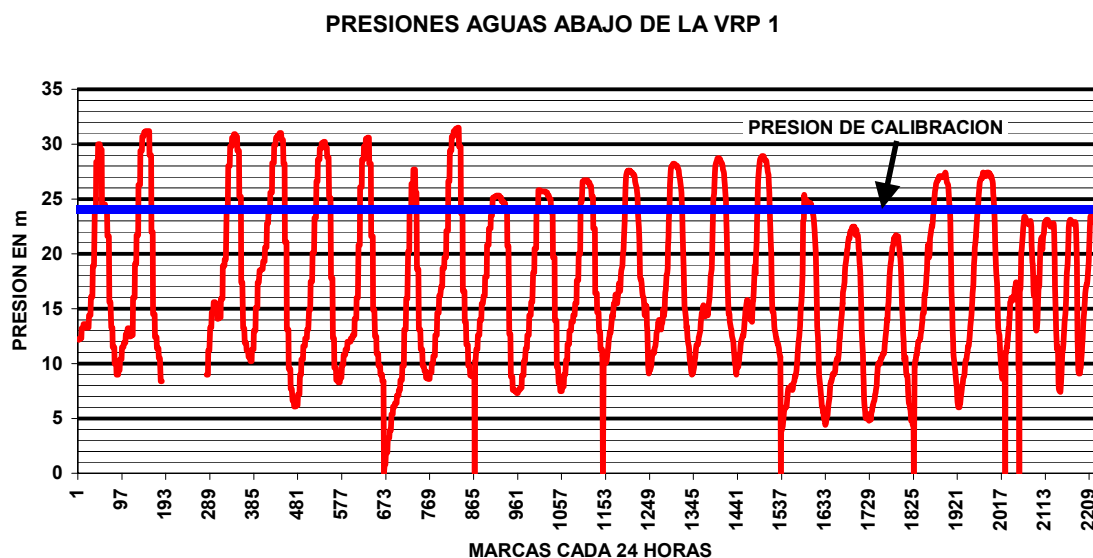


FIGURA 34



Los problemas tenidos con los ajustes de las VRP se ilustran en la figura 35 para la VRP 1 en la que se señala la presión de control a la que se calibró la válvula en diversas ocasiones y como esta presión no se mantenía a pesar de que la válvula funciona dentro de los límites establecidos por el fabricante para su buen funcionamiento. Solo al final después de una serie de intentos del fabricante, parece ser que la presión máxima de control ya se ha mantenido durante algunos días.

FIGURA 35



ZONIFICACION DEL SECTOR

La medición de gastos en las VRP pretendía evaluar los consumos y fugas en cada zona de control de presión, pero, como se dijo, las mediciones hechas en distintos momentos y en condiciones no estables arrojan resultados parcialmente incongruentes entre si. Sin embargo, de esa información se pueden sacar algunas conclusiones:

- Por los gastos medidos en la VRP 7, comparados con las de aguas arriba y abajo, es casi seguro que hay alguna parte del gasto que pasa por algún tubo abierto en paralelo de la VRP 7 que conecta las zonas 5 y 7. Esto está también sugerido en la forma de la presión aguas debajo de la VRP 7 que se ve en la figura 32.
- Con todas las reservas del caso, se muestra la tabla de la figura 36 con una estimación de consumos y fugas para cada una de las zonas a partir de las mediciones de gastos y se comparan con los consumos medidos por CADF. Se calculan además los consumos per cápita tanto a partir de las mediciones de gasto en las VRP como de los medidos por CADF.

FIGURA 36

ZONA	POBLACIÓN	fugas	cons ded	cons cadf	cons unit ded	cons unit cadf
	(hab)	lps	lps	lps	l/h*día	l/h*día
1	5,046	2.00	4	8	68	137
2	2,949	2.00	6	5	176	146
4	1,782	0.50	3	3	145	145
5y7	9,672	5.00	14	24	125	214
6	1,082	0.50	2	2	160	160
8 y 9	3,517	7.00	8	6	197	147
10	5,184	3.00	10	8	167	133
11	6,766	7.00	13	4	166	51
Total	35,998	27.00	60.00	60.00	144	144

En esta tabla aparecen juntas las zonas 5 y 7 por la razón dicha del posible by-pass de la VRP 7. La población está obtenida del censo de 1995 y se corrigió en el caso de la zona 10 pues tanto por el consumo per cápita como por la observación directa de su crecimiento, la población actual debe ser de unos 2 ó 3 mil habitantes más que los señalados en el censo.

En la tabla se observan algunas incongruencias, fundamentalmente:

- El consumo per cápita de las zonas 5 y 7 reportado por CADF es muy alto y en la zona 11 excesivamente bajo. Como el total del sector es congruente con las mediciones, parecería que hay una sobrefacturación en las zonas 5 y 7 y una subfacturación en la zona 11. Podría haber, por otro lado, algunos problemas con las coordenadas de las tomas.
- El bajo consumo deducido de las mediciones resultante en la zona 1 se debe seguramente a que resulta de diferencias de gastos entre los que entran a esta y los medidos en las zonas que siguen y es probablemente producto de que la precisión de las mediciones afecta mucho a estas diferencias.

A pesar de las imprecisiones, se puede deducir que más de la mitad de las fugas que quedan se encuentran en las zonas de las VRP 8+9 y de la VRP 11. Esto resulta natural pues estas zonas son las que han estado sometidas a las presiones nocturnas más altas. En el caso de la zona de la VRP 10, también sometida a presiones altas, las fugas no son tan altas seguramente por el cambio reciente de la red.

Parece recomendable una sustitución de red en las partes más bajas de las zonas 8+9 y 11, las que han estado sometidas a presiones nocturnas superiores a 100 m, que son las que se muestran en la figura 37, y un trabajo de detección y reparación en el resto del sector.

FIGURA 37
ZONAS PARA SUSTITUCIÓN DE RED



CONSIDERACIONES ECONOMICAS

El costo de la instalación de válvulas en este sector fue de unos \$500,000. Con el rediseño de las cajas de válvulas que se ha propuesto el costo puede reducirse a unos \$300,000.

El costo marginal del agua en bloque al DF es actualmente de \$10/m³ y como a los usuarios les llega aproximadamente 2/3 del total debido a las fugas, el costo al nivel del usuario es de \$15/m³.

El ahorro de 14 lps en el sector significa 441,500 m³/año, es decir 6.6 millones de pesos anuales al costo marginal. El valor actualizado, considerando una tasa de actualización anual del 12% es de 55 millones de pesos. Así, la relación beneficio costo, considerando el costo de \$500,000, resulta de:

$$\frac{\text{BENEFICIO } 5,000,000}{\text{COSTO } 500,000} \cong 100$$

Para la evaluación económica de estas acciones en el resto de la red habría que considerar también los costos indirectos que significa el hundimiento de la ciudad que son mucho mayores que el del costo marginal del agua.

Para valuar la bondad económica de las reparaciones de la red se tendrán que conocer tanto los ahorros obtenidos como los costos de la reparación. Adicionalmente, el control de presiones en el poniente reducirá en el futuro los costos de mantenimiento de la red.

RECOMENDACIONES ADICIONALES.

Recomendaciones para el diseño en la zona plana.

1°.- NO REDUCIR DIAMETRO EN BY-PASS, CONSERVAR EL MISMO DE LA TUBERIA. AGREGAR SI ES NECESARIO UNA VRP PEQUEÑA EN PARALELO

2°.- NO PONER FILTROS O ESCOGER FILTROS MUY ABIERTOS CON POCAS PERDIDAS

3°.- SIMULAR LOS SECTORES CONSIDERANDO, CONSERVADORAMENTE $K=10$ ($H=K*V^2/2g$) A VÁLVULA ABIERTA

4°.- SEGUIR LAS RECOMENDACIONES YA HECHAS ANTERIORMENTE EN CUANTO A CONSUMOS MINIMOS (150 l/d.h) Y A FUGAS (1.2 lps/km).

5°.-CONSIDERAR QUE LOS SECTORES QUE CUENTAN CON POZOS PUEDAN SER TAMBIEN ABASTECIDOS TOTALMENTE DESDE LA RED PRIMARIA.

Recomendaciones para dgcoh

1°- CONTAR CON UNA INSTALACION DE LABORATORIO PARA PROBAR EQUIPOS QUE VAYA A COMPRAR(VRP, FILTROS, MEDIDORES, ETC.)

2°- CONTAR CON SUPERVISION TECNICA DURANTE LA CONSTRUCCION PARA HACER LOS AJUSTES QUE REQUIERAN LAS CONDICIONES ENCONTRADAS QUE DIFIERAN DE LAS CONSIDERADAS EN EL PROYECTO ORIGINAL Y PARA MEDIR Y COMPROBAR LA BUENA OPERACIÓN DE LO CONSTRUIDO Y VALORAR LOS AHORROS CONSEGUIDOS.