UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

Repositorio Digital USM **https://repositorio.usm.cl**

Tesis USM TESIS de Pregrado de acceso ABIERTO

1992

METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN CONJUNTA DE LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE Y RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN UN SISTEMA URBANO

CID ARÉVALO, ÁLVARO A.

http://hdl.handle.net/11673/21582

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES

METODOLOGIA PARA LA OPTIMIZACION CONJUNTA DE LA DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE Y RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES EN UN SISTEMA URBANO

02.11.92

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

ALVARO A. CID AREVALO
ARTURO A. WEISS VALENCIA

PROFESOR GUIA:

RAUL GALINDO URRA

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA CENTRAL
Inventario: M 1272 c2

Valparaiso, 1992

RESUMEN

En la presente memoria se propone una resolución para el manejo óptimo conjunto de la distribución de agua potable y recolección de aguas residuales en sistemas urbanos, basada en las metodologías de optimización matemática. Esta considera la variación de la demanda a través del día, e incorpora un rango de presiones como restricción. Este método, que para resolver el problema utiliza un programa computacional (MINOS), es aplicado a un caso particular como es el sistema Quillota y La Cruz.

La finalidad de esta tesis consiste principalmente en proporcionar una metodología que optimice la distribución y recolección del agua, problema actualmente vigente por su importancia tanto técnica como social.

Finalmente, la solución muestra que el sistema se encuentra operando actualmente a máxima capacidad durante gran parte del tiempo, lo que señala la necesidad de efectuar ampliaciones en la oferta de las fuentes de agua. Los rangos de presión obtenidos indican que la capacidad de distribución de la red es adecuada. Las pérdidas, sin embargo, son relativamente altas. La capacidad de la red de alcantarillado es más que suficiente.

INDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCION ..... 1.

2. OBJETIVOS ..... 6.

3. MARCO CONCEPTUAL ..... 7.
3.1. INTRODUCCION ..... 7.
3.2. EL PROBLEMA DE ASIGNACION OPTIMA DEL AGUA ..... 7.
3.3. ASPECTOS ECONOMICOS ..... 12.
3.3.1. FUNCION DE DEMANDA ..... 12.
3.3.2. CRITERIO DE OPTIMIZACION ..... 14.
3.3.3. COSTOS MARGINALES ..... 19.
3.4. ASPECTOS TECNICOS: AGUA POTABLE ..... 24.
3.5. ASPECTOS TECNICOS: ALCANTARILLADO ..... 26.
3.6. DEMANDA TEMPORALMENTE VARIABLE ..... 27.
3.7. METODOS DE SOLUCION DEL PROBLEMA ..... 31.

4. SISTEMA DE QUILLOTA-LA CRUZ ..... 36.
4.1. INTRODUCCION ..... 36.
4.1.1. UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO ..... 36.
4.1.2. ACTIVIDADES PRINCIPALES ..... 37.
4.1.3. AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO ..... 37.
4.2. ANALISIS DE OFERTA ..... 38.
4.2.1. OFERTA AGUA POTABLE ..... 38.
4.2.1.1. INTRODUCCION ..... 38.
4.2.1.2. FUENTES ..... 40.
4.2.1.3. REGULACION ..... 45.
4.2.1.4. DISTRIBUCION ..... 46.
4.2.1.4.1. CARACTERISTICAS DE LA DISTRIBUCION ..... 46.
4.2.1.4.2. ANALISIS DE PERDIDAS ..... 48.
4.2.2. OFERTAS DE ALCANTARILLADO ..... 50.
4.2.2.1. INTRODUCCION ..... 50.

4.2.2.2. RED DE ALCANTARILLADO ..... 51.
4.3. SECTORIZACION ..... 52.
4.3.1. INTRODUCCION ..... 52.
4.3.2. AGUA POTABLE ..... 54.
4.3.3. ALCANTARILLADO ..... 55.
4.3.4. NIVEL SOCIO-ECONOMICO ..... 55.
4.3.5. SECTORIZACION FINAL ..... 60.
4.4. ANALISIS DE DEMANDA ..... 63.
4.4.1. INTRODUCCION ..... 63.
4.4.2. INFLUENCIA DEL TIPO DE CONSUMIDOR ..... 64.
4.4.3. POBLACION ..... 65.
4.4.4. ANALISIS DE ELASTICIDADES ..... 69.
4.4.5. DOTACIONES ..... 73.
4.4.5.1. INTRODUCCION ..... 73.
4.4.5.2. DOTACION DE CONSUMO ..... 74.
4.4.5.3. DOTACION DE DEMANDA ..... 75.
4.4.6. OBTENCION DE CAUDALES DE DEMANDA ..... 78.
4.4.6.1. CAUDALES DE DEMANDA PROMEDIO ..... 78.
4.4.6.2. CAUDALES DE DEMANDA HORARIOS ..... 79.
4.4.7. PRECIOS ESVAL ..... 80.
4.4.8. CURVAS SECTORIALES DE DEMANDA AGREGADA ..... 81.

5. ESTUDIO DE COSTOS MARGINALES ..... 83.
5.1. INTRODUCCION ..... 83.
5.2. COSTO MARGINAL DE CORTO PLAZO ..... 85.
5.2.1. INTRODUCCION ..... 85.
5.2.2. ESTIMACION DEL COSTO MARGINAL DE CORTO PLAZO ..... 87.
5.2.2.1. COSTO ALTERNATIVO ..... 88.
5.2.2.2. COSTO DE PRODUCCION ..... 94.
5.2.2.3. COSTO DE ENERGIA ..... 97.
5.2.2.4. COSTO DE EFLUENTES ..... 99.
5.2.2.5. COSTO POR PERDIDAS ..... 101.

5.2.3. SINTESIS COSTO MARGINAL CORTO PLAZO ..... 104.

6. MODELACION ..... 105.
6.1. INTRODUCCION ..... 105.
6.2. MODELACION DE LA FUNCION OBJETIVO ..... 105.
6.3. MODELACION DE LA OFERTA ..... 112.
6.3.1. OFERTA AGUA POTABLE ..... 112.
6.3.1.1. FUENTES, CONDUCCION Y REGULACION ..... 112.
6.3.1.2. DISTRIBUCION ..... 116.
6.3.2. MODELACION DE LA OFERTA DE ALCANTARILLADO ..... 120.
6.4. MODELACION DE LA DEMANDA ..... 126.
6.4.1. DEMANDA AGUA POTABLE ..... 126.
6.4.2. MODELACION DE LA DEMANDA DE ALCANTARILLADO ..... 131.
6.5. ECUACIONES DEL MODELO ..... 132.

7. RESOLUCION DEL PROBLEMA ..... 141.
7.1. FORMULACION DEL PROBLEMA ..... 141.
7.2. RESOLUCION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION ..... 144.

8. ANALISIS CORTO PLAZO Y SENSIBILIDAD ..... 152.
8.1. INTRODUCCION ..... 152.
8.2. OPERACION DE CORTO PLAZO ..... 152.
8.2.1. TARIFAS AÑO 1990, 1991 Y 1992 ..... 152.
8.2.2. PRODUCCION ..... 158.
8.3. RESPUESTA DEL SISTEMA ..... 161.
8.3.1. INTRODUCCION ..... 161.
8.3.2. CONSUMOS ..... 180.
8.3.3. PRESIONES ..... 187.
8.3.4. ALCANTARILLADO ..... 188.
8.4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD ..... 189.
8.4.1. ALCANTARILLADO ..... 189.
8.4.1.1. EMISARIO ..... 189.

8.4.1.2. COLECTOR ..... 199.
8.4.2. COSTOS MARGINALES ..... 202.
8.4.3. ELASTICIDADES ..... 210.
8.4.4. FUENTES ..... 217.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 225.

ANEXOS

REFERENCIAS

1. INTRODUCCION

El agua representa para el hombre un bien imprescindible. Desde tiempos inmemoriales procurar agua para su supervivencia ha sido un problema fundamental para el ser humano. Con la constitución de comunidades estables y el comienzo de la vida sedentaria este problema adquirió nuevas dimensiones. Fue necesario crear sistemas de abastecimiento que sirvieran a grandes núcleos de población. La ingeniería tuvo un gran aporte que hacer, y esta labor está estrechamente relacionada con los mismos inicios de esta disciplina.

Los requerimientos de la vida moderna imponen nuevos desafíos a los administradores de sistemas de abastecimiento y recolección de agua. El aumento de la población demandante, los crecientes costos de producción y la conciencia cada vez más generalizada de que el deterioro del medio ambiente implica un costo económico que la sociedad debe pagar, implican, en el marco de una economía de mercado, que el abastecimiento del bien agua potable constituye un problema de optimización de los recursos disponibles.

La ingeniería debe desarrollar metodologías destinadas a obtener la asignación de agua potable que logre el máximo beneficio de la sociedad, cuidando de preservar el medio ambiente en que está inserta y teniendo en cuenta que el agua potable constituye

actualmente un bien que debe poseer ciertas características mínimas, no sólo en cuanto a calidad físico-química y bacteriológica, sino también un rango de presiones adecuado.

Para cumplir con estos objetivos se ha hecho necesario integrar en el análisis los aspectos económicos y los aspectos técnicos, creando una metodología que, involucrando las diversas disciplinas que tienen relación con este problema, permite lograr un grado adecuado de representación de la realidad.

Por esta vía de análisis integrado, económico y técnico, se viene desarrollando una serie de trabajos en el Departamento de Obras Civiles de esta Universidad, bajo la conducción del profesor don Raúl Galindo. El trabajo actual constituye otro aporte en la misma dirección.

La metodología que se propone en esta memoria busca resolver el problema de asignación óptima teniendo en cuenta diversas consideraciones.

El criterio de optimación consiste en hacer mínima la pérdida de beneficio social que se produce cuando un grupo de individuos no puede recibir por alguna razón técnica la cantidad de agua que maximiza de manera absoluta el beneficio neto de la sociedad por ese concepto.

Las razones técnicas que pueden impedir entregar a un sector de consumidores su caudal óptimo ideal (sin restricciones) - capacidad de las fuentes, capacidad de los ductos, y otras - se consideran en el proceso de optimación, de manera que deben cumplirse las condiciones que ellas imponen. Para ello se modela el comportamiento hidráulico de las redes de agua potable y alcantarillado, y se establecen las restricciones que deben respetarse.

De esta manera se integra el análisis técnico con el análisis económico.

A continuación, se procede a explicar sinópticamente los diferentes capítulos que conforman este trabajo.

En el primer capítulo, se introduce de manera general al problema de asignación óptima de recursos en sistemas urbanos.

En el segundo capítulo, se indican los objetivos que se han fijado para el presente trabajo.

El capítulo tercero analiza tres temas fundamentales. Se hace una revisión del estado actual del arte en lo que se refiere a asignación óptima de recursos hídricos. Se desarrollan las bases

conceptuales de las nuevas proposiciones que conforman la metodología planteada. Por último, se concreta la formulación del problema, indicando someramente los pasos a seguir para su resolución.

El capítulo cuarto analiza la situación actual del sistema de Quillota y La Cruz en tres aspectos principales. Se examina en primer lugar la oferta, tanto en agua potable como alcantarillado, en base a sus distintos componentes. Se realiza la sectorización del sistema considerando el nivel socio-económico y la morfología de las redes de agua potable y alcantarillado. Finalmente, se determinan los parámetros necesarios para definir las curvas de demanda agregada para cada sector del sistema.

En el quinto capítulo, se realiza un estudio de costos marginales de corto plazo para cada centro de costo.

En el capítulo sexto, se expone la modelación para resolver el problema. En este punto el problema queda formulado.

El capítulo séptimo presenta la resolución del problema, indicando el método a seguir y explicando brevemente el funcionamiento del programa computacional utilizado.

En el octavo capítulo se exhiben los resultados de la operación de corto plazo, y los análisis de sensibilidad realizados con el fin de apreciar el comportamiento del sistema ante variaciones de ciertos parámetros relevantes.

En el capítulo nueve se presentan las conclusiones relativas a la metodología propuesta y al sistema Quillota y La Cruz. Además, se proponen las recomendaciones que deben considerarse en futuros estudios sobre el tema.

2. OBJETIVOS

Los objetivos principales de este trabajo son:

Desarrollar una metodología para optimizar un sistema conjunto de distribución de agua potable y recolección de aguas residuales, considerando demanda variable durante el día. El criterio de optimización es minimizar la pérdida de beneficio social de los grupos de usuarios asociada a la infactibilidad técnica del suministro, que resulta de modelar conjuntamente los sistemas de agua potable y alcantarillado.

Ilustrar la metodología resolviendo el problema de optimización relativo al sistema de Quillota-La Cruz, obteniendo la operación óptima de corto plazo del trienio 1990-1992, y sensibilizando algunos parámetros importantes. La solución se compone de los caudales promedio mensuales por sector, y las tarifas mensuales que se deben cobrar para que los grupos demanden esos caudales.

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1. INTRODUCCION

El objetivo de este capítulo es hacer una revisión de los aspectos teóricos y conceptuales involucrados en la formulación y solución del problema objeto de la presente memoria. Con tal fin, se presenta un panorama de lo que es el actual estado del arte en los diferentes campos que abarca el estudio del problema de optimización, y se desarrollan los aspectos conceptuales que tienen relación con las proposiciones nuevas que se hacen, y que constituyen la base de la metodología aquí presentada.

3.2. EL PROBLEMA DE ASIGNACION OPTIMA DEL AGUA

El criterio más común para resolver este problema consistía en pensar que dotar de agua potable a un asentamiento humano constituía un problema puramente hidráulico. Se calculaba el caudal de agua demandado por la población en base a la dotación por habitante, es decir, una cantidad de agua por unidad de tiempo que se asignaba como consumo a cada persona. Esta cantidad se obtenía de estadísticas históricas de consumo, y también de estudios sobre usos más comunes del agua potable; así, es aceptado, por ejemplo, que la dotación normal en una ciudad mediana es de cerca de 250 litros por día por habitante. Usando este valor general como un

dato, y multiplicando por la población a ser cubierta, presente o futura, se obtenía un caudal de agua aceptado como la demanda de la población. Dado este valor como de diseño, restaba dimensionar las obras que permitieran transportar y distribuir este caudal, y asegurar su abastecimiento desde las fuentes en base a un análisis hidrológico.

Esta manera estática de ver la asignación de recursos hidráulicos a centros poblados ha cambiado progresivamente con el aumento de los sistemas de distribución de agua potable insertos en economías de mercado, con el número siempre creciente de población necesitada de esos recursos, y con el incremento de los costos de explotación del vital elemento. Estos factores han empujado el tratamiento del problema hacia la misma dirección: considerar el abastecimiento de agua potable como un problema socio-económico, es decir, como un problema de "asignación eficiente de un medio escaso entre fines alternativos" (ref. 14).

Esta nueva óptica tiene implicancias para los aspectos de evaluación de proyectos, planificación a largo plazo y financiamiento, pero también para la operación a corto plazo, que constituye el objetivo de este trabajo.

Considerar el agua potable como un bien económico implica aceptar el hecho de que tiene una valoración para los individuos, un valor en uso. Aceptar el juego de la oferta y la demanda significa que

tiene un valor en cambio. Si el precio del agua aumenta, el individuo deseará consumir menos. Si el precio disminuye, la demanda aumentará. Esto implica que no puede ya hablarse de una demanda fija de agua de parte de un individuo o grupo de individuos, como en el concepto de dotación, sino de valores variables de la demanda de acuerdo a las condiciones del medio, es decir, se introduce el concepto económico de **función de demanda**, relacionada siempre con un bien transable.

Habiendo aceptado que lo denominado "agua potable" constituye un bien económico, con usuarios conectados al sistema y una empresa ofertante, resulta lógico admitir que resolver el problema de efectuar la asignación óptima del bien agua potable entre los clientes constituye un problema económico tanto como técnico. En efecto, el agua potable, como bien económico que es, tiene un valor en uso para un grupo de individuos dado. Como todo bien, este valor, por unidad, varía en función de la cantidad demandada del bien. Esto implica que para diferentes cantidades demandadas el valor en uso que ellas representan para el consumidor es también diferente. Este valor indica el beneficio que representa para el usuario recibir esa cantidad de agua, lo que implica también un beneficio social, pues el demandante es parte integrante de la sociedad, y el bienestar de él lo es también de ella.

Pero, para proveer esa cantidad demandada, la sociedad, por intermedio de la empresa abastecedora de agua, incurre en un costo.

La diferencia entre el beneficio y el costo constituye el beneficio neto social, es decir, el beneficio neto que la sociedad en conjunto percibe por entregar una cierta cantidad de agua a un grupo dado de consumidores. Este beneficio neto social varía dependiendo de la cantidad de agua demandada. Asignar óptimamente el agua, es decir, efectuar una óptima operación de corto plazo, significa determinar el caudal demandado que hace máximo el beneficio neto social, y entregar efectivamente este caudal a los consumidores. El primero es un objetivo económico; el segundo, es técnico o ingenieril.

La Teoría Marginalista demuestra que el beneficio neto social es máximo cuando el precio cobrado al consumidor es igual al costo marginal que significa llevarle el agua. Es decir, el caudal óptimo es aquél que corresponde en la función de demanda del consumidor al costo marginal que se invierte en proporcionarle el bien.

Para verificar si se cumple el objetivo técnico de entregar el bien demandado, es necesario modelar los sistemas de oferta (i.e. las redes de agua potable y alcantarillado) de manera tal que indiquen si tienen la factibilidad física de satisfacer la demanda.

En ocasiones no es posible alcanzar el caudal óptimo indicado por la teoría, debido a que la modelación señala que físicamente no es factible entregarlo. Esto implica que con el caudal que

efectivamente se puede dar al usuario el beneficio neto social es inferior al que se obtendría si la oferta del sistema permitiera alcanzar el caudal óptimo. Se produce así una **pérdida de beneficio**, asociada al caudal que efectivamente se entrega al usuario. En este caso, el problema de optimización se transforma en encontrar el caudal, susceptible de ser entregado efectivamente al usuario, que haga mínima la pérdida de beneficio recién definida. Este criterio de optimización es general, e incluye el caso de que se pueda alcanzar el óptimo definido por la teoría marginalista, situación en la cual la pérdida de beneficio es nula. Este es el criterio adoptado en este trabajo para resolver el problema de optimización.

En los próximos puntos se analizan más concretamente los conceptos económicos e hidráulicos involucrados en la formulación y resolución del problema.

3.3. ASPECTOS ECONOMICOS

3.3.1. FUNCION DE DEMANDA

El agua potable, como cualquier bien económico, tiene un determinado "valor en uso" para un consumidor o grupo de consumidores[1]. Valor en uso se define como la valuación efectiva o utilidad que el usuario hace de una unidad del bien. En Microeconomía se demuestra que el valor en uso disminuye conforme aumenta la cantidad demandada (ref. 14). La relación entre valor en uso y cantidad demandada se llama función de demanda del consumidor, y su representación gráfica, curva de demanda. Esta relación se produce a través del "valor en cambio" del bien y su precio. La Figura 3-1 muestra una curva de demanda típica.

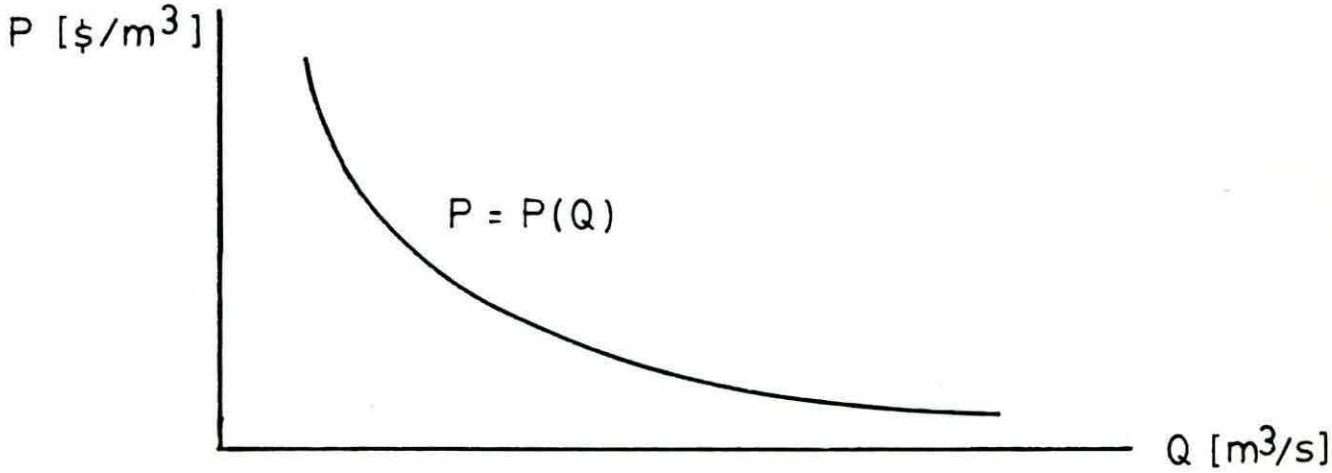


Fig. 3-1: CURVA DE DEMANDA DEL AGUA POTABLE

---

[1] Conceptualmente es el mismo análisis para un consumidor, o para un grupo homogéneo de consumidores.

Se aprecia la disminución del valor en uso, en la ordenada, según aumenta la cantidad demandada, en la abscisa, indicando que a mayor cantidad del bien, menor es la valuación dada a una unidad adicional.

Se han propuesto variadas funciones para representar una curva de demanda típica (ref. 2, 5, 6, 7). La que se adoptará en este trabajo es la llamada curva isoelástica, definida por:

$$P(Q) = A' Q^{-\frac{1}{e}}$$

donde, A' y e son constantes. Esta curva tiene la propiedad de poseer una elasticidad precio constante, no dependiente de Q:

$$e_{Q,P} = \frac{P}{Q} \frac{dQ}{dP} = e$$

Conociendo la elasticidad precio característica de la curva, y un punto de ella, la isoelástica queda definida.

3.3.2. CRITERIO DE OPTIMIZACION

Supóngase conocida una curva de demanda como la de la siguiente Figura:

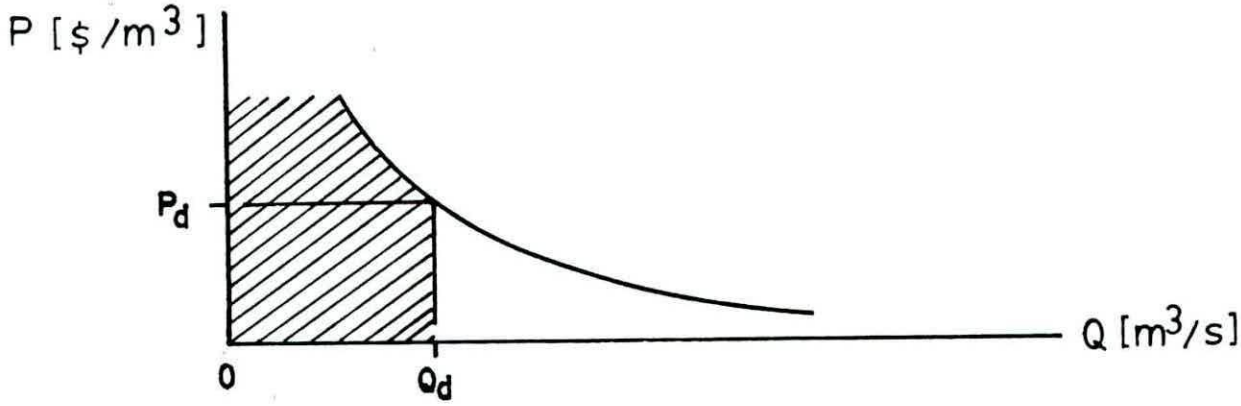


Fig. 3-2: BENEFICIO DEL CONSUMIDOR

A un precio P_d por unidad, el consumidor está dispuesto a demandar Q_d unidades. El valor en pesos que él asigna a poseer esa cantidad del bien es igual al valor de cada unidad sumado hasta la cantidad Q_d, es decir, la integral de la función de demanda entre 0 y Q_d, que corresponde al área achurada en la Figura 3-2. Este valor corresponde al beneficio, medido en pesos, que representa al consumidor demandar la cantidad Q_d.

El beneficio neto social correspondiente a una cantidad demandada Q_d es igual a la suma de los beneficios netos de consumidor y productor, entendiéndose como beneficio neto al beneficio o ingreso menos el costo.

Beneficio neto social =

$$BNS = \int_0^{Q_d} P(Q)\ dQ - P_d\, Q_d + P_d\, Q_d - C$$

C : función de costos de suministro de corto plazo

Para encontrar el caudal Q_d que hace máximo el BNS se deriva e iguala a cero:

$$\frac{d\,BNS}{d\,Q_d} = P(Q_d) - \frac{dC}{d\,Q_d} = 0$$

$$\boxed{P(Q_d) = CMg\ (Q_d)}$$

Este resultado, que es la base de la Teoría Marginalista, indica que el beneficio máximo de la sociedad se produce cuando se cobra al usuario como tarifa el costo marginal que implica proveerlo de una unidad adicional del bien. En el punto óptimo se igualan el valor de uso marginal y el costo marginal.

En ocasiones, debido a restricciones en la oferta por causa de falta de capacidad de las fuentes, insuficiente capacidad de distribución, etc., no es posible suministrar el caudal Q_d que maximiza el beneficio social. Se produce una situación deteriorada en que el caudal efectivamente abastecido, Q_a, produce un beneficio social menor que el anterior. La diferencia entre ambos constituye la pérdida de beneficio PB.

Para asignar el caudal Q_a pueden utilizarse dos vías: físicamente manejar válvulas para restringir el suministro hasta Q_a, o cobrar una tarifa P_r que corresponde a Q_a en la curva de demanda de los consumidores. Se elige utilizar esta última vía con el fin de no provocar un deterioro de la curva de demanda del bien. También se hace una suposición con respecto a la función de costos de suministro de agua, y es que se considera lineal con respecto a los caudales producidos, es decir,

$$C(Q) = CMg\ Q + CF$$

donde CMg y CF son constantes. Este supuesto, para el caso del bien agua potable, es de razonable validez ingenieril (ref. 1)

Se puede evaluar la pérdida de beneficio PB debida a suministrar Q_a en lugar del óptimo Q_d, de la siguiente manera:

$$BS_1 = \int_0^{Q_d} P\, dQ - CMg\, Q_d + CMg\, Q_d - CMg\, Q_d - CF$$

$$= \int_0^{Q_d} P\, dQ - CMg\, Q_d - CF$$

$$BS_2 = \int_0^{Q_a} P\, dQ - P_r\, Q_a + P_r\, Q_a - CMg\, Q_a - CF$$

$$= \int_0^{Q_a} P\, dQ - CMg\, Q_a - CF$$

$$PB = BS_1 - BS_2 = \int_{Q_a}^{Q_d} P\, dQ - CMg\, (Q_d - Q_a)$$

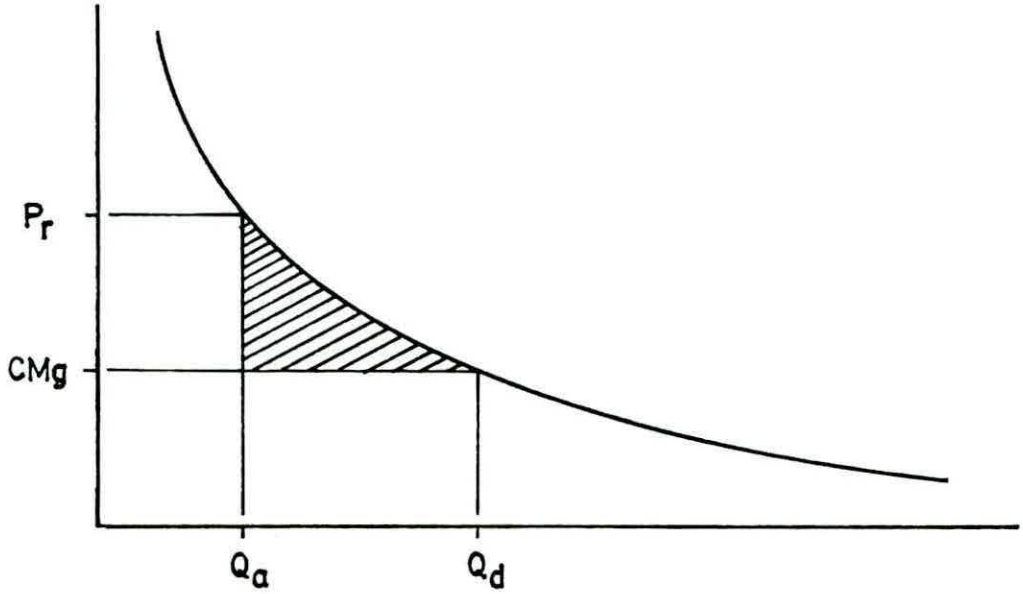


Fig. 3-3: PERDIDA DE BENEFICIO NETO SOCIAL

La pérdida de beneficio PB, que corresponde al área achurada en la Figura 3-3, constituye una función de Q_a. Esta función se hace cero para $Q_a = Q_d$. De aquí se desprende que el criterio de optimización (para obtener el máximo beneficio social) es minimizar esta función de pérdida de beneficio, o sea,

$$Minimizar_{Q_a}\ PB = Min_{Q_a}\ \left(\int_{Q_a}^{Q_d} P\, dQ - CMg\ (Q_d - Q_a)\right)$$

Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$Min_{Q_a}\ PB = Min_{Q_a}\ \left(\int_{Q_a}^{Q_d} P\, dQ - CMg\ (Q_d - Q_a)\right)$$

$$= Min_{Q_a}\ \left(\int_{Q_a}^{\infty} P\, dQ + CMg\ Q_a - \left[\int_{Q_d}^{\infty} P\, dQ + CMg\ Q_d\right]\right)$$

El término encerrado entre paréntesis cuadrados es constante con respecto a Q_a; luego, no entra en la expresión a minimizar (o función objetivo), sino que se resta posteriormente a ésta para obtener PB.

En resumen, el criterio de optimización consiste en encontrar para un sector dado de consumidores el caudal Q_a que minimice la función objetivo:

$$\boxed{Min_{Q_a}\left(\int_{Q_a}^{\infty} P\, dQ + CMg\, Q_a\right)}$$

Al valor de esta función se le resta el término constante:

$$\int_{Q_d}^{\infty} P\, dQ + CMg\, Q_d = \frac{A'e}{1-e}\, Q_d^{\frac{e-1}{e}} + CMg\, Q_d$$

y se obtiene la pérdida de beneficio social, en unidad monetaria por unidad de tiempo (p. ej. pesos/segundo).

3.3.3. COSTOS MARGINALES

Se llama función de costo marginal a la derivada del costo total con respecto a la variable cantidad del bien. En el caso del agua potable:

$$CMg\ (Q) = \frac{d\, C(Q)}{dQ}$$

Se ha supuesto en 3.3.2. que la función de costo C(Q) es lineal. Esto implica que el costo marginal es constante,

Pag 3 L 20, 32 Pg 7 final

$$CMg\ (Q) = CMg$$

lo que concuerda razonablemente con la realidad (ref. 1).

El costo marginal, para un nivel de producción dado, representa lo que cuesta a la sociedad suministrar una unidad adicional a un sector de consumo dado. Esto implica:

i. que, en general, diferentes sectores de consumo tienen costos marginales diferentes, pues la situación geográfica distinta significa diferentes recorridos que hace el agua, que pueden involucrar diversos componentes de costos. Por cierto, sectores abastecidos de fuentes diferentes tienen costos distintos. Luego, el costo marginal está asociado al sector más que a la fuente;

ii. que en el costo de suministrar el bien agua potable deben incluirse todos los costos en que incurre la sociedad con ese fin. A los tradicionales de producción (productos químicos) y de energía deben agregarse el costo alternativo (costo que significa distraer el agua de su mejor uso alternativo, en este caso, el riego agrícola) y el costo de pérdidas (se consideran costos aquellas pérdidas inevitables, que son inherentes al proceso de producción). Además, y este enfoque constituye una novedad del presente trabajo, debe tenerse en

cuenta que el concepto "suministro de agua potable" no indica sólo hacer llegar al consumidor la cantidad deseada de agua con un buen nivel de calidad físico-química y bacteriológica, y con aceptables condiciones de presión, sino que también involucra el proceso de recolección de esas aguas una vez usadas y su disposición final en términos que consideren criterios de preservación del medio ambiente. Esto significa que deben sumarse a los anteriores costos marginales los de recolección de aguas servidas, si los hubiere (no hay costos marginales de recolección de corto plazo en un sistema de alcantarillado completamente gravitacional), y los costos de tratamiento de efluentes o el impacto de externalidades negativas, según sea el caso. De esta manera se corrige la falencia de no considerar el proceso de recolección y disposición de aguas servidas como parte integrante del suministro de agua potable.

Otro aspecto conceptual relacionado con costos marginales es el referido a asignación óptima cuando un sector demandante es abastecido desde varias fuentes simultáneamente. Cuando un sector recibe el suministro de una fuente, la teoría indica que el óptimo se obtiene para el punto de la curva de demanda correspondiente al costo marginal de la fuente. Si por impedimento técnico la fuente no puede abastecer ese caudal óptimo ideal, pero el sector es susceptible de recibir agua de una segunda fuente, entonces el óptimo resulta ser el caudal

que en la curva de demanda corresponde al costo marginal de esta segunda fuente. Esto, siguiendo la teoria que indica que el óptimo corresponde al costo marginal, y éste es el costo en que se incurre al suministrar la última unidad demandada.

Llegar a una metodologia práctica, como se propone en esta tesis, con las consideraciones teóricas recién vistas resulta muy complejo. Como se explica en el punto 3.6, se modela con demanda temporalmente variable. Esto implica que para cada uno de los periodos del dia se obtiene, como resultado de la optimización, la producción de las fuentes. Puede darse el caso de que en algunos periodos trabajen todas las fuentes, mientras que en otros sólo lo hagan algunas de ellas, lo cual implica diferentes costos marginales para distintos periodos. Modelar esta situación es muy complejo. Además la modelación de la red de agua potable como flujo a presión (punto 3.4) supone que no es posible discriminar el origen del agua que llega a un sector determinado, de manera que es imposible asignarle el costo marginal de una fuente especifica, como se hace en los modelos lineales (ref. 2, 5, 6, 7), cuando son varias las que están funcionando.

Por las consideraciones expuestas, se propone una aproximación ingenieril al problema, que consiste en suponer que, en un sector abastecido por n fuentes, con CMg_i y Q_i, costo marginal y caudal suministrado por la fuente i, respectivamente la

asignación óptima, para un grupo de caudales Q_i dados, se realiza cuando se cobra un costo marginal dado por:

$$CMg = \frac{\sum_{i=1}^{n} CMg_i \, Q_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \qquad [3-1]$$

Del análisis de esta fórmula se desprende que el valor de CMg, el cual define el caudal óptimo ideal que se desea alcanzar, depende de la proporción de los caudales Qi que provienen de las fuentes. Si para cada sector se llama alfa al vector que indica en qué proporción provienen los caudales de las distintas fuentes, se tiene que para distintos vectores alfa hay distintos valores de CMg, y que existe un vector alfa que corresponde al punto de máximo beneficio neto social posible.

3.4. ASPECTOS TECNICOS: AGUA POTABLE

Se ha explicado que el problema de asignación óptima integra dos aspectos, el económico y el técnico. Este último se refiere a que se debe verificar que el caudal óptimo, obtenido de la minimización de la pérdida de beneficio, puede ser efectivamente entregado por el sistema ofertante. Se hace necesario, entonces, contar con un modelo del sistema ofertante, que indique si es posible satisfacer la cantidad demandada. El sistema ofertante está compuesto por el sistema de suministro de agua potable, y por el sistema de recolección de aguas residuales. La incorporación de éste último corresponde a uno de los objetivos de este trabajo, esto es, incorporar, dentro del concepto "suministro de agua potable", el proceso de recolectar y disponer adecuadamente de las aguas que han sido utilizadas. Debido a esto, deben modelarse ambos sistemas. En este punto se trata el sistema de agua potable.

Este sistema de oferta de agua potable se compone de obras de captación, potabilización, conducción, regulación y distribución. El sistema de distribución consiste en una red de cañerías que cubre los sectores abastecidos, y que a su vez recibe agua de las fuentes. Esta red se describe en el punto 4.2.1. El actual estado del arte modela la red como si fuera de flujo gravitacional (ref. 2, 5, 6, 7), es decir, sólo imponiendo continuidad en los nudos, a pesar de que el flujo en realidad es a presión. Esto, fuera de arrojar resultados que no siempre son reales, impide integrar al

análisis una variable tan importante como es la presión de servicio en cada nudo de la red. Sólo es posible calcular, a posteriori, esa presión, como una consecuencia del proceso de distribución que no consideró en absoluto a esta importante variable.

Para justificar la incorporación de la presión de servicio al proceso de optimización es preciso tener en cuenta la naturaleza del bien que se está transando, esto es, el agua potable. Este bien debe cumplir con ciertas características, para ser considerado como tal. Un agua con elevado índice de turbiedad, de color y aspecto barrosos, no responde al concepto de "agua potable" que tiene el consumidor. Este no pagaría, por un litro de esta agua barrosa, lo mismo que estaría dispuesto a desembolsar por la misma cantidad de agua cristalina y de buen aspecto, simplemente porque para él representan bienes diferentes. De igual modo, la presión debe considerarse una característica que, junto a otras, define el bien "agua potable". Una baja presión puede impedir el funcionamiento de ciertos artefactos sanitarios; presiones muy altas también provocan dificultades en el servicio. Por esto, al modelar la red de agua potable como flujo a presión, debe establecerse una condición que imponga que esta presión se mantenga dentro de ciertos límites.

3.5. ASPECTOS TECNICOS: ALCANTARILLADO

La incorporación de este aspecto al proceso de optimación, según se explica en 3.3.3., impone la necesidad de modelar la oferta de recolección de aguas servidas, que está constituida por la red de alcantarillado. Se comprende que la oferta de alcantarillado tiene estrecha relación con la demanda por agua potable, puesto que, si no dispone de adecuada capacidad para evacuar las aguas utilizadas, el consumidor deberá restringirse en la cantidad de agua demandada (ref. 4). El caudal de aguas residuales que debe evacuar el alcantarillado es función del caudal demandado de agua potable. Debido a que hay un porcentaje de agua que no va al alcantarillado (agua usada para lavado de automóviles, para riego de jardines, etc.), la cantidad de aguas servidas es una fracción de la de agua potable, según se indica en 6.4.2. Debe considerarse además que la distribución en el tiempo de la cantidad de aguas residuales es diferente, en general, de la de agua potable, debido a ciertos usos del agua en que ésta se embalsa, evacuándose toda junta en un instante posterior. Por último, es preciso tener en cuenta que el que la evacuación de las aguas se haga en forma gravitacional implica que por un tramo dado de la red de alcantarillado pasa el caudal de todos los sectores de consumidores "aguas arriba" de él, pero no simultáneamente, sino dependiendo del "tiempo de concentración" de cada sector respecto al tramo analizado. De todo esto se desprende que un modelo que represente fielmente el comportamiento del proceso de evacuación de las aguas residuales

debe incorporar la variable tiempo, y es, necesariamente, muy complejo.

3.6. DEMANDA TEMPORALMENTE VARIABLE

Las empresas de agua potable generalmente cobran mensualmente por sus servicios. Esto significa que las mediciones del consumo de agua, a nivel de arranque, se efectúan una vez al mes, y esto trae como consecuencia que la mínima unidad de tiempo de la cual se dispone de información es el mes. De esta manera, las variables que participan en el proceso de optimación representan promedios mensuales. Así, por ejemplo, el caudal de consumo de un sector determinado representa la cantidad de agua consumida durante un mes en ese sector, medida en unidades de flujo (metros cúbicos por mes, litros por segundo, etc.). Del mismo modo, un parámetro tan importante como la elasticidad precio de la demanda está referido al mes, representando la relación entre el cambio porcentual del consumo mensual y el cambio porcentual de la tarifa que se cobra mes a mes a los consumidores. Por esta razón, el análisis de problemas de este tipo se ha hecho normalmente considerando el comportamiento de las variables como promedios mensuales (ref. 2, 3, 5, 6, 7).

En el intento por representar más adecuadamente el comportamiento real de la dinámica de oferta y demanda en el sector agua potable, y con el fin de estudiar el comportamiento del sistema frente a solicitaciones puntuales, en este trabajo se introduce un modelo de demanda diaria variable, es decir, se opera el sistema considerando que a diferentes horas del día la demanda por agua potable es también diferente.

El consumo promedio mensual indica cuánta agua consume en un mes un grupo determinado de usuarios, pero nada indica acerca de la manera en que se distribuye ese consumo durante el mes. Si bien los estudios indican que el consumo es aproximadamente el mismo para todos los días del mes, la distribución de la demanda a lo largo del día presenta marcada variación. Existen periodos de alto consumo (periodos de peak) y horas del día en que el consumo es mínimo. Puede representarse la curva de demanda instantánea para un día como una curva sinuosa cuyo promedio es el consumo diario. Es lo que se ilustra en la Figura 3-4:

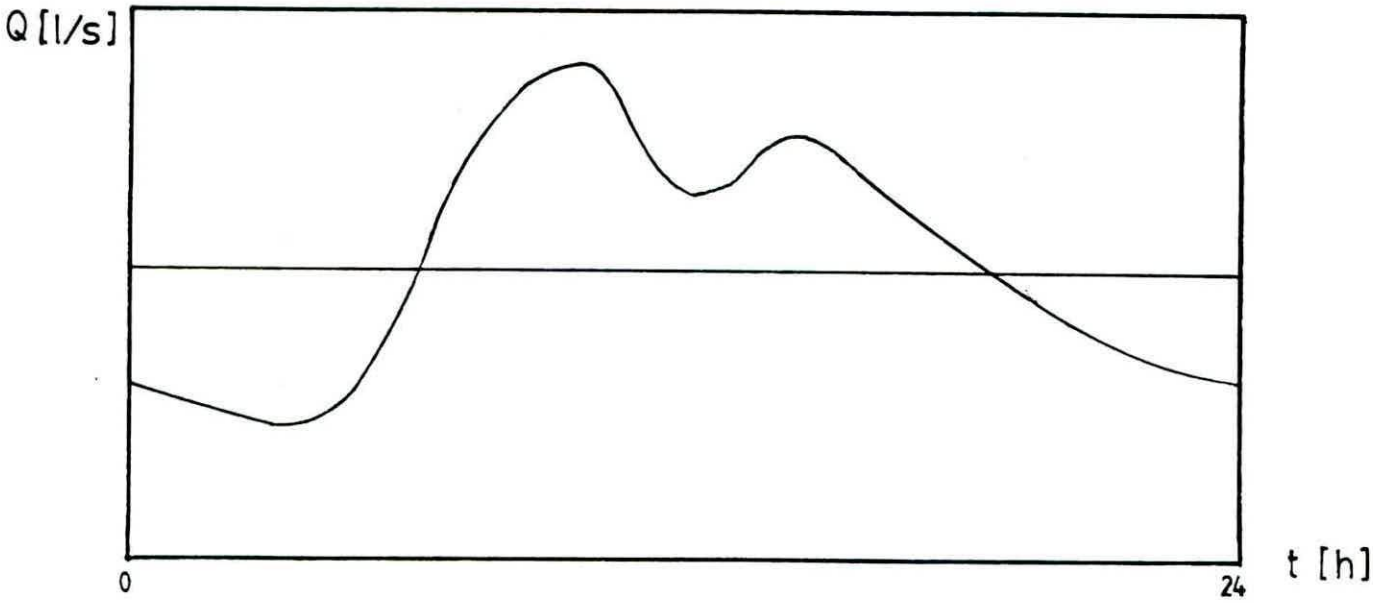


Fig. 3-4: CONSUMO DE AGUA POTABLE DURANTE EL DIA

Al aceptar la hipótesis de que el consumo total mensual se reparte por igual entre los dias del mes, el consumo diario promedio, indicado por la recta en la figura, coincide con el consumo mensual promedio. Es fácil apreciar que, en los periodos de punta, la solicitación sobre el sistema es mucho mayor que la que corresponde a una demanda promedio. En otras palabras, aunque el análisis tradicional indique que la asignación óptima de agua para un sector es de 25.920 [m³] en un mes (lo que corresponde a 10 litros por segundo), la distribución diaria real de esa cantidad de agua provoca que, en la hora peak, el sector demande 15 litros por segundo (por ejemplo). Si bien el sistema puede entregar 10 [l/s], quizás no puede satisfacer los 15 [l/s], produciéndose una situación de restricción en la hora peak con la consiguiente pérdida de beneficio. Además, resulta que el consumo real en la

hora peak, inferior a la demanda, baja el consumo mensual promedio a niveles inferiores a la demanda mensual promedio.

Si fuera posible medir los consumos a diferentes horas del día y cobrar tarifas horarias diferenciadas, sería posible optimizar la asignación para cada período del día. Puesto que no ocurre así en la realidad, sino que el cobro del servicio es por consumo total mensual, es necesario incorporar el aspecto de demanda temporalmente variable en la optimización, pero manteniendo como variables de la optimación económica a los caudales promedio mensuales, usando las curvas de demanda mensuales, y cobrando tarifas mensuales. Esta aproximación se realiza discretizando la curva de demanda instantánea durante el día en diferentes períodos, corriendo los modelos de agua potable y alcantarillado con los caudales propios de cada período, y efectuando la optimización económica minimizando la pérdida de beneficio expresada en función de los caudales mensuales. Se deben agregar, entonces, ecuaciones de correspondencia, que vinculen los caudales de cada período con los caudales mensuales. Estas ecuaciones son de dos tipos: las que definen la discretización de la función de demanda, y las que expresan el caudal mensual como promedio ponderado de los caudales de cada período.

Este enfoque permite que se optimice la asignación en aquellos periodos que, por su gran demanda, superan la capacidad de oferta del sistema, pero no afecta a los periodos del día en que sí se puede satisfacer la demanda.

3.7. METODOS DE SOLUCION DEL PROBLEMA

Recopilando, para asignar de manera óptima el agua potable en un sistema urbano, de acuerdo a las hipótesis que se han expuesto hasta aquí, se propone el siguiente esquema metodológico (Fig.: 3-5).

1) Suponer conocido, para cada sector, un factor alfa que indica la proporción de producción de las fuentes que potencialmente abastecen al sector. Sectores que reciben agua de las mismas fuentes tienen el mismo factor alfa.

$$[\alpha] = [\frac{Q_{if}}{Q_T}]_{i \times f} \qquad con \;\; Q_T = \sum_f Q_{if} \quad ,\forall i$$

$$\sum_f \frac{Q_{if}}{Q_T} = 1 \quad ,\forall i \qquad\qquad \begin{array}{l} i\text{: sectores} \\ f\text{: fuentes} \end{array}$$

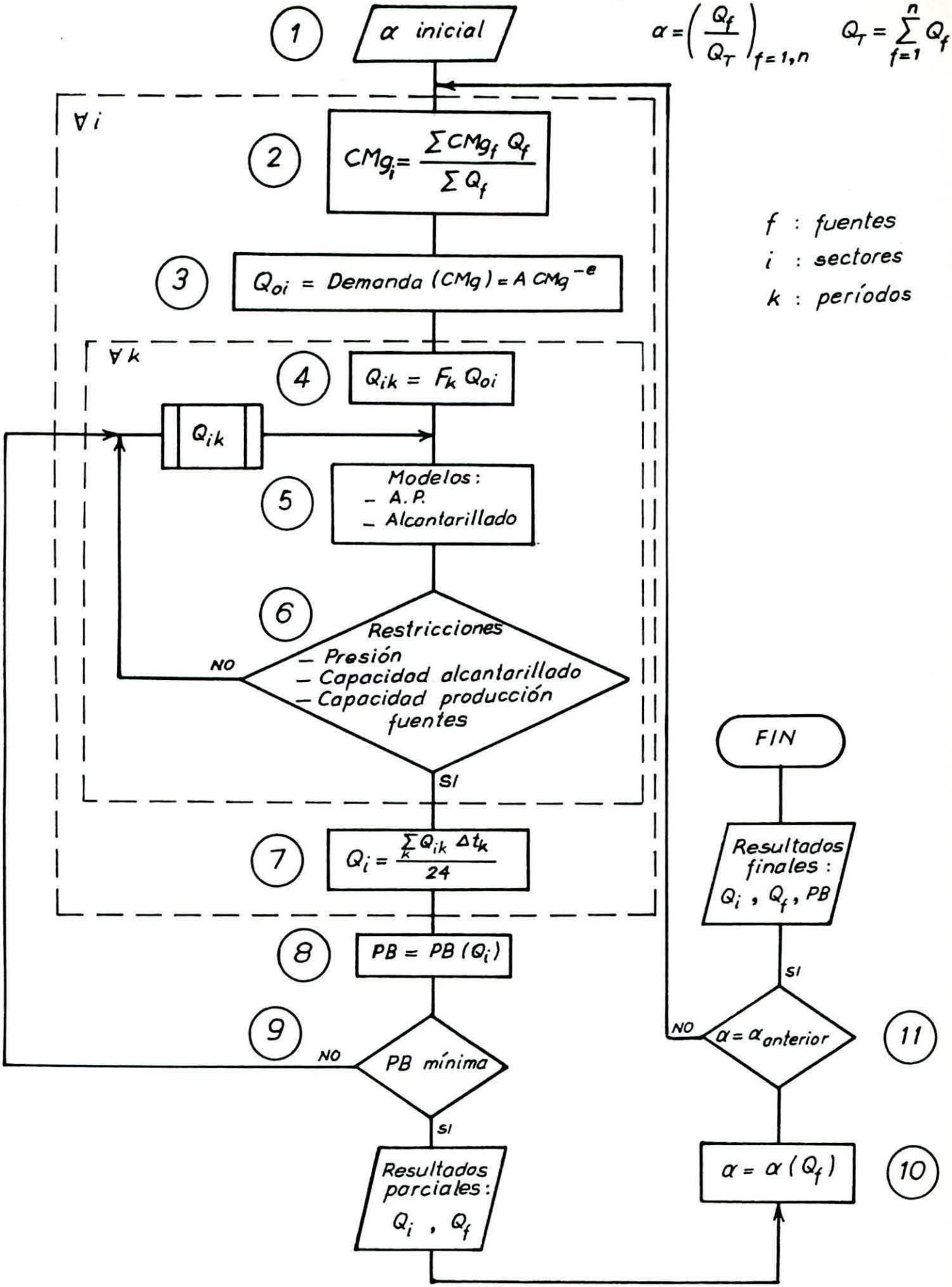


Fig. 3-5. Esquema metodológico de solución del problema.

2) Para cada sector, calcular su costo marginal según la expresión [3-1], es decir, ponderando los costos marginales de sus fuentes abastecedoras por el factor alfa dado en 1).

3) Para cada sector, obtener el caudal Q_{oi} que corresponde al CM_q, definido en 2), en la curva de demanda del sector.

4) Para cada sector, obtener el caudal de demanda Q_{ik} para cada período k del día, como proporción del caudal Q_{oi}. La proporción está dada por los factores F_k, que son un dato del problema.

5) Para cada período K, con todos los caudales Q_{ik} alimentar los modelos de las redes de agua potable y alcantarillado y obtener como salida los valores de control deseados (presión en nudos, gasto en cañerías, etc.)

6) Verificar que los valores de control cumplen las restricciones impuestas (dato del problema). Si no es así, modificar con algún criterio los valores de Q_{ik} y repetir los pasos 5) y 6).

7) Con los valores Q_{ik} obtenidos de 6) calcular, para cada sector, el caudal mensual Q_i.

8) Calcular la pérdida de beneficio, como función de los Q_i.

9) Con valores modificados de Q_{ik} se repiten los pasos 5) en adelante, hasta obtener la mínima pérdida de beneficio PB.

Este mínimo se alcanza cuando no es posible encontrar un menor valor de PB en una vecindad de los valores Q_{ik} actuales.

10) Con los caudales de las fuentes Q_f, obtenidos de 9), recalcular el factor alfa, para cada sector.

11) Repetir todo el proceso hasta que el factor alfa calculado en 10) sea igual (dentro de una cierta tolerancia) al de la iteración anterior. En este caso, la solución alcanzada es la óptima, dadas las restricciones del problema. Si no existiera ninguna restricción, solamente produciría la fuente más barata, es decir, el vector alfa sería unitario.

La metodología sugerida, si bien no representa el óptimo absoluto, atendiendo diversas simplificaciones empleadas, parece una razonable aproximación ingenieril al problema propuesto.

De lo expuesto, se comprende que en la búsqueda de la solución hay un juego entre los caudales mensuales, que deben maximizar el beneficio social, y los caudales por período, que deben cumplir con las restricciones técnicas. Las ecuaciones de correspondencia vinculan ambos tipos de caudales.

UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA
BIBLIOTECA CENTRAL
Inventario: M 11272 c2

Además, como se explica en el punto 3.3.3., los caudales óptimos ideales, que determinan el máximo valor posible del beneficio social, dependen de la proporción de producción de las distintas fuentes, en los sectores multiabastecidos. Existe, en consecuencia, una proporción de producción que hará máximo el beneficio social.

El problema expuesto hasta aquí puede resolverse de múltiples maneras. Mediante un procedimiento manual o computacional, se pueden seguir uno a uno los pasos explicados, utilizando un modelo de las redes que, a partir de caudales sectoriales de entrada, entregue como salida la capacidad o incapacidad técnica de satisfacer la demanda, y así iterar, en caso necesario, con nuevos caudales de entrada hasta llegar a la solución. Para modelar la red de agua potable, considerando flujo a presión, puede utilizarse un método como Cross o Newton-Raphson, mientras para el alcantarillado -flujo gravitacional- basta con imponer las ecuaciones de continuidad y capacidad.

Otra alternativa consiste en formular el problema como problema de optimización matemática con restricciones. En este caso, la función objetivo a minimizar es la pérdida de beneficio social, expresada en términos de los caudales mensuales sectoriales. Las restricciones incluyen las ecuaciones que modelan las redes de agua potable y alcantarillado, las que restringen la capacidad de las fuentes, las que restringen la presión en los nudos, las que

discretizan la curva variable de demanda, y las que definen el caudal mensual sectorial en función de los caudales por período. El problema matemático se puede resolver por cualquier método de programación no lineal, considerando que la hipótesis de flujo a presión introduce no-linealidades en algunas ecuaciones, o bien por el método de multiplicadores de Lagrange.

4. SISTEMA DE QUILLOTA-LA CRUZ

4.1 INTRODUCCION

4.1.1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

El área geográfica correspondiente a las ciudades de Quillota y La Cruz se ubica aproximadamente a 32°50' S y 71°20' W, en la zona central de Chile. Las comunas de Quillota y La Cruz forman parte de la provincia de Quillota, capital Quillota, que pertenece, a su vez, a la región de Valparaiso, o Quinta Región, capital Valparaiso.

Quillota y La Cruz son ciudades ribereñas del rio Aconcagua, el cual concentra en su hoya los principales centros urbanos del interior de la Quinta Región. Aguas arriba, comenzando por la más alejada, se encuentran las ciudades de Los Andes, San Felipe, Llayllay, Catemu, Hijuelas y La Calera; aguas abajo, Con-Cón. Limache y Nogales se ubican en cuencas tributarias. El rio Aconcagua constituye el principal eje de asentamientos urbanos de la zona interior de la región. La zona en estudio se encuentra a unos 30 km de la desembocadura, siguiendo el curso del rio.

La ciudad de La Cruz se ubica inmediatamente aguas arriba de Quillota, y su ubicación es más septentrional. La distancia entre sus centros es de unos 5 Km. En la Figura 4-1, se muestra un plano general de la región.

4.1.2 ACTIVIDADES PRINCIPALES

La zona en estudio es eminentemente agrícola, debido a la existencia de tierras de gran calidad y a la abundancia de canales de regadío que se alimentan principalmente del río Aconcagua. Quillota tiene además gran actividad comercial, algunas industrias medianas, y es un centro educacional importante en la zona. La Cruz es un centro residencial, cuya actividad más importante es la agrícola. No existe gran actividad turística en la zona, por lo que la población de ambas ciudades es estable durante el año.

4.1.3 AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO

El sistema de agua potable Quillota-La Cruz capta el recurso natural de cuatro fuentes. Una captación superficial desde el canal de regadío Waddington, cuyo caudal pasa por una planta de filtros. Es la fuente más septentrional del sistema, y se encuentra a alta cota con respecto al mismo. Existen además tres captaciones subterráneas, ubicadas dos de ellas en el límite de

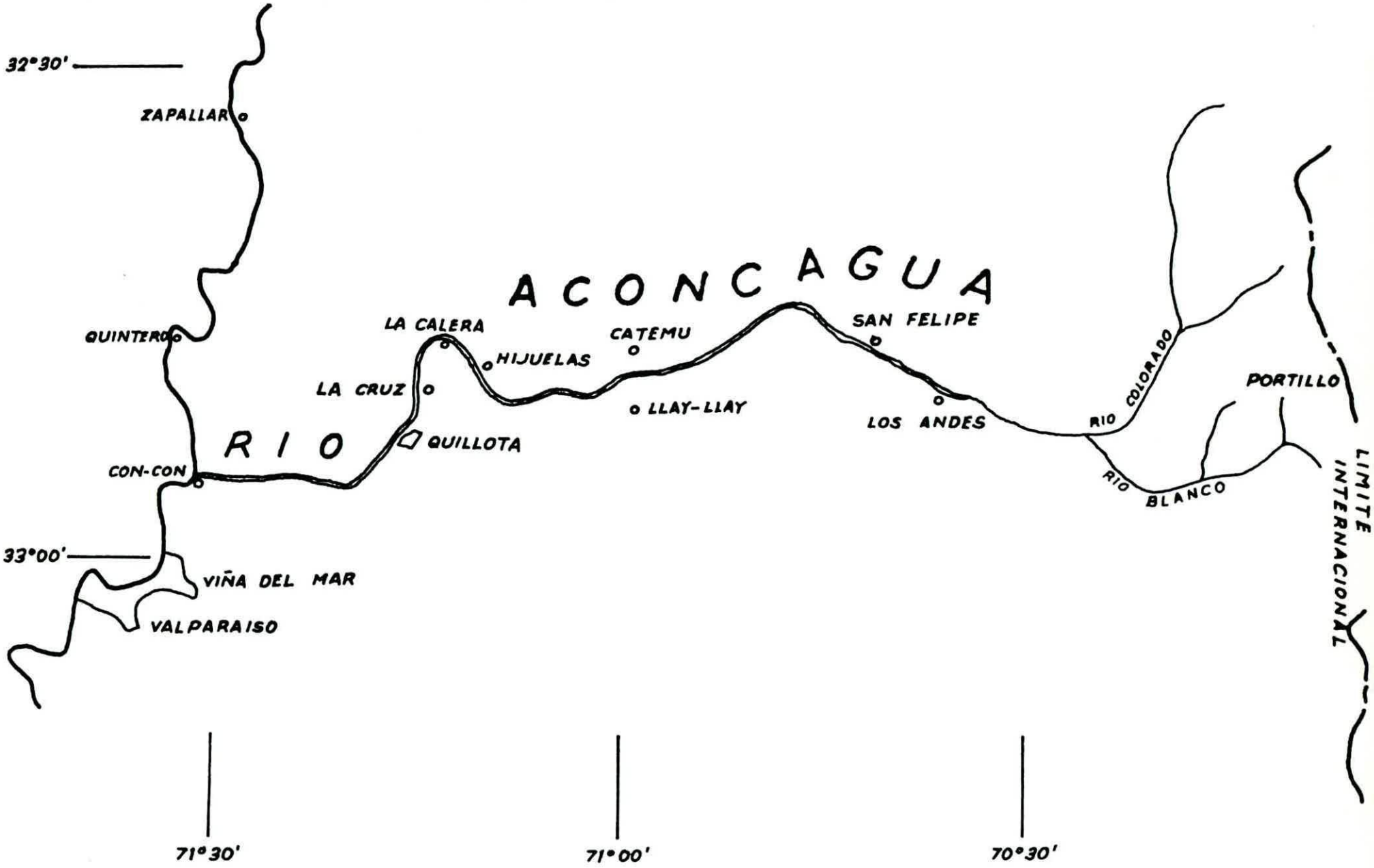


Fig. 4-1. Plano general del Valle de Aconcagua.

ambas comunas, y la tercera en Quillota, que se abastecen de agua proveniente de la napa del río. La localidad de San Isidro, al sur del sistema, está conectada al mismo, aunque en ocasiones se cierra la válvula y se alimenta de los pozos del regimiento que existe en ese lugar.

La red de alcantarillado cubre las ciudades de La Cruz, Quillota, y la localidad de Boco. Un emisario descarga al río, al sur del sistema, sin ningún tipo de tratamiento. En el futuro se construirá una planta de tratamiento secundario basado en zanjas de oxidación (Ref. 13).

4.2 ANALISIS DE OFERTA

4.2.1 OFERTA AGUA POTABLE

4.2.1.1 INTRODUCCION

Se entiende por oferta el conjunto de dispositivos, ingenios u obras creadas por el hombre con el objeto de satisfacer necesidades de bienestar de la comunidad. Entre estas alternativas se encuentran los servicios de agua potable convencionales, que permiten distribuir el líquido elemento a nivel de las viviendas por medio de redes públicas de abastecimiento.

Por lo tanto, se puede entender que la oferta o capacidad de venta del bien agua potable, a un determinado nivel de calidad y para un consumidor de un sistema público de abastecimiento, está dada por la capacidad individual de los componentes que la conforman, así como por la interrelación funcional que existe entre éstos.

Dadas las naturales diferencias en los componentes físicos de los sistemas de servicios de agua potable, se puede identificar sus funciones en las siguientes categorías:

- Captación: obras necesarias para captar los recursos que se requieren, sean éstos de origen superficial o subterráneo.

- Tratamiento y Purificación: conjunto de obras destinadas a tratar las aguas crudas (desarenador, sedimentador, filtros, coagulador, mezclador, floculador, decantador y desinfección) para el consumo doméstico dentro de los rangos de calidad aceptables.

- Conducción: obras necesarias para el transporte del grueso volumen a consumir.

- Almacenamiento: se entiende como tal a los estanques de regulación, cuya función es absorber variaciones horarias de la demanda y permitir volúmenes de reserva para fines especiales (seguridad e incendio).

- Red de Distribución: corresponde a la red de matrices y cañerías desde la salida de los estanques hasta el usuario mismo, con objeto de entregar los recursos al consumo (residencial, comercial, industrial, municipal y de incendio).

A continuación, se analizan las principales características de la oferta del sistema en estudio, cuya configuración general se aprecia en la Fig. 4-2.

4.2.1.2 FUENTES

Potencialmente en la ciudad de Quillota-La Cruz existen tres posibilidades para el abastecimiento de agua, que son: canal de regadío, aguas subterráneas y río Aconcagua.

El complejo en estudio posee cuatro fuentes productoras de agua potable que utilizan los dos primeros tipos de abastecimiento: a través de sondajes y del canal Waddington. El agua de pozo tiene

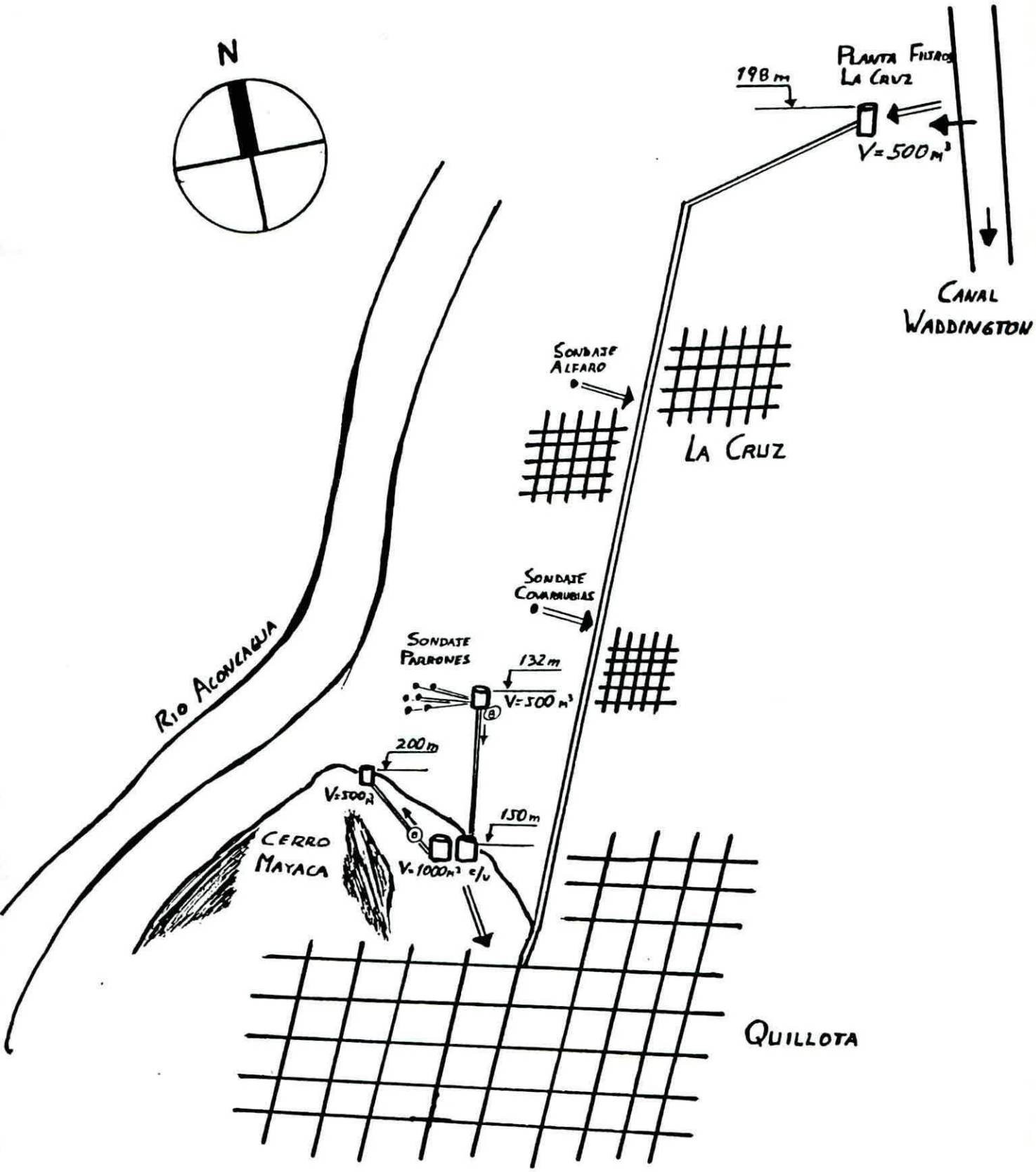


Fig. 4-2. Dibujo esquemático del sistema de agua potable Quillota-La Cruz.

la ventaja de evitar el costo de una planta de filtros, ya que no es necesaria, y por otra parte, si se extrae agua del canal Waddington aguas arriba de La Cruz, se evita el bombeo, ya que escurre a la ciudad mediante una aducción a presión.

La planta de filtros La Cruz, el sondaje Alfaro, el sondaje Covarrubias y el sondaje Parrones son las cuatro fuentes existentes en la zona, con una capacidad total de producción máxima de 250 [l/s] app., según Esval. Actualmente el sistema se encuentra en proceso de expansión, existiendo proyectos para instalar una nueva planta de filtros al norte de La Cruz y realizar nuevos sondajes en Covarrubias y Parrones.

- **Planta de filtros La Cruz:**

  Esta planta extrae el líquido desde el canal Waddington, aguas arriba de La Cruz, la cual es almacenada en un estanque de 500 [m^3], previo proceso de filtración y purificación. Luego es conducida por intermedio de una tubería de fierro fundido de 300 [mm] de diámetro y 6 [Km] de largo al centro de Quillota, bajando por la Avenida 21 de mayo a través de La Cruz. La capacidad máxima es de 80 [l/s], y la producción entre enero de 1989 y junio de 1990 se detalla en la tabla 4-2.

- **Sondaje Alfaro:**

Esta fuente consiste en un pozo profundo ubicado en La Cruz (sector Av. 21 de mayo con Tucapel), y extrae el agua mediante una bomba KSB modelo UPA 250-28/3, que la conduce a la matriz principal que baja hacia Quillota. La producción de Alfaro se muestra en la tabla 4-2, siendo su capacidad límite de 30 [l/s].

- **Sondaje Covarrubias:**

Ubicado en la calle del mismo nombre, y con una capacidad de producción de 25 [l/s], este pozo posee una bomba KSB modelo BPH 384/2, que al igual que el sondaje Alfaro, impulsa el agua a la tubería principal. En el mismo cuadro se aprecia la producción de esta fuente entre enero 89 y junio 90.

- **Los Parrones:**

Consiste en seis sondajes, ubicados al norte del cerro Mayaca, cuyas bombas impulsan agua a un estanque de 500 [m^3] ubicado en el mismo sector (previo proceso de desinfección). Luego, seis bombas SIHI-HALBERG modelo NOWA 125/40 en paralelo reelevan el agua a dos estanques de 1000 [m^3] que se

encuentran en el cerro Mayaca. Posteriormente, dos bombas LEADER modelo 1024 reelevan parte de esa agua a un estanque de 500 [m³] ubicado en la cima del cerro. Los sondajes de Parrones, cuya capacidad de producción asciende a 115 [l/s], son, junto a la planta de filtros de La Cruz, la fuente que aporta la mayor cantidad de agua potable al sistema, como se puede constatar en las tablas 4-1 y 4-2:

Tabla 4-1 RESUMEN TOTAL DE PRODUCCION. JUL 89 - JUN 90

FUENTE	CANTIDAD [m³]	PROMEDIO [l/s]	INCIDENCIA %
LA CRUZ	2.198.214	69.7	40.0
ALFARO	117.054	3.7	2.1
COVARRUBIAS	611.928	19.4	11.2
PARRONES	2.559.794	81.2	46.7
TOTAL	5.486.990	174.0	100.0

Fuente: ESVAL

Tabla 4-2 PRODUCCIONES MENSUALES AGUA POTABLE EN QUILLOTA Y LA CRUZ [m³] ENERO 1989 - JUNIO 1990

Mes	Año	LA CRUZ	ALFARO	COVARRUBIAS	PARRONES
ENE	89	208.630	51.830	66.960	265.017
FEB	89	194.040	72.576	60.480	278.208
MAR	89	213.010	14.689	51.120	308.811
ABR	89	207.800	2.592	64.620	293.940
MAY	89	207.500	1.296	66.690	272.685
JUN	89	207.900	0	64.530	230.094
JUL	89	202.742	0	37.476	207.036
AGO	89	183.433	3.096	13.878	224.856
SEP	89	178.740	0	15.174	215.460
OCT	89	184.698	3.888	66.240	211.898
NOV	89	178.740	0	63.900	207.036
DIC	89	184.698	14.256	66.960	227.124
ENE	90	184.698	39.636	65.700	223.398
FEB	90	166.824	30.510	60.030	209.952
MAR	90	184.698	23.328	44.190	229.392
ABR	90	178.740	0	48.240	199.098
MAY	90	182.463	2.340	65.340	211.572
JUN	90	178.740	0	64.800	192.942

Fuente: ESVAL

4.2.1.3 REGULACION

En el sistema de Quillota-La Cruz existen cinco estanques de regulación funcionando actualmente, más un sexto que se encuentra fuera de uso. El estanque de La Cruz se encuentra en la planta de filtros, a una cota de 198 [m], y tiene una capacidad de 500 [m^3] que sirve para almacenar el agua que es conducida a La Cruz y Quillota.

En la planta de Parrones existe un estanque de 500 [m^3], lugar donde se reeleva el agua extraída desde los sondajes hasta la franja media-baja del cerro Mayaca, donde se encuentran dos estanques semienterrados de concreto de 1000 [m^3] a una cota de 150 [m], que almacenan y distribuyen el agua a la ciudad de Quillota.

Finalmente, en el cerro Mayaca existe una planta reelevadora cuya misión es enviar agua a la parte alta del cerro, donde existe un estanque de 500 [m^3] a una cota de 200 [m], con el objeto de abastecer de agua potable a las casas que se encuentran en ese sector alto de la ciudad.

Por último, es interesante hacer notar que se encuentra en estudio el proyecto de construcción de un estanque de 2000 [m^3] en el cerro Mayaca, junto a los dos existentes de 1000 [m^3], que almacenaría las aguas provenientes de la nueva planta de filtros que se construirá en La Cruz, aguas arriba por canal Waddington, para

mejorar el suministro del vital elemento como se mencionó recientemente.

4.2.1.4 DISTRIBUCION

4.2.1.4.1 CARACTERISTICAS DE LA DISTRIBUCION

Al igual que en muchas ciudades, la red existente en Quillota y La Cruz es de una disposición del tipo mixto, combinando redes ramificadas o abiertas con redes de malla o cerradas. Este último tipo de red es la que abunda en mayor parte de la ciudad, otorgándole un importante grado de elasticidad al sistema. Ello sirve para prevenir los inconvenientes provocados por accidentes, trabajos de mantención, solicitaciones adicionales como incendios, etc.

El material del tendido de cañerías del sistema se compone principalmente de asbesto cemento, fierro fundido, acero y PVC. Los diámetros van de 50 hasta 300 [mm].

Dado que actualmente todos los proyectos de expansión y mejoras de la red utilizan generalmente las cañerías de asbesto cemento y de PVC, debido a sus cualidades (su menor costo que el acero o el

fierro fundido, sus facilidades de instalación, condiciones hidráulicas y resistencia física), la composición de los materiales de la red va evolucionando continuamente.

Hace una década, la relación entre asbesto cemento y fierro fundido según los diámetros de las tuberías era de la siguiente manera:

Tabla 4-3 COMPOSICION DE LA RED DE AGUA POTABLE DE QUILLOTA - LA CRUZ

	LONGITUD	MATERIAL [m]
DIAMETRO [mm]	Asbesto Cemento	Fe Fundido
50	1.950	---
75	22.150	5.650
100	21.230	5.170
125	1.275	325
150	3.520	1.330
200	3.775	625
250	---	1.000
300	---	8.100
TOTAL	53.900	22.200
PORCENTAJE	71	29

Fuente: Memoria Sres. Hugel y Delpino (1976)

En el Anexo N° 1 se entrega el plano esquemático general de la red de agua potable, basado en los planos de ESVAL (Ref. 9), donde se muestran las tuberías principales que sirven de base a la modelación.

4.2.1.4.2 ANALISIS DE PERDIDAS

Pese a que Quillota-La Cruz es una conurbación relativamente pequeña, existe, según ESVAL, una apreciable cantidad de pérdidas en el sistema, del orden del 35%. Esto se debe a la poca eficiencia de la red, producto entre otras cosas, de su antigüedad (más de medio siglo funcionando), y la escasa mantención a que es sometida, debido a la falta de personal disponible.

Se debe señalar, eso sí, que todos los proyectos de mejoramiento señalados anteriormente, contemplan la colocación de nuevas matrices, extracción de cañerías en desuso y cambio de algunas válvulas, lo que permitirá un funcionamiento más adecuado del sistema, acorde a las necesidades de la ciudadanía, ya que todos los estándares mundiales aceptan como "óptimo" pérdidas de hasta un 25%.

Las pérdidas registradas en Quillota-La Cruz entre julio de 1989 y junio de 1990 fueron las siguientes:

Tabla 4-4 PORCENTAJE DE PERDIDAS EN QUILLOTA-LA CRUZ JUL 89 - JUN 90

BIMESTRE	MESES	PRODUCCION [m³]	FACTURACION [m³]	PERDIDAS %
IV	JUL-AGO 89	873.955	548.034	37.2
V	AGO-SEP 89	877.542	557.257	36.4
VI	OCT-NOV 89	944.268	613.927	34.9
I	ENE-FEB 90	982.365	677.318	30.9
II	MAR-ABR 90	909.183	625.123	31.1
III	MAY-JUN 90	899.677	585.122	34.9
TOTAL		5.486.990	3.606.781	34.2

Fuente: ESVAL

Donde:

$$PERDIDAS = 1 - \frac{FACTURACION}{PRODUCCION}$$

Debido a que los valores bimestrales de fugas presentan una desviación pequeña con respecto al promedio, se adoptará un valor constante igual a 34.2%.

4.2.2 OFERTA DE ALCANTARILLADO

4.2.2.1 INTRODUCCION

Los datos más actualizados que tiene la Administración Quillota de ESVAL sobre el sistema de recolección de aguas residuales de Quillota y La Cruz corresponden a un completo catastro realizado por la empresa ICSA en el año 1989 para el proyecto "Mejoramiento del alcantarillado Rio Aconcagua" (ref. 13).

Del análisis de los planos de alcantarillado (Anexo 2), se advierte la idea de los diseñadores al planificar la red. La Cruz y Quillota son dos ciudades vecinas, ubicadas al margen del Rio Aconcagua, en una disposición norte-sur, siendo La Cruz la más septentrional. Un plano topográfico muestra que La Cruz está a cota más alta, lo que, obviamente, implica que el sentido de flujo del rio es de norte a sur, de La Cruz a Quillota. Por ello, la red de alcantarillado se ha diseñado de manera tradicional, completamente gravitacional, comenzando desde La Cruz y siguiendo hasta Quillota. También recibe las aguas de Boco, al otro lado del rio. Los tres colectores del sistema se juntan en el emisario que descarga directamente en el Aconcagua, unos 1200 metros aguas abajo de la ciudad.

Es importante señalar que actualmente el sistema no tiene ningún tipo de tratamiento de las aguas residuales, descargándose éstas

directamente al río, que desemboca en el mar a la altura de Con-Cón.

4.2.2.2 RED DE ALCANTARILLADO

La red de alcantarillado del sistema Quillota-La Cruz se compone de 537 cañerías y cerca de 2000 cámaras (ref. 13). El material de los tubos es mayoritariamente cemento comprimido (CC), con existencia también de cemento-asbesto (CA) y, en los sectores más recientes, poli-vinil-cloruro (PVC). Existe algún tramo de otro material.

Los diámetros más comunes son 175 y 200 [mm] en los laterales y cañerías simples. El colector I alcanza 600 [mm]; el colector II, 600; y el colector III, 500. El emisario es de 700 [mm].

Las pendientes de los tramos son muy desiguales, alcanzando grandes valores en la zona del cerro Mayaca. Con todo, un valor típico es de 10 por mil.

La red se compone de tres colectores, a los cuales descargan las cañerías y laterales que cubren el sistema. El colector I recibe los aportes de La Cruz, cerro Mayaca, y de los sectores ubicados en la ribera del río (Sectores 21, 2, 17, 14, 18). El colector II evacúa las aguas de los sectores 1, 3, 5 (centro de Quillota) y 15. El colector III desagua los caudales de los sectores 6, 8 y 9. Los

colectores II y III se juntan en Av. Valparaiso con J. B. Alberdi, y se unen con el colector I, formando el emisario, 500 metros más abajo.

Geográficamente, la red cubre adecuadamente todos los sectores dentro del límite actual del casco urbano de ambas ciudades. Las nuevas poblaciones, ubicadas hacia el sur, incluyen en el proyecto de urbanización el saneamiento. Sin embargo, en los sectores 21 (La Cruz) y 2 (Cerro Mayaca) la cobertura es de 55% y 44%, respectivamente. Esto se debe a falta de uniones domiciliarias en el caso de Mayaca; y a que el sector es semi-rural, con parcelas alejadas de la red, o con sistemas sanitarios propios, en el caso de La Cruz.

4.3. SECTORIZACION

4.3.1. INTRODUCCION

Como se indicó en el Capítulo 2, uno de los objetivos de la presente memoria es obtener la óptima asignación de agua potable dentro del sistema de Quillota. Es decir, una materia en estudio es el reparto del recurso agua potable a nivel interno; no considerando el sistema como un todo, sino analizando las interrelaciones que existen al interior de él. Es necesario desagregar el sistema en sus componentes (producción, regulación,

distribución, etc.), y analizar si, a su vez, estas componentes son susceptibles de algún grado de desagregación, de modo de obtener finalmente una visión del sistema detallado en su máxima expresión.

Al analizar la demanda sobre el sistema se aprecia que ésta permite ser desagregada considerando los parámetros socio-económicos de la población abastecida, puesto que la demanda de agua potable depende fuertemente del nivel económico-social del grupo demandante, y además, en el caso de Quillota, esta desagregación socio-económica se corresponde con una desagregación geográfica, ya que es posible identificar ciertos sectores de la ciudad con determinadas características socio-económicas. De esta manera, se dividirá la ciudad en distintos sectores geográficos, cada uno de los cuales tendrá parámetros socio-económicos homogéneos, no necesariamente iguales a los de otro sector geográfico.

Este mismo análisis es válido para la componente distribución de agua potable y alcantarillado. Es decir, un análisis de la morfología de los sistemas de distribución (i.e. las redes), tanto de agua potable como de alcantarillado, permitirá identificar, en cada caso, distintos sectores geográficos que tendrán características homogéneas en cuanto a la manera como es distribuida el agua potable, o recolectadas las aguas servidas.

El método de trabajo es, entonces, analizar la red de agua potable y sectorizar las zonas abastecidas; hacer lo mismo con respecto a

la red de alcantarillado; hacer la sectorización considerando el nivel socio-económico. Finalmente, se intersectan los sectores geográficos así definidos, para obtener los sectores definitivos, cada uno de los cuales tiene características homogéneas en cuanto a parámetros socio-económicos, y morfológicos de distribución de agua potable y de recolección de aguas servidas.

4.3.2. AGUA POTABLE

El plano de la red de agua potable existente en Quillota y La Cruz (ref. 9) revela que, con la sola excepción de la zona ubicada a lo largo de la Avenida 21 de mayo (Camino Troncal) desde Callejón Covarrubias hacia el norte - que es abastecida como servicio en camino por la fuente La Cruz -, y de la zona comprendida entre Callejón Covarrubias y Calle Rinconada, por el camino Troncal, que es abastecida por las fuentes La Cruz, sondaje Alfaro y sondaje Covarrubias, todo el resto del sistema de Quillota queda comprendido en la red a presión que recibe el agua de cuatro fuentes: La Cruz, Alfaro, Covarrubias y Parrones. Esto indica que cada punto en la red puede recibir agua indistintamente de una o de todas las fuentes, en una combinación que estará dada por las condiciones de operación del resto del sistema; luego, todos estos puntos de la red deben considerarse como un solo sector.

En resumen, la sectorización de acuerdo a la red de agua potable considera tres sectores: la Avenida 21 de mayo, al norte de Callejón Covarrubias; entre Covarrubias y Rinconada; y todo el resto del sistema.

4.3.3. ALCANTARILLADO

La red de alcantarillado existente en Quillota y La Cruz (ref. 13) está compuesta básicamente por tres colectores que reciben las aguas servidas de todo el sistema. Esto permite sectorizar de acuerdo a las zonas que sirve cada colector. El Colector I recibe las descargas de La Cruz y Avda. 21 de mayo hasta Rinconada, más parte del Cerro Mayaca. El Colector II, las del resto del Cerro Mayaca y del centro de Quillota. EL Colector III cubre las poblaciones del sur y sureste de Quillota.

Estas tres zonas constituyen la sectorización del sistema de acuerdo a la red de alcantarillado.

4.3.4. NIVEL SOCIO-ECONOMICO

Para caracterizar el nivel socio-económico de la población servida se consideraron los siguientes aspectos (ref. 11):

- Uso predominante del suelo urbano
- Tasación del terreno
- Estado de la construcción
- Densidad poblacional

Los antecedentes sobre uso predominante del suelo urbano permiten identificar las zonas geográficas con uno de los tipos de usuarios de agua potable y alcantarillado: residencial, comercial, industrial y público.

Los datos sobre estado de la construcción y valor del terreno permiten caracterizar el nivel socio-económico de las diferentes zonas, apoyados por la información sobre densidad poblacional. En efecto, de acuerdo a un estudio urbanístico sobre la ciudad de Quillota (ref. 11), las zonas de mayor densidad de población y estado de la construcción regular a malo, corresponden a las zonas periféricas de la ciudad, constituidas por poblaciones nuevas y campamentos, donde hay un menor valor del suelo. En la zona central y más antigua, constituida por un plano de Damero, la densidad poblacional disminuye y el valor del suelo aumenta, concentrándose además en esta zona parte importante de la actividad comercial de la ciudad.

Al analizar estos antecedentes, y en base a inspección directa de las zonas en estudio, y de información adicional recogida de profesionales del Departamento de Planificación de la I. Municipalidad de Quillota, es posible concluir que:

a. No existe una segregación espacial clara entre actividades comerciales y sector residencial, sino más bien un sector mixto residencial-comercial que se ubica preferentemente en el sector central de Quillota;

b. la actividad industrial y los consumos que pueden considerarse públicos carecen propiamente de importancia desde el punto de vista del uso del sistema de agua potable y alcantarillado, con consumos inferiores al 5%, según datos de ESVAL, por lo que no serán considerados en adelante;

c. la relativa homogeneidad socio-económica que presenta la ciudad permite limitar la segregación a tres niveles socio-económicos: alto, medio y bajo.

Es posible obtener esta división socio-económica en tres niveles a partir de la información sobre estado de la construcción y sobre valor del suelo, de acuerdo al siguiente criterio:

Tabla 4-5: CRITERIO DE DEFINICION NIVEL SOCIO-ECONOMICO

	Nivel Socio-Económico		
	Estado de la Construcción		
Valor del Terreno	Bueno	Regular	Malo
Zona A	A	A	M
Zona B	A	M	M
Zona C	M	M	B
Zona D	M	B	B

Fuente: Elaboración Propia

A : Alto
M : Medio
B : Bajo

Valor del Terreno:

Zona A : 2.500 $/m²
Zona B : 1.000 $/m²
Zona C : 800 $/m²
Zona D : 500 $/m² (Fuente: S.I.I. V Región 1987)

De acuerdo con este criterio, y en base a los antecedentes obtenidos y a los planos de distribución geográfica de uso del suelo, valor del suelo, y estado de la construcción (ref. 11), se superpone esa información y se obtienen veintiún sectores, caracterizados según tipo de usuario y nivel socio-económico.

Tabla 4-6: SECTORIZACION SOCIO-ECONOMICA

Sector	Tipo de Usuario	Nivel socio-económico
1	R	M
2	R	B
3	R	M
4	C	M
5	C	A
6	C	B
7	I	
8	R	B
9	R	M
10	P	
11	P	
12	I	
13	I	
14	R	M
15	R	A
16	P	
17	C	M
18	R	B
19	P	
20	P	
21	R	M

Fuente: Elaboración propia

Tipo de Usuario	:	R	: Residencial
		C	: Comercial
		I	: Industrial
		P	: Público o Fiscal
Nivel Socio-Económico:		A	: Alto
		M	: Medio
		B	: Bajo

Se hace notar que la ciudad de La Cruz, por su relativa homogeneidad socio-económica, se considera como un solo sector residencial de nivel medio, y corresponde al sector 21.

4.3.5. SECTORIZACION FINAL

Como síntesis de los análisis anteriores de sectorización según la oferta de agua potable y alcantarillado, y según nivel socio-económico, corresponde realizar la sectorización final, que engloba estos tres aspectos. Esto se realiza simplemente intersectando los sectores obtenidos de cada uno de los tres análisis anteriores, de manera que se obtienen sectores finales que pertenecen inequívocamente a cada una de las sectorizaciones parciales anteriores, y que, por lo tanto, tienen características internas homogéneas tanto en la morfología de las redes de agua potable y alcantarillado como en el nivel socio-económico.

Dado que las sectorizaciones de acuerdo con la red de agua potable y la de alcantarillado son poco desagregadas en comparación con la sectorización socio-económica, es esta última la que influye más fuertemente al hacer la sectorización final. Así, la sectorización se basa en los sectores socio-económicos vistos en el punto anterior, teniendo presentes las siguientes consideraciones:

a. Se eliminan los sectores industriales y públicos, debido a la mínima participación de estos tipos de usuarios en el consumo total;

b. los sectores residenciales y comerciales se convierten en un sector mixto residencial-comercial, que refleja más exactamente la realidad que se observa en la zona en estudio;

c. los sectores socio-económicos 4 y 5 se unifican en un solo sector, llamado sector 5;

d. con el fin de representar más adecuadamente la realidad, y teniendo en cuenta que es de relevante importancia modelar adecuadamente los sistemas de agua potable y alcantarillado, según se ve en el punto 6.3., es necesario crear dos sectores adicionales, que corresponden a los usuarios del sistema de agua que no están conectados al alcantarillado en los sectores 2 y 21. Estos dos nuevos sectores se denominan 202 y 221, respectivamente. Se hace notar que estos dos sectores sin alcantarillado tienen la misma situación en cuanto a la morfología de la red de agua potable que los dos sectores originales de los que se desprenden (2 y 21), pero no están conectados a la red de alcantarillado, y, en consecuencia, su demanda por agua potable es inferior. Estos dos sectores se crean porque los antecedentes recogidos (datos de facturación de ESVAL y datos censales INE), indican la existencia de un número importante de usuarios no conectados al alcantarillado en esos dos sectores (45% en el sector 21, y 56% en el sector 2).

El sistema Quillota-La Cruz queda desagregado finalmente en 14 sectores:

Tabla 4-7: SECTORES DEL SISTEMA QUILLOTA-LA CRUZ

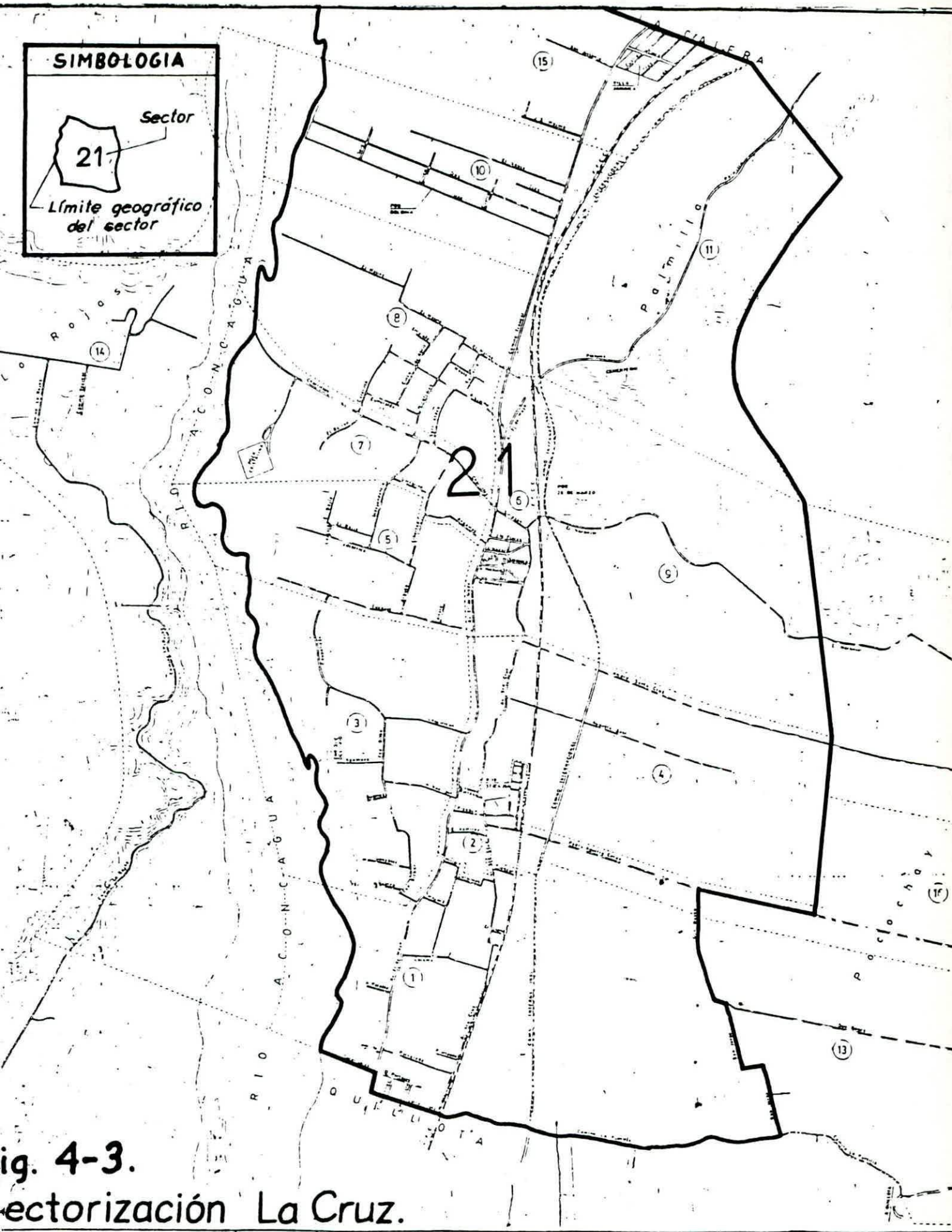
Sector	Observaciones	Correspondencia Sectores ESVAL
21	La Cruz; RM	36, 37, 38, 39
221	Sector 21 s/alcantarillad	36, 37, 38, 39
1	R M	24; parte del 35
3	R M	2, 25; parte del 35
2	R B	Parte del 21, 22
202	Sector 2 s/alcantarillado	Parte del 21, 22
17	R-C M	Parte del 12
5	R-C A	11,13,14,15,16,17,19,20; parte del 12
6	R-C B	Parte del 23
8	R B	Parte del 8, 23
9	R M	5,7,9,10,18,28,29,30,34; parte del 4,8
14	R M	3, 6, 32, 33; parte del 1
15	R M	26
18	R B	31

Fuente: Elaboración Propia

R : Residencial
C : Comercial
A : Alto
M : Medio
B : Bajo

Los límites geográficos de los sectores del sistema se muestran en la Figura 4-3 (La Cruz) y en la Figura 4-4 (Quillota).

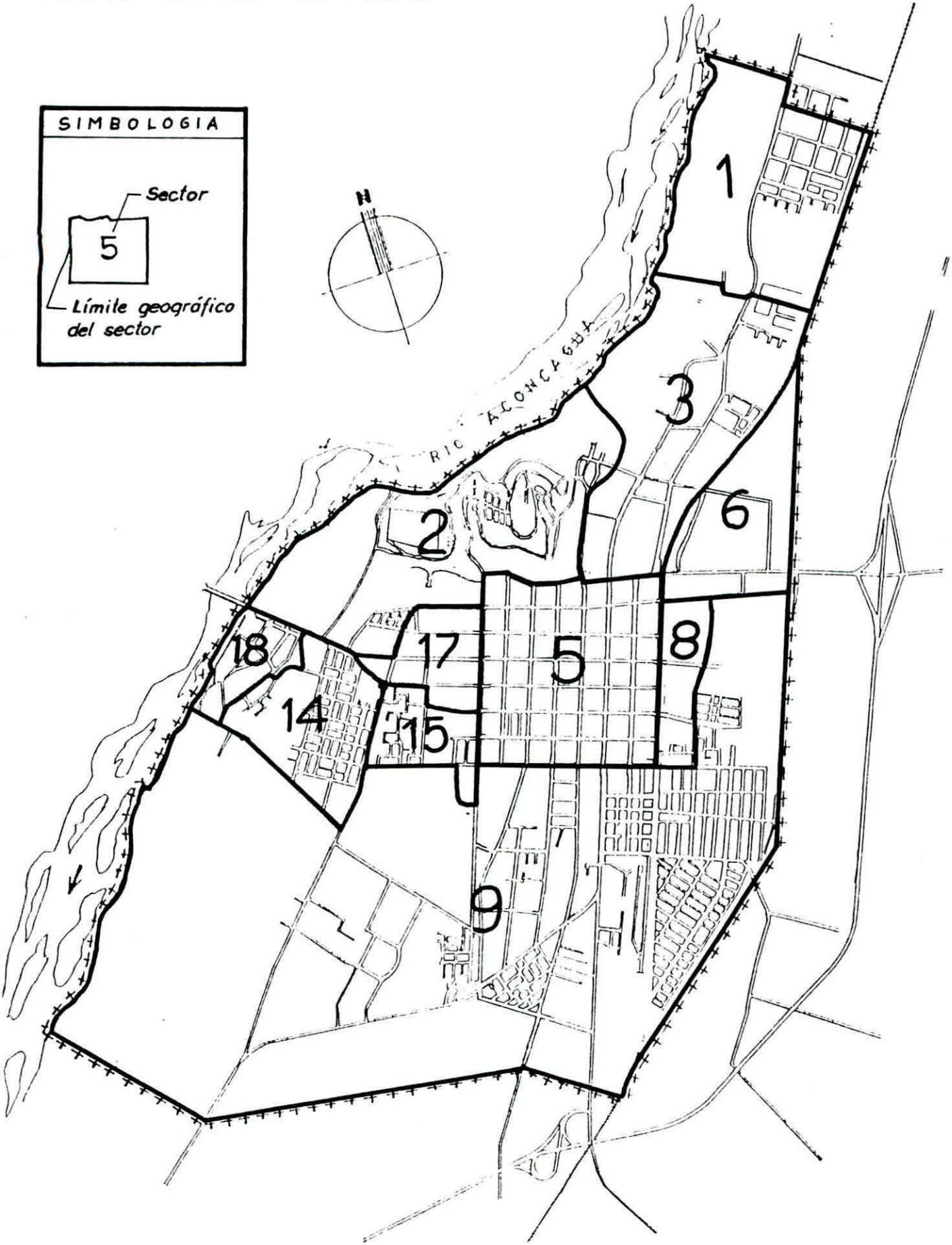
La correspondencia con sectores ESVAL se refiere a los grupos en que ESVAL divide al sistema de Quillota-La Cruz, para su administración interna. La información de facturaciones, consumos



ig. 4-3.
ectorización La Cruz.

IRECCION DE OBRAS		PLANO DE COMUNA	

Fig. 4-4.
Sectorización Quillota



de agua potable, gastos de alcantarillado, y otros, está referida a los grupos ESVAL, y de acuerdo con la correspondencia indicada en la Tabla 4-7, se asocia a los 14 sectores en que se ha dividido el sistema.

4.4 ANALISIS DE DEMANDA

4.4.1 INTRODUCCION

Una vez sectorizado el sistema de Quillota y La Cruz, es posible obtener la curva de demanda agregada, algo vital para maximizar el beneficio social. Para ello es necesario asignar a cada sector una serie de variables que se requieren para la construcción de esa demanda. En este subcapitulo se analizarán dichas variables y se obtendrán las demandas correspondientes.

Hay que recordar un aspecto bien importante. Antiguamente se ha estimado la demanda futura en sistemas de distribución de agua potable como función de un parámetro llamado dotación. Este método tiene el inconveniente de que la demanda del consumidor es independiente del costo, es decir, se desentiende de futuros cambios en el precio del bien. Debido a la imposibilidad de mantener este supuesto, se define la demanda como una función que sí sea dependiente del nivel de precio.

En consecuencia, cuando se hable en la presente memoria de "demanda", se entenderá como el volumen de agua que el usuario desea recibir dada una cierta tarifa. Un poco más adelante se volverá a recalcar este aspecto.

4.4.2 INFLUENCIA DEL TIPO DE CONSUMIDOR

De acuerdo a la finalidad de su uso, la demanda de agua potable se divide en: residencial, comercial, industrial y pública o fiscal.

En la ciudad de Quillota, al igual que en muchas otras, las principales fabricas e industrias de la zona (que no son significativas) disponen de pozos propios, lo que hace insignificante el consumo industrial.

Por otra parte, de acuerdo a la sectorización efectuada anteriormente, no existe un sector netamente comercial, sino que son sectores residenciales o sectores residenciales-comerciales, ya que se encuentran intimamente ligados. Un claro ejemplo de esto lo constituye el centro de la ciudad.

La distribución porcentual del consumo se manifiesta de la siguiente manera:

Tabla 4-8 DISTRIBUCION DEL CONSUMO

TIPO DE USO	% FACTURACION TOTAL
Residencial y Comercial	93.8
Industrial	1.5
Público o Fiscal	4.7

Fuente: Memoria Sres. Hugel y Delpino

Finalmente, debido a que también es pequeño el consumo público, se considerará que aquéllas correspondientes a las propiedades fiscales (estadio, plazas, parques, matadero municipal, etc.), serán "absorbidos" por los sectores residenciales o residenciales-comerciales donde se encuentren ubicados.

4.4.3 POBLACION

Se debe obtener la población de los catorce sectores del sistema en estudio, lo que resulta confuso si se toman únicamente datos del I.N.E., puesto que dichos datos se encuentran a nivel de provincia, comuna y distrito, los cuales no coinciden naturalmente con los límites físicos de la sectorización de la ciudad. Para ello entonces, hay que apoyarse en datos de ESVAL y en ciertas hipótesis, obteniendo los resultados más confiables posibles.

Los antecedentes de población en la ciudad de Quillota datan desde principios de siglo:

Tabla 4-9 DATOS HISTORICOS DE POBLACION EN QUILLOTA

AÑO	POBLACION	FUENTE
1900	10.036	Plano regulador comunal,1962(estimación)
1920	12.401	Plano regulador comunal, 1962
1943	16.432	Censo económico de 1943 (C. Keller)
1960	29.447	Plano regulador comunal, 1962
1982	44.928	Censo nacional, 1982

Además, del censo de 1982 se observan los siguientes datos para Quillota y La Cruz:

Tabla 4-10 CENSO AÑO 1982

CIUDAD	POBLACION TOTAL	VIVIEDAS TOTALES	VIVIENDAS S/AGUA POT.	HABITANTES S/AGUA POT.
Quillota	44.928	10.181	412	1.820
La Cruz	7.283	1.738	502	2.100

Fuente: INE

OBS.: Es interesante hacer notar que, pese a ser un poblado más chico que Quillota, La Cruz tiene más habitantes que no están conectados a la red pública de agua potable. Esto se debe principalmente a que es un pueblo muy rural, con gran cantidad de pozos y norias.

Proyectando las poblaciones de Quillota y La Cruz para los años 1990, 1991 y 1992 mediante una ponderación de los métodos gráficos y de interés compuesto, para posteriormente restar la población sin arranques de agua potable, se obtiene la población proyectada con arranques de agua potable:

Tabla 4-11 HABITANTES CONECTADOS A LA RED PUBLICA DE AGUA POTABLE

AÑO	QUILLOTA	LA CRUZ
1990	50.033	7.840
1991	50.916	8.007
1992	51.801	8.170

Fuente: Elaboración Propia

Por otro lado, para el año 1990 existia en Quillota un total de 11.610 arranques de agua potable, y en La Cruz la cifra se elevaba a 1.298 arranques, entonces:

Tabla 4-12 NUMERO DE HABITANTES POR ARRANQUE

CIUDAD	# ARRANQUES A.P.	POB. 1990 C/A.P.	HABIT/ARRANQUE
Quillota	11.610	50.033	4.31
La Cruz	1.298	7.840	6.04

Fuentes: Arranques: ESVAL
Población: INE

Finalmente, conocido el número de arranques por sector, se obtiene la población de cada sector de Quillota y La Cruz:

Tabla 4-13 POBLACION QUILLOTA POR SECTORES

SECTOR	N° ARRANQUES	P 1990	P 1991	P 1992
1	450	1.940	1.987	2.034
2	511	2.204	2.258	2.313
3	639	2.742	2.808	2.874
5	2.422	10.438	10.438	10.438
6	164	708	723	738
8	243	1.046	1.068	1.090
9	3.825	16.486	16.481	17.196
14	1.973	8.505	8.691	8.877
15	249	1.074	1.097	1.121
17	264	1.139	1.164	1.189
18	218	941	962	982
202*	652	2.810	2.879	2.949
TOTAL	11.610	50.033	50.916	51.801

(*) SECTOR CERRO MAYACA SIN ALCANTARILLADO
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-14 POBLACION LA CRUZ POR SECTORES

SECTOR	N° ARRANQUES	P 1990	P 1991	P 1992
21	718	4.338	4.429	4.519
221*	580	3.505	3.578	3.651
TOTAL	1.298	7.843	8.007	8.170

(*)SECTOR LA CRUZ SIN ALCANTARILLADO
Fuentes: Elaboración Propia

HIPOTESIS ADOPTADAS

(1) La población de La Cruz crece en forma análoga a Quillota.

(2) La relación [HAB/ARRANQUE] es constante, tanto para los habitantes que disponen de alcantarillado como para los que no lo poseen. Se debe señalar que dicha relación falla en los sectores donde existe comercio, ya que la relación debería ser menor.

4.4.4 ANALISIS DE ELASTICIDADES

La elasticidad precio es otro parámetro que determina la curva de demanda, y representa el cambio relativo en la cantidad demandada ante un cambio relativo en el precio. Debido a la relación inversa existente entre un cambio en el precio y el cambio en la cantidad demandada, la elasticidad será siempre negativa.

Existe tanto en Chile como en el mundo, un gran número de estudios que determinan los diferentes valores de la elasticidad precio del bien agua potable. En nuestro país, don Juan Antonio Zapata realizó en 1980 (Ref. 1) un estudio que recopila antecedentes de consumos mensuales entre 1974 y 1980 en diferentes domicilios seleccionados previamente, con y sin jardín. Otro estudio es el efectuado por INECON: "Estudio de tarificación a Costo Marginal en Agua Potable y Alcantarillado", que divide a los consumidores en

tres zonas: norte, centro y sur; y de acuerdo a los usos en: residencial, industrial y comercial. En estos estudios se basan la mayoría de los trabajos para sus cálculos. También ODEPLAN entrega valores de elasticidades, que son más altos que los de Zapata, puesto que a través del tiempo aumentan las condiciones socio-económicas de las personas y su nivel de vida, mejora la oferta y aumenta la cobertura.

No se puede omitir el significado de la elasticidad. Una elasticidad alta representa a los sectores socioeconómicos más altos, debido a que sufren un mayor cambio relativo en la cantidad demandada producto de un cambio relativo en el valor del bien (en este caso el agua), ya que pueden sustituir muchos de sus usos, o simplemente eliminarlos. A modo de ejemplo, se puede citar el caso del consumo de piscinas, riego de jardines, lavado de autos, jacuzzi, etc; es decir, para usos más prescindibles. Por el contrario, elasticidad baja implica un cambio insignificante en la cantidad demandada producto del cambio del valor del agua, ya que no se puede sustituir su uso, porque es imprescindible. Ejemplo de esta situación, propia de los sectores socioeconómicos bajos, es el aseo personal y el agua para beber o cocinar.

Otro aspecto importante de destacar con respecto a la elasticidad, es que en la realidad varía a través del año para las diferentes personas y sectores, pero en general se trabaja con un valor anual promedio.

El caso particular de Quillota y La Cruz, que corresponde a la ciudad en estudio en el actual trabajo, presenta claramente una configuración socioeconómica muy homogénea, no existiendo sectores o barrios residenciales de tamaño considerable que se destaquen por una condición de vida muy alta o baja (a excepción del Cerro Mayaca), sino que se encuentran generalmente mezclados. Sin embargo, es posible agrupar en sectores diferentes tomando en cuenta una serie de factores mencionados en el capítulo correspondiente.

Quillota y La Cruz representa socioeconómicamente una fiel muestra del promedio regional, similar a Limache, Calera o Villa Alemana, por lo tanto se adopta, de acuerdo a INECON (Ref.12), una elasticidad precio promedio de -0.11 como base para el sistema de Quillota y La Cruz, idéntico al promedio utilizado para el gran Valparaíso en otros estudios.

Por otro lado, el presente estudio analiza la situación durante tres años, por lo tanto el valor de la elasticidad precio para cada sector se considerará constante durante 1990, 1991 y 1992.

Aunque las elasticidades que se utilizan en este estudio, y que a continuación se presentan, son bajas, representan la realidad actual. Sin embargo, en el análisis de sensibilidad se estudiará el funcionamiento del sistema con elasticidades mayores, producto

del aumento y mejora del nivel de vida, de la cobertura y de la oferta, tal como se explicó recientemente.

Tabla 4-15 ELASTICIDADES PRECIO DEL SISTEMA

SECTOR N°	USO	NIVEL SOCIOECON	ELASTICIDAD
21	RESIDENCIAL	M	0.110
221	RESIDENCIAL S/ALC	M	0.07
1	RESIDENCIAL	M	0.110
3	RESIDENCIAL	M	0.110
2	RESIDENCIAL	B	0.073
202	RESIDENCIAL S/ALC	B	0.060
17	RESIDENCIAL	A	0.135
5	RESID./COMERCIAL	A	0.161
6	RESID./COMERCIAL	B	0.098
8	RESIDENCIAL	B	0.073
9	RESIDENCIAL	M	0.110
14	RESIDENCIAL	M	0.110
15	RESIDENCIAL	M	0.110
18	RESIDENCIAL	B	0.073

Fuentes: - Memoria Srs. Saavedra y Aguilera
- Estudio Zapata

4.4.5 DOTACION

4.4.5.1 INTRODUCCION

Es este subcapítulo se obtendrán las dotaciones de demanda de cada sector en la ciudad a partir de las dotaciones de consumo, por ende, serán las dotaciones de demanda al precio tarifado por ESVAL en la actualidad.

Se debe recordar que la dotación de consumo es el volumen real de agua que recibe el consumidor, en cambio, dotación de demanda es el volumen de agua que desearía recibir el consumidor a un cierto precio. Es claro que la dotación de consumo puede ser igual a la de demanda, cuando el volumen de agua que recibe el consumidor es justo el que desea por la tarifa que paga, considerando que dicha agua debería tener una presión y condiciones sanitarias aceptables para el consumidor. También la dotación de consumo puede ser menor que la demanda, cuando existen problemas como restricciones técnicas, racionamientos, bajas presiones, malas condiciones sanitarias, insuficiencia de agua en fuentes o elevadas pérdidas en la red. Por último, la dotación de consumo puede ser mayor que la de demanda, como el caso de sectores con sobrepresiones en las redes de distribución.

Precisamente esta memoria, y todos los trabajos de esta área, apuntan (entre otras materias) a encontrar un sistema de tarifas,

tal, que el consumidor reciba la cantidad justa de agua que desea, es decir, que el usuario no "se sienta" en restricción.

4.4.5.2 DOTACIONES DE CONSUMO

Es posible obtener la dotación de consumo promedio de cada sector y para cada bimestre de acuerdo a los datos de facturación entregados por ESVAL, tanto para los que disponen de alcantarillado como para los que no poseen dicho servicio.

Observando dichos datos se aprecia que en La Cruz y en el Cerro Mayaca existe un importante número de viviendas que no están conectadas a la red de alcantarillado. Ese es el motivo por el cual se decide separar dichos sectores en dos partes cada uno: con y sin alcantarillado.

El resto de los sectores dispone de una cobertura prácticamente total de alcantarillado, que para el efecto de cálculo de las dotaciones de consumo se supondrá que poseen una cobertura total.

En La Cruz el 55% de los habitantes que dispone de agua potable están conectados a la red de alcantarillado, en tanto que en el Cerro Mayaca la relación es sólo del 44%. El resto dispone de fosa séptica o pozo negro para acumular las aguas servidas.

A continuación se presenta la tabla de dotaciones de consumo de los sectores, para cada bimestre entre julio de 1989 y junio de 1990:

Tabla 4-16 DOTACIONES DE CONSUMO JUL 89 - JUN 90 [l/hab/dia]

SECTOR	BIM I E -F	BIM II M-A	BIM III M-J	BIM IV J-A	BIM V S-O	BIM VI N-D	PROM.
21	225	200	162	150	179	206	187
221	164	146	125	109	125	143	135
1	224	207	177	165	168	189	188
3	205	201	185	161	162	188	183
2	171	160	152	132	135	149	150
202	131	122	109	92	93	107	109
17	259	249	248	233	222	247	243
5	240	227	212	201	203	218	217
6	190	172	158	128	136	170	159
8	203	187	170	136	138	174	169
9	179	171	153	132	135	154	154
14	191	191	176	161	168	175	177
15	262	197	163	151	158	187	187
18	180	168	147	143	149	166	159

Fuente: Elaboración Propia en Base Datos ESVAL

4.4.5.3 DOTACIONES DE DEMANDA

Este es otro parámetro fundamental para obtener las curvas de demanda agregada de los diferentes sectores en estudio. Para

determinar la dotación de demanda (a precio tarifado por ESVAL) a partir de la dotación de consumo, se aplica la siguiente metodología, basada en los trabajos indicados en las Ref. 2, 3, 5, 7, y que es de aplicación general, en este tipo de estudios, por ser suficientemente razonable.

i) Se agrupan todos los sectores semejantes, de acuerdo a su nivel socioeconómico, tipo de tendencia al consumo, tipo de sector y dotación de consumo promedio.

ii) Dentro de cada conjunto de sectores semejantes, se analizan las tendencias de consumo entre ellos. De hallarse alguno que difiera de la tendencia de consumo de los demás sectores, se asume que no se ajusta a las condiciones del conjunto y se le identifica como un sector particular. Las posibles causas (restricción, sobrepresión, etc.) fueron analizadas al comienzo.

iii) En cada conjunto de sectores similares, y para cada bimestre, se designa un sector cabeza de serie que reune en forma armoniosa las características necesarias que reflejan el comportamiento ideal de dicho conjunto.

iv) La dotación de consumo del sector cabeza de serie será la dotación de demanda para el conjunto durante el bimestre correspondiente.

Tabla 4-17 DOTACIONES DE DEMANDA PARA QUILLOTA Y LA CRUZ

1990 - 1993 [lt/hab/día]

NIVEL SOCIOEC.	TIPO USO	SECTOR	BIM I E-F	BIM II M-A	BIM III M-J	BIM IV J-A	BIM V S-O	BIM VI N-D
A	R	17	259	249	248	233	222	247
A	R C	5	259	249	248	233	222	247
M	R	1	224	207	177	161	168	189
M	R	3	224	207	177	161	168	189
M	R	9	224	207	177	161	168	189
M	R	14	224	207	177	161	168	189
M	R	15	224	207	177	161	168	189
M	R	21	224	207	177	161	168	189
B	R	18	180	168	152	143	138	166
B	R	8	180	168	152	143	138	166
B	R	2	180	168	152	143	138	166
B	R C	6	190	172	158	143	136	170
M	R	221 *	164	146	125	109	125	143
B	R	202**	131	122	109	92	93	107

(*) La Cruz sin alcantarillado

(**) Cerro Mayaca sin alcantarillado

Fuente: Elaboración Propia

A: ALTO

M: MEDIO

B: BAJO

R: RESIDENCIAL

R C:RESID/COMERCIAL

4.4.6 OBTENCION DE CAUDALES DE DEMANDA

4.4.6.1 CAUDALES DE DEMANDA PROMEDIO

Una vez calculados todos los parámetros necesarios, es factible determinar el caudal de demanda promedio de cada sector y para cada bimestre, dado el nivel de tarifa fijado por ESVAL en la realidad. Es necesario señalar eso sí, que el gasto promedio del bimestre j se considerará igual al gasto promedio de todos los días de dicho bimestre, es decir, la demanda promedio es idéntica para todos los días de un bimestre, como se apreciará en la modelación.

El caudal de demanda promedio de cada sector, se calcula de acuerdo a:

$$Qij = \frac{Pij\ Dij}{86400}\ [lt/s]$$

donde:

Qij = Gasto diario promedio demandado por sector i durante el bimestre j [lt/s]

Pij = Población sector i, bimestre j [hab]

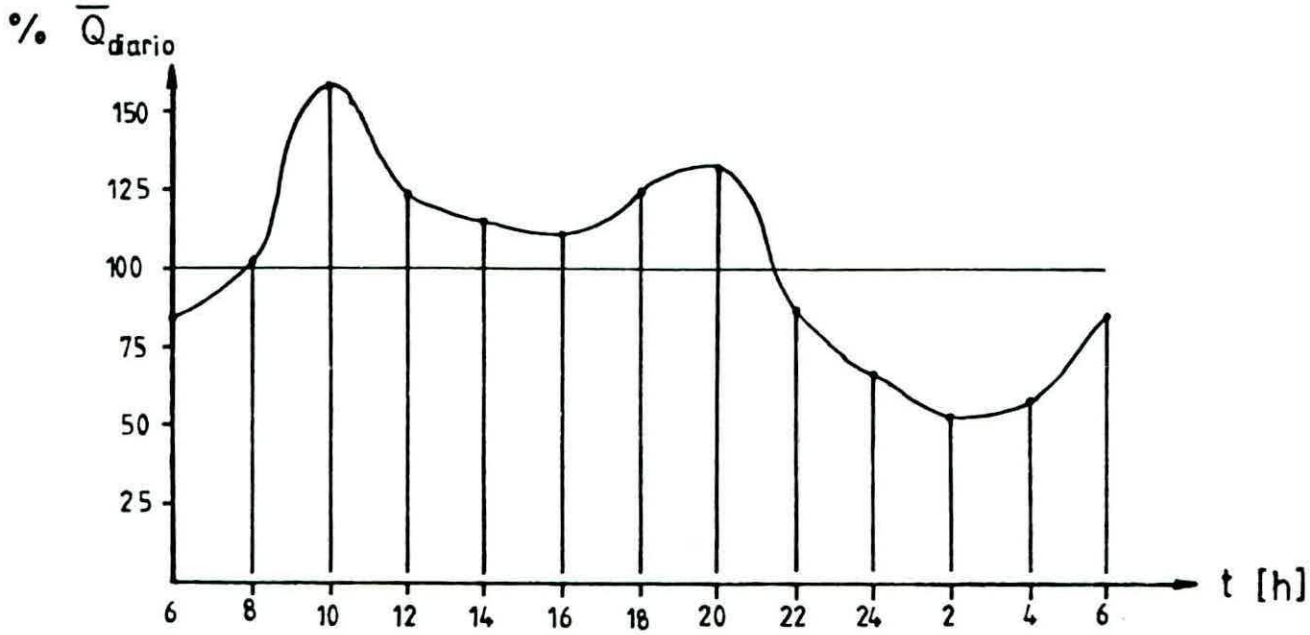
Dij = Dotación de demanda del sector i, durante el bimestre j [lt/hab/día]

4.4.6.2 CAUDALES DE DEMANDA HORARIOS

Aunque este no es un parámetro necesario para calcular la curva de demanda, el presente estudio analizará el comportamiento del sistema a través del día, por lo tanto, es esencial conocer la demanda horaria de cada sector y para cada bimestre. Para ello hay que modelar alguna curva de consumo horario y suponer que la demanda se distribuirá durante el día en forma análoga a dicha curva.

Una ciudad del país con una población superior a los 3.000 [hab] (caso de Quillota y La Cruz), posee la siguiente distribución porcentual del consumo horario con respecto a la media:

Fig. 4-5 CURVA DISTRIBUCION HORARIA DEL CONSUMO



Fuente: Memoria Sres. Hugel y Delpino

La modelación y sus hipótesis se analizarán en el capítulo correspondiente.

4.4.7 PRECIOS ESVAL

Los precios tarifados por ESVAL para la ciudad de Quillota y La Cruz, han evolucionado de la siguiente manera:

Tabla 4-18 PRECIOS TARIFADOS PARA QUILLOTA Y LA CRUZ

FECHA CAMBIO	C.F.A.P. [$]	C.F.ALC [$]	C.V.A.P. [$/M³]	C.V.ALC [$/M³]
15.05.89	319.20	33.60	33.82	7.54
14.07.89	332.48	35.00	35.03	7.82
01.08.89	382.36	40.24	40.29	8.99
15.09.89	396.76	41.76	41.92	9.33
15.11.89	411.48	43.32	43.21	9.69
15.01.90	424.20	44.66	45.34	10.11
01.03.90	369.46	46.20	41.16	13.55
15.05.90	381.68	48.20	45.30	14.09
15.07.90	395.26	50.00	46.38	14.44

Fuente: ESVAL

C.F. = CARGO FIJO
C.V. = CARGO VARIABLE
A.P. = AGUA POTABLE
ALC. = ALCANTARILLADO

En esta tesis se adopta el precio tarifado por ESVAL en enero de 1990, puesto que es la fecha comienzo del análisis, y porque es la fecha promedio de los cálculos anteriores (de julio 89 a junio 90). Por ende, los precios que resultan en años y bimestres siguientes estarán referidos a dicho mes.

Hay que hacer notar que sólo interesan los cargos variables para la construcción de la demanda, curva que ya se encuentra en condiciones de ser determinada.

4.4.8 CURVAS SECTORIALES DE DEMANDA AGREGADA

Una vez que se han determinado todos los parámetros necesarios, es factible elaborar las curvas de demanda agregada de los 14 sectores y para los 18 bimestres en análisis. De acuerdo a lo analizado en el tercer capítulo, se adoptará la curva de demanda del tipo isoelástica.

Definida la demanda promedio para el cargo real tarifado, se calcula el factor de proporcionalidad Aij:

$$Aij = \frac{Qij}{Pj^{-\sigma i}} \qquad (1)$$

Donde:

Aij = Factor proporcionalidad sector i, bimestre j

Pi = Cargo variable ESVAL 1990 [$/lt]

ei = Elasticidad sector i

Qij = Caudal demanda promedio [lt/s]

Finalmente, queda determinada la curva de demanda agregada de la siguiente manera:

$$\boxed{Qij = Aij\ Pij^{-ei}}$$

Donde:

Qij = Gasto demandado por sector i, bimestre j, dada una tarifa Pij

Aij = Factor proporcionalidad calculado en (1)

Pij = Precio a tarifar para el sector i, bimestre j

ei = Elasticidad sector i

5. ESTUDIO DE COSTOS MARGINALES

5.1 INTRODUCCION

En una empresa siempre es posible encontrar una función de costo total que refleje el valor real íntegro de los recursos sacrificados para lograr un producto final.

Se define como función de costo marginal, la primera derivada del costo total respecto del producto. Matemáticamente, esta definición no tiene validez si existen discontinuidades, pero generalmente la oferta de bienes y servicios producidos por empresas aumenta en cantidades discretas, ya que su forma de ampliación es a través de grandes inversiones indivisibles, por lo que la función de costo total presenta una forma escalonada, como se aprecia en la Figura 5-1:

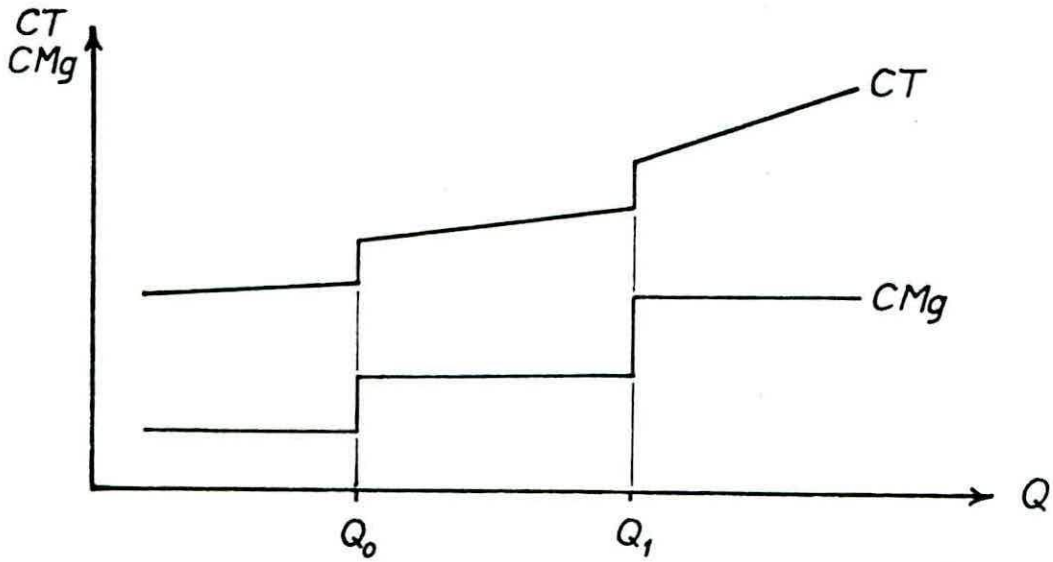


Fig. 5-1: COSTO TOTAL Y COSTO MARGINAL DE UNA EMPRESA

El costo marginal se puede definir, entonces, como el cambio provocado en el costo total de producción, como consecuencia de la variación de los niveles de producción en una unidad. Por ello es posible determinar el costo marginal de la empresa para cualquier nivel de producción, incluso para los niveles en que existan discontinuidades.

El costo marginal se divide en el de corto y largo plazo. Como esta memoria sólo estudia la operación del sistema a corto plazo, temporal o cronológicamente hablando, se explicará someramente el concepto de costo marginal de largo plazo.

Desde el punto de vista económico, el largo plazo tiene un carácter atemporal, es decir, no depende del tiempo, sino exclusivamente de los recursos. Se define el largo plazo como aquél en que todos los recursos son variables, y el corto plazo, como aquél en que algunos recursos son fijos, y otros, variables.

El costo marginal de largo plazo, a diferencia del costo marginal de corto plazo, lleva consigo el sobrepasar la capacidad máxima del sistema, forzando a la empresa a realizar inversiones que aumenten la disponibilidad del bien. Es por ello que la diferencia entre ambos costos radica principalmente en los costos de capacidad de la empresa, es decir, en los costos de ampliación de ésta.

Se recuerda que esta memoria sólo analiza el comportamiento del sistema en la actualidad, en que la empresa no realiza ampliaciones de capacidad.

5.2. COSTO MARGINAL DE CORTO PLAZO

5.2.1. INTRODUCCION

La función de costo marginal social de corto plazo debe reflejar el valor que le significa a la economía distraer cierta cantidad de recursos en la producción de un cierto bien o servicio. Debido a esto, el costo debe incluir tanto el valor de la producción que se sacrifica o deja de producir con el recurso básico, en el uso alternativo más productivo al cual se podría destinar (costo alternativo), como el valor de los recursos secundarios destinados a la producción (costos directos), y considerar además el gasto en recursos necesarios para eliminar la externalidad provocada por la producción del bien.

El método conveniente a utilizar en la determinación de los costos marginales de corto plazo, es a través de los centros de costo, para lo cual es necesario identificar cada una de las diferentes etapas que intervienen en los distintos procesos productivos, entendiéndose como tal al conjunto de etapas por el cual debe pasar el recurso básico hasta llegar a transformarse en producto final.

En el caso del agua potable, estas etapas son:

- Captación
- Tratamiento y Purificación
- Almacenamiento y Regulación
- Distribución
- Alcantarillado
- Descontaminación

Una vez identificadas las diferentes etapas y procesos productivos que intervienen en la producción del recurso hídrico, es necesario asignar a cada una de esta etapas sus respectivos costos asociados. Finalmente, los costos totales (para cada centro de costo), corresponderán a la suma de los costos marginales de cada una de las diferentes etapas que intervienen en el proceso productivo.

Para cada centro de costo, se puede representar matemáticamente el costo marginal de la siguiente forma:

$$CMG_T = \frac{dCT}{dQ} = \sum_{i=1}^{n} \frac{dCT_i}{dQ}$$

$$CMG_T = \sum_{i=1}^{n} CMG_i$$

Donde:

CMG_i: Costo marginal de la etapa i para un centro de costo

CMG_T: Costo marginal total para un centro de costo.

Con:

$CMG_i > 0$

$CMG_i = 0$ Para costo marginal asociado independiente del nivel de producción.

5.2.2. ESTIMACION DEL COSTO MARGINAL DE CORTO PLAZO

El principal objetivo en la determinación de los costos marginales de empresas públicas, radica en la utilización de un sistema de tarifas de garantice una óptima asignación de los recursos productivos, tanto por el lado del productor como del consumidor. Dicho sistema de tarifas debe influir en el comportamiento del consumidor, de modo que éste pague por el consumo de agua el valor de los recursos que, por dedicarse a la producción de ésta, se distraen de otros fines.

Como la tarifa debe servir de guía para el usuario, no es necesario contar con una estimación demasiado exacta de ella (lo que podría lograrse con un alto gasto en recursos), sino que basta con que

refleje el orden de magnitud de los diferentes componentes del costo marginal, para que a su vez éste indique el valor de los recursos sacrificados.

En consecuencia, se ha realizado una estimación de los componentes del corto plazo, a efecto de utilizarlos posteriormente en un esquema de tarifa bajo criterio marginalista. Esta estimación se basa en el estudio de don Juan Antonio Zapata (Ref. 1), ya que es el trabajo más completo que existe al respecto, y en el cual se apoyan todos los trabajos posteriores.

5.2.2.1. COSTO ALTERNATIVO

Al utilizar el recurso agua para abastecer a la población de este vital elemento, se está evitando que con él se puedan producir otros bienes de consumo, es decir, se está sacrificando una producción alternativa.

Dado que a causa del agua potable se están dejando de producir otros bienes de consumo, indirectamente se está haciendo incurrir en un costo a la sociedad, cual es no obtener satisfacción por el consumo del producto alternativo. Entonces es necesario tratar de cuantificar este costo del consumo sacrificado para incluirlo en los costos marginales totales.

En el caso del agua potable para la zona de Quillota,lo que se está dejando de producir son fundamentalmente bienes agrícolas, entonces hay que cuantificar el costo que tiene el agua de riego.

Para determinar el valor de la unidad del recurso agua en la agricultura, existen diversas metodologías alternativas:

- Medición del valor de agua a través del valor de la tierra
- Medición del valor de agua a través de la producción sacrificada
- Costo de obtener el agua de una fuente alternativa.

El método más recurrido es el primero, debido a su mayor aplicabilidad y solidez empírica, y es el que se utilizará en el presente estudio.

En general, el precio pagado por cualquier insumo, en ausencia de distorsiones, representa en cierta forma la utilidad que éste posee. La tierra (insumo agrícola) posee un cierto valor, que, en ausencia de distorsiones, equivale al valor presente neto de la producción que se espera obtener a lo largo de su vida útil.

Si se toman dos unidades de tierra, una de las cuales posee derecho de riego, existirá una cierta diferencia de valor entre ellas.

Esta diferencia reflejará las distintas productividades de la tierra con derecho a riego sobre la de secano, siendo asignable al factor agua. Conocido el valor del agua, se determina la anualidad equivalente de ésta, obteniéndose el costo alternativo o de oportunidad anual del agua mediante la siguiente expresión:

$$C_o = \frac{(dT-T_o) * r * a * b}{V} \qquad (1)$$

donde:

C_o	:	Costo de oportunidad del agua cruda [$/M³]
$(dT-T_o)=(T_r-T_s-T_o)$	:	Valor asignable al factor agua [$/Ha], obtenido como la diferencia entre el valor del suelo de riego (T_r) y el de secano (T_s), descontando el valor de la infraestructura, edificaciones, cultivos, instalaciones, etc. (T_o).
r	:	Tasa de descuento
V	:	Volumen anual del agua requerida por los cultivos, considerando la eficiencia de conducción y aplicación [M³/Ha]
a	:	Factor que considera el hecho que por cada unidad de agua captada desde el sistema hídrico para el abastecimiento de zonas urbanas, una cierta parte retorna de algún modo a los cauces superficiales o

subterráneos, dependiendo de las pérdidas en las redes, retorno desde el alcantarillado, riego de jardines, etc. Como se debe incluir sólo el agua que no regresa al sistema, y que, por lo tanto, no puede ser aprovechada para riego, se adopta un porcentaje del total abastecido.

b : Factor que mide la cantidad de reúsos agrícolas impedidos por cada unidad de agua, dado que al regar una cierta planta con una unidad de agua, ésta aprovecha tan sólo un porcentaje de dicha unidad, permitiendo que otra planta ubicada aguas abajo pueda absorber parte de ese porcentaje no utilizado por la primera planta, y así sucesivamente. Es decir, el hecho de que una unidad de agua sea destinada a la producción de agua potable, no significa que la agricultura pierda el equivalente a una unidad en un primer y único uso, sino pierde la producción de varios usos consecutivos decrecientes.

Existen varios estudios y memorias (ref. 3, 5, y 7) donde se calcula el costo alternativo del agua a nivel regional, ya que la información disponible no permite un análisis más exacto.

El método del valor incremental de la tierra aquí adoptado, consiste en atribuir al agua la diferencia que existe en el valor de la tierra de igual calidad y localización, en condiciones de riego y de secano, lo que responde a un criterio de evaluación privada, puesto que el incremento del valor de la tierra se basa en precios de mercado observados y no toma en cuenta otros efectos económicos no captados por el mercado de la tierra.

Debido a que la ciudad de Quillota y La Cruz se encuentra inserta en la región de Valparaíso, es correcto suponer que en cuanto a características económico-agrícolas, sus valores son similares a sus vecinos de provincia, como Limache o La Calera, ya que son ciudades armoniosamente homogéneas.

Es por ello que se adoptan valores regionales del monto de los suelos, infraestructuras y volumen de riego anual, analizados por el señor Yuraszeck (Ref. 3) y posteriormente actualizados (ref. 7), para calcular la relación anualidad vs. volumen, llamado también valor base, que se determina aplicando la metodología explicada anteriormente y que se observa en la siguiente Tabla:

Tabla 5-1 ANUALIDAD vs. VOLUMEN DEL AGUA DE RIEGO

ITEM		VALOR	
$T_{\blacksquare}$	: Suelos Regados	338.944	[$/Ha]
$T_{\blacksquare}$	: Suelos de Secano	(13.403)	[$/Ha]
T_{o}	: Infraestructura	(32.554)	[$/Ha]
$dT - T_{o}$	: Subtotal	292.987	[$/Ha]
r	: Tasa Descuento	10	%
$(dT-T_{o})*r$	: Anualidad	29.299	[$/Ha]
V	: Volumen	19.069	[M^3/Ha]
ANUALIDAD/VOLUMEN O VALOR BASE		1.54[$/$M^3$]	

Fuente: Memoria Señores Saavedra y Aguilera

El factor "a", que indica el porcentaje de cada unidad de agua captada que no retorna al sistema hídrico, se ha determinado considerando que Quillota y La Cruz incorporan agua a su sistema hídrico superficial y subterráneo, producto de las pérdidas en las redes de distribución de agua potable. Se considera que un 50% de las pérdidas de agua potable no se incorporan al sistema hídrico, y que la totalidad de las aguas servidas no sirven para regar (cifra bastante conservadora o "pesimista"), resultando un coeficiente de 0.80.

El factor "b", que considera el número de reúsos agrícolas impedidos por cada unidad de agua destinada al abastecimiento urbano, se considera igual a 1.20, cifra extraída del esquema del sistema de riego de las secciones del río Aconcagua (ref. 10), la cual es semejante a la de La Calera.

Finalmente, es posible calcular el costo alternativo agrícola del agua, corrigiendo el valor base por los factores "a" y "b", de acuerdo a la expresión (1), y actualizando el resultado para el año 1990:

$$\boxed{C_o = 3.0\ [\$/M^3]}$$ (para cada centro de costo)

Eso sí se debe destacar que se supone que cada unidad de agua extraída desde los sondajes era extraída en su totalidad directamente del río Aconcagua, ya que no se justifica realizar una modelación para conocer el comportamiento del río interactuando con la napa.

El caso de la planta de filtros de La Cruz es simple, debido a que el agua se capta superficialmente del canal Waddington, resultando obvio que se incurre en un costo alternativo, ya que dicho canal abastece a predios agrícolas aguas abajo de la captación.

5.2.2.2. COSTO DE PRODUCCION

Dentro de los costos de producción se consideran todos aquéllos que intervienen en el proceso de transformación del recurso agua en el bien de consumo "agua potable".

En este proceso se distinguen claramente dos subetapas: tratamiento (coagulación) y purificación (desinfección).

Los costos de producción dependen en gran medida del tipo de captación que exista, producto de los niveles de turbiedad y contaminación que posea el agua. Debido a esto último se hace innecesario incluir la subetapa de coagulación en las aguas captadas de las napas subterráneas, bastando solamente la aplicación del desinfectante adecuado para asegurar un agua libre de contaminación.

Este caso se da en Quillota y La Cruz, ya que solamente la planta de filtros de La Cruz extrae agua superficial (del canal Waddington). El resto de las fuentes extraen el agua desde napas subterráneas.

En la Tabla 5-2, se presentan las cantidades de coagulantes y desinfectantes utilizados en el sistema entre Julio de 1989 y Junio de 1990, así como sus precios correspondientes:

Tabla 5-2 CANTIDAD [Kg] COAGULANTES Y DESINFECTANTES UTILIZADOS EN QUILLOTA Y LA CRUZ JULIO 1989 - JUNIO 1990

PRODUCTO PRECIO	SULFATO DE ALUMINIO [Kg] 46.8 [$/Kg]	CLORO [Kg] 270.0 [$/Kg]	SILICO FLUORURO DE SODIO [Kg] 268.1 [$/Kg]
La Cruz	43.260	14.585	4.190
Parrones	---	3.526	4.190

Fuente : ESVAL
Precios: Enero de 1990

De acuerdo a los datos de producción para el mismo período, se obtienen los costos marginales de producción para Quillota y La Cruz.

Tabla 5-3 COSTO MARGINAL DE TRATAMIENTO C_t [$/M³] JULIO 1989 - JUNIO 1990

CENTRO DE COSTO	SULFATO DE ALUMINIO	CLORO	FLUOR	TOTAL
La Cruz	0.92	1.79	0.51	3.22
Parrones	--	0.37	0.44	0.81

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se debe tener presente que la turbiedad del agua extraída del canal Waddington varía constantemente, por lo que las cantidades de sulfato de aluminio a utilizar cambia día a día. El presente estudio considera que la cantidad de coagulante por volumen producido aplicado mensualmente es idéntico al promedio anual.

5.2.2.3. COSTO DE ENERGIA

Una vez que el agua ha sido transformada y está en condiciones de ser entregada al consumidor, ésta debe ser transportada y distribuida a los diferentes centros de consumo. Si la distribución del bien se realiza mediante una aducción, como en el caso de la planta de filtros La Cruz, los costos de energía para su transporte de un lugar a otro serán nulos en el corto plazo, por lo tanto, no incrementará los costos marginales.

Sin embargo, las otras tres fuentes de producción extraen el agua desde sondajes, entonces, es necesario bombearla para obtener el vital elemento. Además, existen zonas en las cuales no es posible utilizar el sistema de aducción o directo, y será necesario reelevar el agua de alguna manera hacia un estanque central de almacenamiento. Este es el caso del cerro Mayaca, en que el agua extraída desde los sondajes de Parrones es elevada hacia la franja baja del cerro, y posteriormente parte de esa agua es reelevada a la cima del cerro, incurriéndose en un costo adicional de energía.

Haciendo la suposición acerca de que el gasto de energía por concepto de singularidades (codos, válvulas, etc.) es despreciable frente al gasto por elevación, se puede suponer que el consumo de energía por concepto de elevación depende principalmente de la diferencia de altura a la cual se esté elevando.

Los costos marginales promedios de energía entre Julio de 1989 y Junio de 1990 para el sistema de Quillota y La Cruz fueron los siguientes:

Tabla 5-4 COSTO MARGINAL ENERGIA C_m [$/M³].
JULIO '89 - JUNIO '90

CENTRO DE COSTO	COSTO Mg. ENERGIA
Alfaro	17.32
Covarrubias	2.74
Parrones	7.31

Fuente: ESVAL

Cabe señalar dos aspectos relevantes. En primer término, el elevado costo del sondaje Alfaro se debe, entre otras cosas, a la gran diferencia de altura que eleva la bomba (del orden de los 70[m]), ya que es el pozo más profundo del sistema (en los otros sondajes se debe elevar a una altura de 30[m]). Pero no influirá mayormente en los costos totales, ya que la incidencia de producción de dicha fuente no es significativa, como se podrá apreciar en los resultados del problema.

Por otro lado, el costo de energía de las bombas reelevadoras del cerro Mayaca fueron asignadas a la planta de Parrones, ya que el agua que elevan dichas bombas provienen de aquella fuente.

5.2.2.4. COSTOS DE EFLUENTES

Luego de ser utilizada por el usuario, el agua retorna al medio ambiente con un alto grado de contaminación, la que al no ser eliminada provocará una externalidad negativa en la comunidad.

Esta externalidad vendrá vía aumento de morbilidad y mortalidad, puesto que el agua contaminada fluyendo por los ríos será utilizada en riego de hortalizas y otros productos agrícolas, que posteriormente ingerirán personas.

El valor de la externalidad puede ser medida entonces a través de la utilización de recursos (incluyendo el tiempo) destinado a salud por efecto de enfermedades provocadas por la contaminación del agua. Esto es válido en caso que no exista una planta de tratamiento de aguas servidas. Por el contrario, si esta planta existe, los costos serán los de purificación y los de energía.

En el caso de Quillota y La Cruz, al igual que en la mayoría de las ciudades de Chile, no existe una planta de tratamiento, por lo que habría que calcular el costo del alcantarillado mediante el primer método, es decir, estimar el costo social de las enfermedades más comunes provocadas por la contaminación (tifoidea, hepatitis viral, parasitosis, y ahora último se debe considerar el cólera), teniendo en cuenta gastos de hospitalización, atenciones médicas, medicamentos, pérdida de días de trabajo y mortalidad.

Ahora bien, esa estimación, aunque no es necesario calcularla con gran precisión, es compleja de obtener, y es un trabajo que requiere de un estudio aparte. Es por ello que se supondrá que en Quillota existe una planta de tratamiento, secundario (laguna de estabilización, zanja de oxidación, etc.) cuyo costo será el de energía requerida para la impulsión del agua servida a dicha laguna o zanja.

El costo de energía de esta laguna ficticia o imaginaria se supondrá el equivalente de elevar el agua servida en 12 [m]. Esta altura es similar a la de lagunas existentes en la zona, y concuerda con la topografía del sector en estudio. En consecuencia, el costo de efluentes C_{a} será de:

$$\boxed{C_{a} = 4.08 \ [\$/m^3]}$$

donde:

C_{a} = Costo Alcantarillado o Efluentes

5.2.2.5. COSTO POR PERDIDAS

En la producción de agua potable es necesario que el recurso agua recorra grandes distancias desde el lugar de captación y plantas de tratamiento hasta los puntos de abastecimiento. Es precisamente en esa etapa donde se producen filtraciones y pérdidas considerables, lo cual hace que la eficiencia de producción sea relativamente baja.

La diferencia existente entre producción y consumo se denomina "volúmenes no facturados", los cuales se dividen en tres ítemes:

Consumo no Facturado	:	En esta categoría se agrupan las aguas de uso público para riego, incendio y lavado de calles, y las diferencias de medición por estimaciones de consumo, ya sea por instalaciones sin medidor o con medidor en mal estado.
Pérdidas Controlables	:	Aquí se agrupan los rebalses de estanques y cámaras, grifos abiertos y/o en mal estado y pérdidas evitables (fugas, roturas, etc.) no controladas a tiempo.

Pérdidas no Controlables: Se consideran como tales aquellas filtraciones de redes, estanques y acueductos que son inevitables de reparar a un costo inferior al valor de las pérdidas.

De estas tres causas, la primera de ellas se debe a la no contabilización de los volúmenes consumidos para uso público e ineficiencias en la micromedición; la segunda de ellas es tan sólo a consecuencia de ineficiencias operativas del sistema, siendo la tercera de ellas (pérdidas no controlables) las únicas que reflejan un gasto en recursos "necesario" para el abastecimiento del usuario en el lugar de consumo, y por tanto pasan a ser considerados como costos inevitables de producción y deben ser incluidos en la determinación de los costos marginales de corto plazo, puesto que de lo contrario se estaría financiando la ineficiencia de la empresa.

Tratar de determinar qué porcentaje de los volúmenes no facturados en Quillota y La Cruz corresponde a cada causa sin contar con una información lo suficientemente completa y fidedigna, podría conducir a estimaciones sin ninguna solidez empírica.
Es por ello que para poder separar y cuantificar cada una de las causales antes mencionadas será necesario basarse en estimaciones ya realizadas y en ciertos supuestos de comportamiento del sistema.

En Julio de 1978, ICC-INECON realizó un estudio de factibilidad y mejoramiento de agua potable en zonas periféricas del Gran Santiago (ref. 12), determinando que en la capital existía un 34% de pérdidas totales, cifra prácticamente idéntica a la de Quillota y La Cruz en la actualidad (34.2%). De ese total, un 32% pertenecía a consumos no facturados, un 15% a pérdidas controlables, y el 53% restante correspondía a pérdidas no controlables.

Como en Quillota y La Cruz no existe un estudio que determine qué porcentaje del total representa cada una de las tres causas de pérdidas, se supondrá que ambas ciudades poseen la misma relación de pérdidas que la que arrojó el estudio de ICC-INECON (ref. 12).

De acuerdo a antecedentes e informaciones técnicas, el mayor porcentaje de pérdidas inevitables corresponde a fugas y filtraciones en estanques y redes de distribución, siendo prácticamente despreciables las correspondientes a la etapa de distribución primaria, produciéndose la mayor cantidad de ellas en la etapa de distribución secundaria, es decir, a nivel de mallas y redes menores.

Como las pérdidas del sistema ascienden al 34%, se concluye que las pérdidas inevitables del sistema son de un 18%. En consecuencia, el costo marginal total (considerando pérdidas) corresponde a la suma de los costos marginales directos dividida por 0.82.

5.2.3. SINTESIS COSTO MARGINAL CORTO PLAZO

Resumiendo entonces, para cada centro de costo se tienen los siguientes costos marginales de corto plazo:

Tabla 5-5 COSTOS MARGINALES POR CENTRO DE COSTO [$/M³]

CENTRO DE COSTO	C_o	C_t	C_e	C_a	CT	CT/0.82
La Cruz	3.00	3.22	--	4.08	10.30	12.56
Alfaro	3.00	--	17.32	4.08	24.40	29.76
Covarrubias	3.00	--	2.74	4.08	9.82	11.98
Parrones	3.00	0.81	7.31	4.08	15.20	18.54

Fuente: Elaboración Propia

donde:

C_o : Costo alternativo (Oportunidad)

C_t : Costo Producción (Tratamiento)

C_e : Costo Energía

C_a : Costo Alcantarillado

CT : $C_o + C_t + C_e + C_a$

6. MODELACION

6.1. INTRODUCCION

En el capítulo 3 se exponen las bases conceptuales del problema de optimación que debe resolverse, así como se mencionan algunos métodos de solución. La metodología adoptada en definitiva es formular el problema como problema de optimización sujeto a restricciones. La función objetivo consiste en minimizar la pérdida de beneficio neto social. Las restricciones corresponden a ecuaciones de continuidad en nudos y ecuaciones de energía, para modelar la red de agua potable; ecuaciones para definir el sentido del flujo en la red a presión; restricciones de capacidad modelando la red de alcantarillado; restricciones de capacidad de producción en fuentes; restricciones de presión en nudos; ecuaciones para definir los caudales sectoriales por período, en función de los caudales mensuales óptimos ideales; y ecuaciones para definir los caudales sectoriales mensuales como promedio de los caudales por período. En este capítulo se detalla la modelación efectuada.

6.2. MODELACION DE LA FUNCION OBJETIVO

La función objetivo del problema de optimización a resolver es minimizar la pérdida de beneficio neto social que se produce cuando

no es posible suministrar el caudal óptimo ideal a un sector determinado.

De acuerdo con los conceptos que se expresan en el capítulo 3, la pérdida de beneficio (PB) para un sector es:

$$PB = \int_{Q_a}^{Q_d} P(Q)\ dQ - CMg\ (Q_d - Q_a)$$

donde:

Q_a : es el caudal efectivamente abastecido al sector, y constituye la variable independiente del problema. La solución del problema es justamente encontrar el valor de Q_a que minimice la PB satisfaciendo las restricciones;

Q_d : es el caudal óptimo ideal, que hace cero la PB. Este caudal se obtiene como el que corresponde en la función de demanda P(Q) del sector al costo marginal correspondiente al sector;

P(Q) : es la función de demanda agregada del sector. Según se indica en 6.4., se modela como función doble logarítmica o isoelástica, es decir;

$$P(Q) = A' Q^{-\frac{1}{e}}$$

donde A' es constante, y e (constante) es la elasticidad precio del grupo de consumidores del sector;

CMg : es el costo marginal correspondiente al sector, es decir, el costo para una unidad adicional de agua de captarla en la fuente, conducirla, potabilizarla, llevarla hasta el sector, recogerla después de usada y disponerla. Para sectores alimentados (a presión) por varias fuentes, este costo marginal es el promedio de los costos marginales de cada fuente ponderado por las producciones respectivas, de acuerdo con la aproximación propuesta en 3.3.3. Como la producción real de cada fuente es una consecuencia del proceso de optimación, se supone a priori una cierta proporción en la producción de las fuentes, llamada vector alfa, y se contrasta con la obtenida después de la optimización. Si hay diferencias, con la nueva proporción se repite el proceso, hasta que coincidan. Este procedimiento se explica en el punto 3.7.

Según se indica en el Capítulo 3,

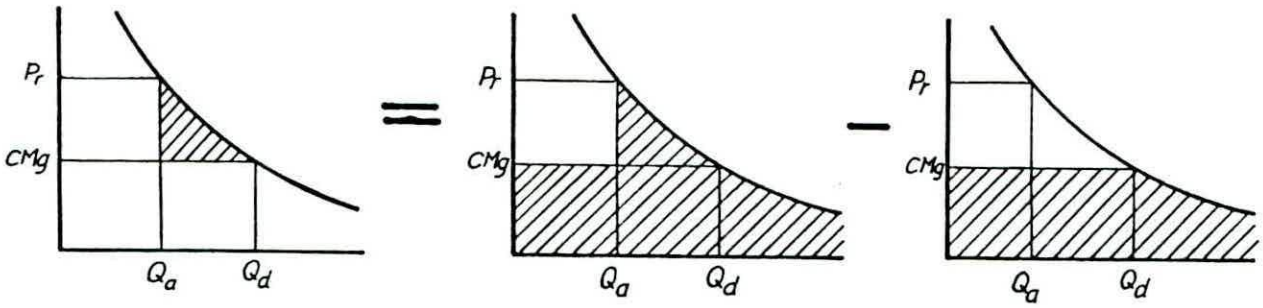
$$PB = \int_{Q_a}^{Q_d} P(Q)\ dQ - CMg\ (Q_d - Q_a)$$

$$= \int_{Q_a}^{\infty} P\ dQ + CMg\ Q_a - \left(\int_{Q_d}^{\infty} P\ dQ + CMg\ Q_d\right)$$

El término entre paréntesis es constante -no depende de la variable Q_a- de modo que, como se busca minimizar PB en función de Q_a, basta minimizar la primera parte de la expresión:

$$Min_{Q_a}\ \left(\int_{Q_a}^{Q_d} P\ dQ - CMg\ (Q_d - Q_a)\right)$$

$$= Min_{Q_a}\ \left(\int_{Q_a}^{\infty} P\ dQ + CMg\ Q_a\right)$$



$$PB = \left(\int_{Q_a}^{\infty} P\ dQ + CMg\ Q_a\right) - \left(\int_{Q_d}^{\infty} P\ dQ + CMg\ Q_d\right)$$

Fig. 6-1: PERDIDA DE BENEFICIO NETO SOCIAL

Al valor de la función objetivo obtenida basta restar el segundo término entre paréntesis para obtener PB.

Para función de demanda isoelástica:

$$\boxed{P(Q) = A' Q^{-\frac{1}{e}}}$$

se tiene:

$$\int_{Q_a}^{\infty} P(Q)\ dQ = \frac{A' e}{1-e}\ Q_a^{\frac{e-1}{e}}$$

Según se indica en el Capítulo 4, la modelación del sistema Quillota-La Cruz considera 14 sectores, a cada uno de los cuales corresponde una expresión de la pérdida de beneficio en función del caudal Q_a del sector. En consecuencia, para minimizar la pérdida de beneficio del sistema se debe minimizar la suma de las pérdidas de beneficio de cada sector.

De acuerdo con las consideraciones expuestas, la función objetivo del problema de optimización es:

$$\boxed{Min_{Q_i} \left(\sum_{i=1}^{14} \frac{A_i' e_i}{1-e_i} \times Q_i^{\frac{e_i-1}{e_i}} + \sum_{i=1}^{14} CMg_i \times Q_i\right)}$$

Para valores pequeños de Q_i la expresión:

$$\frac{A_i\, e_i}{1-e_i} \times Q_i^{\frac{e_i-1}{e_i}} \qquad [6-1]$$

se hace muy grande (tiende a más infinito cuando Q_i tiende a cero). Esto produce problemas numéricos cuando se usa un sistema de optimización no lineal como el descrito en el Capitulo 7. Por esta razón, se acota la expresión [6-1] a partir de un cierto valor Q_{oi}, reemplazándose por una recta que tiene la misma inclinación de la expresión [6-1] en el punto Q_{oi}. Gráficamente,

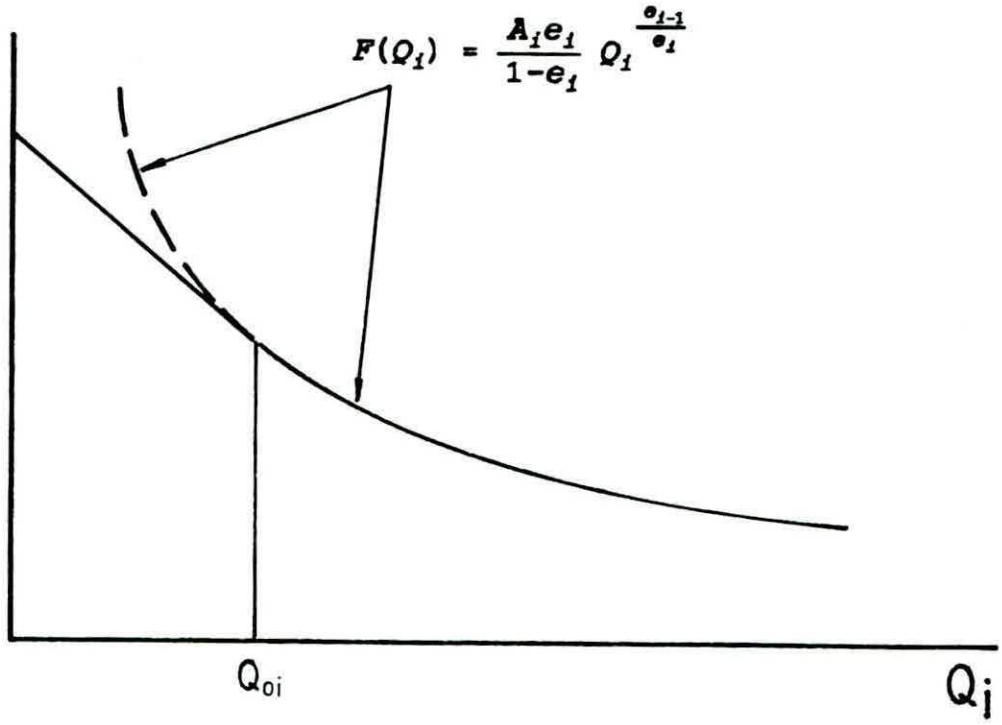


Fig. 6-2: LINEALIZACION DE LA FUNCION OBJETIVO

Por otro lado, desde el punto de vista económico, existe una tarifa límite, a partir de la cual los usuarios simplemente utilizarán recursos alternativos (p. ej. agua de pozos, ríos, agua mineral, etc.). En otras palabras, para altas tarifas, la curva de demanda no representa adecuadamente el comportamiento de los consumidores. Este concepto de "precio límite" ha sido desarrollado anteriormente (ref. 2).

Estas dos razones (matemática y económica) ameritan fijar un precio que cumpla con lo anterior y, a la vez, sea de fácil y cómodo manejo, definiéndose arbitrariamente dicha tarifa como de 1000 [$/m³].

De esta manera, para caudales Q_i menores que Q_{oi}, la expresión [6-1] se reemplaza en la función objetivo por el término:

$$\frac{A_i\, e_i}{1-e_i}\, Q_{oi}^{\frac{e_i-1}{e_i}} - A_i\, Q_{oi}^{-\frac{1}{e_i}}\, (Q_i - Q_{oi}) \qquad 0 \le Q_i \le Q_{oi}$$

6.3. MODELACION DE LA OFERTA

6.3.1. OFERTA AGUA POTABLE

6.3.1.1. FUENTES, CONDUCCION Y REGULACION

Se modelarán las fuentes productoras de agua potable como gastos que ingresan al sistema en los nudos correspondientes. Dichos gastos serán variables, con un límite máximo de producción.

Serán variables, de acuerdo a la demanda de los diferentes sectores de la ciudad para cada bimestre de los tres años en estudio, y para las diferentes horas de cada día.

Tendrán un límite máximo de producción, dado por la capacidad máxima de las fuentes multiplicada por la eficiencia del sistema, es decir, las pérdidas serán consideradas a la entrada del circuito, ya que éstas se producen en forma gradual a lo largo de todo el recorrido hasta llegar al usuario (una especie de servicio en camino que es complejo de modelar en este sistema), por lo tanto es más cercano a la realidad considerar las pérdidas a la entrada de la red, puesto que de esa manera los caudales que circulan por las tuberías de la red estarán con las pérdidas incluidas, ya que de lo contrario (modelar las pérdidas a la salida del sistema) se estaría suponiendo que dichos caudales circulan por la red de distribución en forma íntegra, lo que es ajeno al comportamiento

real. Naturalmente que el resultado final de producción de las fuentes (entregado por el programa) debe ser corregido, dividiendo por la eficiencia del sistema, para obtener el abastecimiento real que se requiere por cada fuente.

Es necesario destacar que estas pérdidas son las físicas o hidráulicas. No se debe confundir con el costo por pérdidas (pérdidas inevitables).

En consecuencia, para la ciudad de Quillota y La Cruz, que posee una eficiencia de distribución de 65,8%, se tienen las siguientes capacidades de producción por fuente.

Tabla 6-1 CAPACIDAD DE PRODUCCION DE FUENTES EN QUILLOTA Y LA CRUZ

FUENTE	CAPACIDAD MAXIMA [lt/s]	EFICIENCIA	LIMITE PRODUCCION (MODELO) [lt/s]
La Cruz	80	0.658	53
Alfaro	30	0.658	20
Covarrubias	25	0.658	17
Parrones	115	0.658	77

Fuente: Elaboración Propia

Hipótesis

(i) Las pérdidas de 34.2% afectan de la misma manera a todas las fuentes, o sea, las pérdidas se distribuyen en forma pareja y por igual a cada centro de producción.

Este estudio considera que a lo largo del año siempre será posible que las fuentes produzcan a máxima capacidad, por lo tanto no se detiene en la posibilidad de que falle el abastecimiento, ya que el objetivo de esta tesis se centra en la red de distribución y no en los problemas que se puedan generar en las fuentes de producción. No obstante, se sensibilizará la producción con el fin de analizar el comportamiento del sistema ante una posible baja del abastecimiento, así como también ante un aumento progresivo de la capacidad máxima de producción de las fuentes hasta el punto en que la capacidad es ilimitada. Esto con el objetivo de poder cuantificar la respuesta del sistema ante una situación ideal en que las fuentes no presentan ningún tipo de restricción o limitación.

En cuanto a la regulación, el estudio no modela los estanques en lo que se refiere al funcionamiento hidráulico. Sólo se modela el estanque de La Cruz como un punto de presión conocida, a partir del cual se calculan las presiones del sistema.

Finalmente, de las dieciséis bombas que existen en el sistema sólo interesan dos de ellas, que se encuentran insertas en la red de distribución, reelevando agua a la parte alta del cerro Mayaca. El resto de las bombas intervienen en el proceso de extracción del agua de los diferentes pozos (proceso anterior a la fuente).

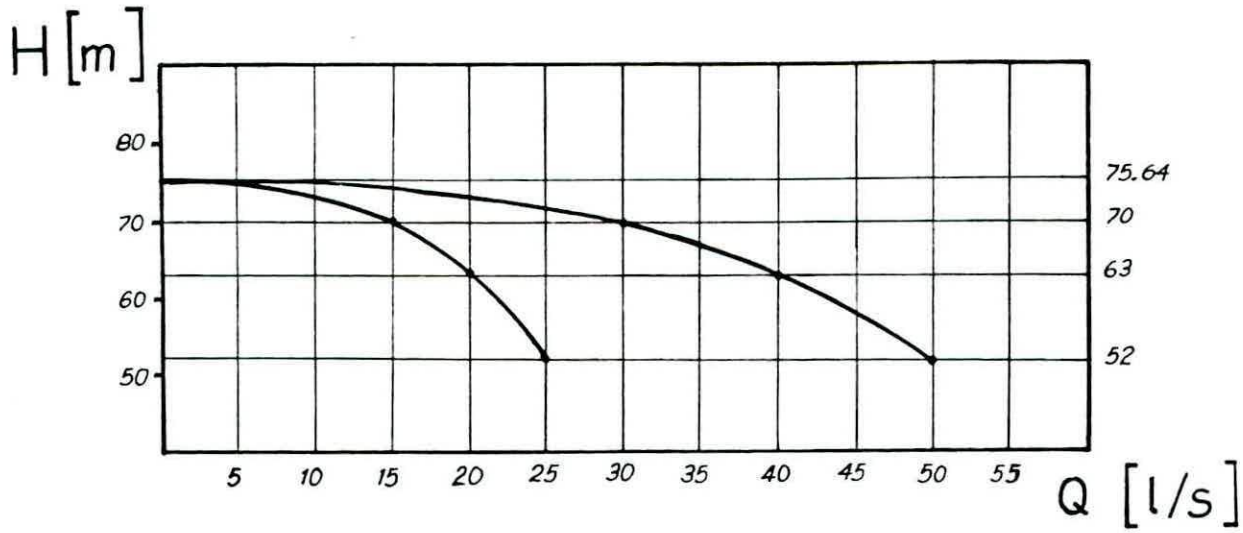
estas dos bombas están conectadas en paralelo, y son de marca LEADER 1024, cuya ecuación caracteristica está dada por la siguiente expresión:

$$H = 75.64 - 0.002823 \times Q^{2.8062}$$

con: H [m]

Q [lt/s]

Fig.: 6-3 ECUACION CARACTERISTICA BOMBA LEADER 1024



por lo tanto, la ecuación de dos bombas conectadas en paralelo será igual a:

$$\boxed{H = 75.64 - 4.0359 \times 10^{-4} \times Q^{2.8062}}$$

con: H [m]

Q [lt/s]

esta última ecuación será utilizada para resolver el problema, ya que se encuentra dentro del circuito de dos mallas.

6.3.1.2. DISTRIBUCION

De acuerdo al plano de ESVAL, correspondiente a la red de aqua potable existente en Quillota y La Cruz (ref. 9), la distribución fue modelada considerando la sectorización del sistema y sus principales tuberías. Dicha modelación es posible apreciarla en el Anexo N° 1.

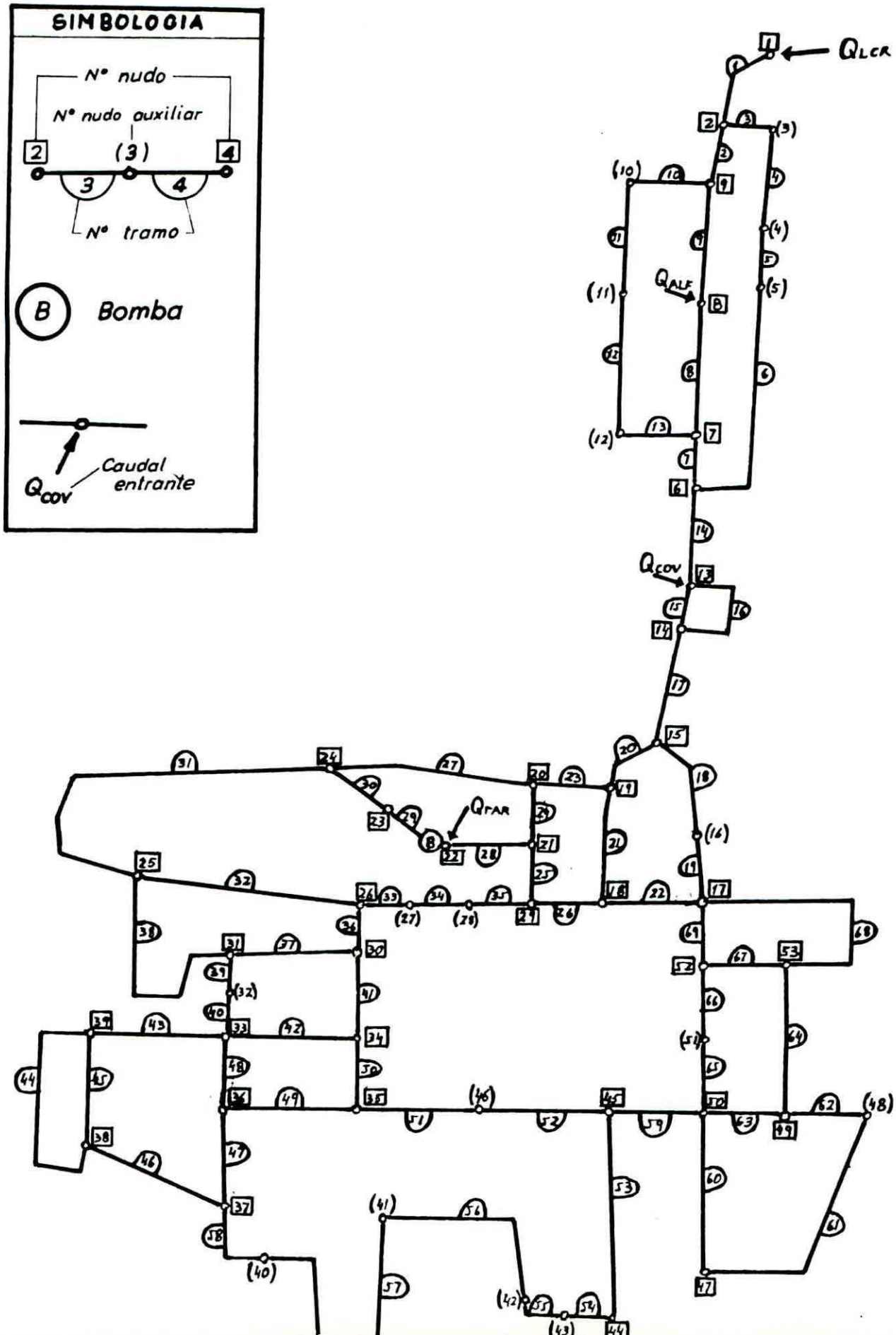
Debido a la diversidad de materiales que componen la red, se debe escoger un promedio de las diferentes fórmulas monomias para el cálculo de las pérdidas de carga. Para ello se utilizará el conveniente valor de:

$$J = 1.2 \times 10^{-3} \times \frac{Q^2}{D^5}$$

ya que por un lado es un valor envolvente y similar a las conocidas fórmulas de Ludin (para asbesto cemento), Scobey (fierro fundido) y Hazen Williams (P.V.C.); y por otra parte, se debe a un problema

Figura 6-5.

Modelación primaria de la red de agua potable de Quillota-La Cruz.



matemático, ya que para resolver las ecuaciones del sistema, el programa requiere la matriz jacobiana (derivadas de las ecuaciones con respecto a las variables, que en este caso son los caudales), resultando entonces una matriz de variables lineales que facilita la ejecución.

La modelación de la distribución (Figura 6-5) consta de 53 nudos y 69 tuberías, y las fuentes de La Cruz, Alfaro, Covarrubias y Parrones abastecen al sistema desde los nodos 1, 8, 13 y 22 respectivamente. La bombas analizadas recientemente se encuentran a un costado del nudo 22, y elevan agua a la cima del cerro (nudo 24).

Los nodos que se encuentran entre paréntesis (diecisiete en total), sólo indican un cambio de diámetro, por lo tanto, nodos propiamente tales (insertos en cuadrados), que implican entrada o salida de gastos, o la unión de tres o más tuberías (o combinaciones de estas posibilidades) serán un total de treinta y seis. Es por ello entonces que el número de tuberías baja de 69 a 52, ya que se unirán los tramos de diferentes diámetros en uno solo de largo equivalente, es decir:

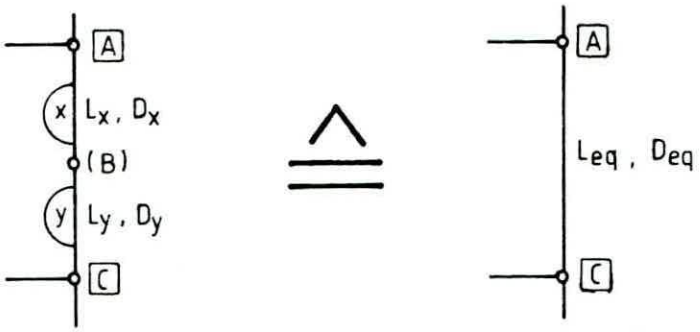


Fig. 6-4: Largo Equivalente de Tuberías

con:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{L_i}{D_i^5} = \frac{Leq}{Deq^5}$$

Por último, una vez realizada la unión de tuberías en una sola equivalente (cuando corresponda), la modelación final queda dada por la Figura 6-6, cuyo detalle es el siguiente:

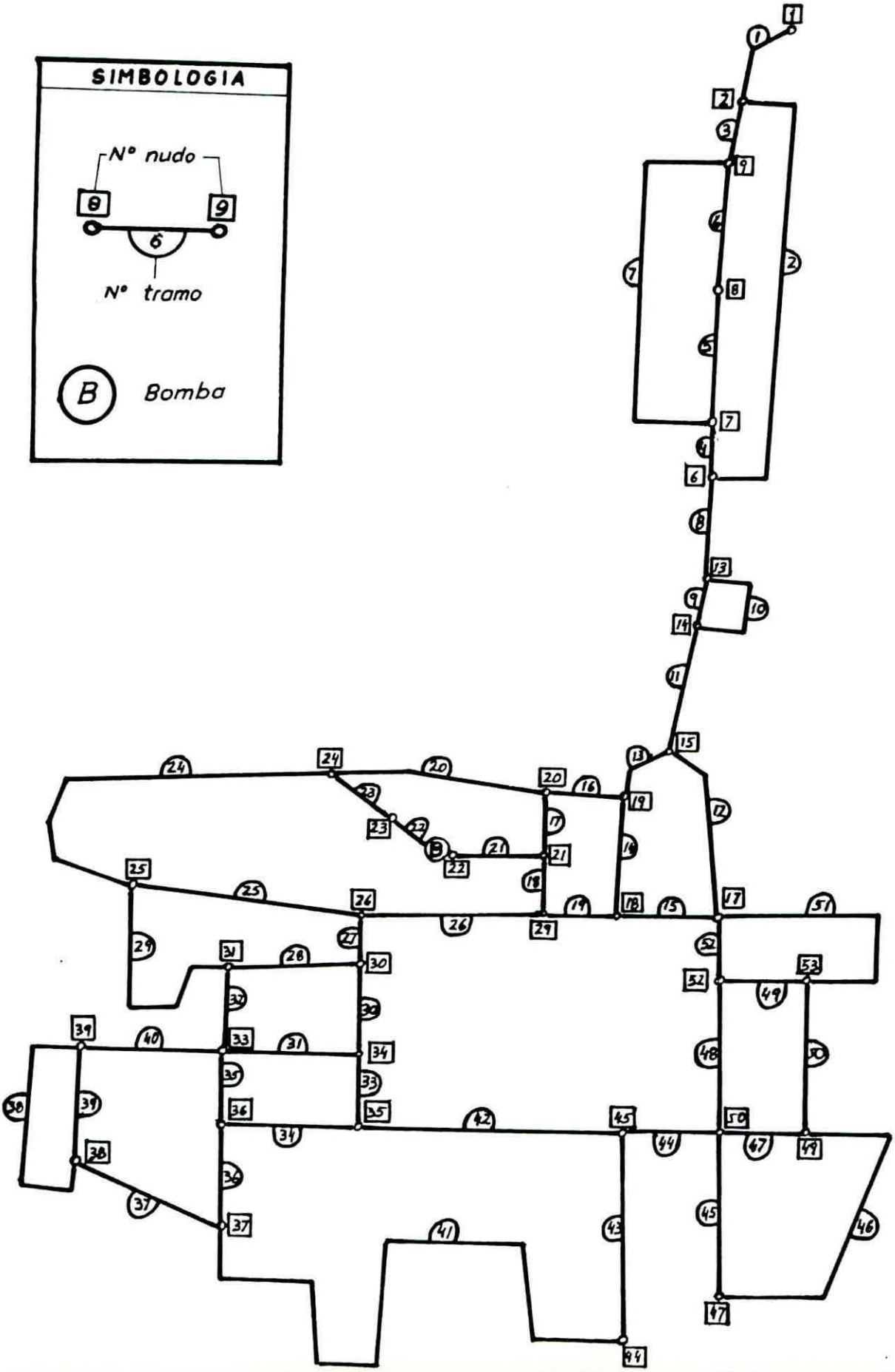
Tabla 6-2 DETALLE RED DISTRIBUCION AGUA POTABLE QUILLOTA-LA CRUZ

TUBERIA N°	NUDOS DESDE - HACIA	L[m]	D[mm]
1	1 - 2	1.000	300
2*	2 - 6	9.688	75
3	2 - 9	220	300
4	7 - 6	330	300
5	8 - 7	1.760	300
6	9 - 8	510	300
7*	7 - 9	7.343	75
8	6 - 13	800	300
9	13 - 14	430	300
10	14 - 13	1.120	100
11	14 - 15	880	300
12*	15 - 17	2.971	100
13	15 - 19	790	300
14	19 - 18	530	300
15	17 - 18	260	200
16	20 - 19	210	75
17	20 - 21	490	150
18	21 - 29	140	300
19	18 - 29	110	300
20	24 - 20	530	100
21	21 - 22	120	300
22	22 - 23	200	200
23	23 - 24	320	150
24	25 - 24	1.050	100
25	26 - 25	590	100
26*	29 - 26	570	300
27	26 - 30	190	250
28	30 - 31	340	100
29	25 - 31	1.080	100
30	30 - 34	520	200
31	34 - 33	560	200
32*	31 - 33	669	100
33	34 - 35	260	200
34	35 - 36	580	75
35	33 - 36	440	200
36	36 - 37	330	150
37	37 - 38	890	100
38	38 - 39	780	100
39	39 - 38	420	100
40	39 - 33	500	100
41*	44 - 37	4.275	100
42*	45 - 35	1.560	100
43	45 - 44	1.300	150
44	50 - 45	260	100
45	50 - 47	1.180	150
46*	49 - 47	1.489	100
47	49 - 50	180	100
48*	52 - 50	472	150
49	53 - 52	230	100
50	53 - 49	900	75
51	17 - 53	680	100
52	17 - 52	170	200

* Tubería Equivalente
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6-6.

Modelación final de la red de agua potable de Quillota-La Cruz.



6.3.2 MODELACION DE LA OFERTA DE ALCANTARILLADO

La oferta de alcantarillado está constituida por la red de recolección de aguas residuales, que se describe en el punto 4.2.2. Para los fines de resolver el problema de optimización es necesario modelar la interacción oferta-demanda, es decir, para una demanda por alcantarillado dada, verificar si la capacidad de la red es suficiente. En el punto 6.4.2 se explica que la cantidad demandada de alcantarillado es el 80% de la cantidad demandada de agua potable. Se impone entonces una restricción que indique que esa cantidad sea menor o igual que la capacidad de la red para evacuarla.

La capacidad de porteo de un tramo de tubería (entre dos cámaras) se calcula con la fórmula de escurrimiento normal a superficie libre, considerando la pendiente del tramo y altura 0.8 D. La capacidad de una cañería compuesta por varios tramos se toma como la menor de ellas. La capacidad así calculada se mide en [l/s].

Por la naturaleza gravitacional de la red de alcantarillado, una cañería que evacúe un sector ubicado en medio del sistema no sólo recibe el caudal del sector, sino además el de todos los sectores ubicados aguas arriba y que, por la morfología del sistema, deben pasar por ese tramo. Cada sector, según su ubicación, tiene un tiempo de concentración propio con respecto al tramo, generalmente mayor cuanto más aguas arriba esté (según la pendiente). Esto

significa que si los diferentes sectores evacúan en el mismo instante sus caudales, en una cañería aguas abajo pasarán primero los de sectores más cercanos, luego los de sectores más aguas arriba, y así hasta el sector más alejado. Es decir, dependiendo del tiempo de concentración, es posible que una cañería pueda evacuar sin problemas caudales que, sumados, exceden su capacidad. Este comportamiento real es difícil de modelar, y con el fin de poner la oferta de alcantarillado en su situación más desfavorable se decide modelar como si los caudales de los sectores pasaran simultáneamente por el tramo, o sea, imponiendo que la suma de los caudales sectoriales sea menor o igual que la capacidad de la cañería.

Debe considerarse también que la complejidad de la red es tal que algunos sectores desaguan por varias vías que se dirigen a diferentes partes: unas, a un sector vecino; otras, a otro; el resto, directamente a un emisario. Esto hace necesario modelar cada vía independientemente, asignándole el porcentaje que cubre del sector.

En la Figura 6-7 se muestra el modelo de la red de alcantarillado. Para cada vía de evacuación se indica la capacidad en litros por segundo a 0.8 D, obtenida como la suma de las capacidades de todas las cañerías que pertenecen a dicha vía. Los números a la salida

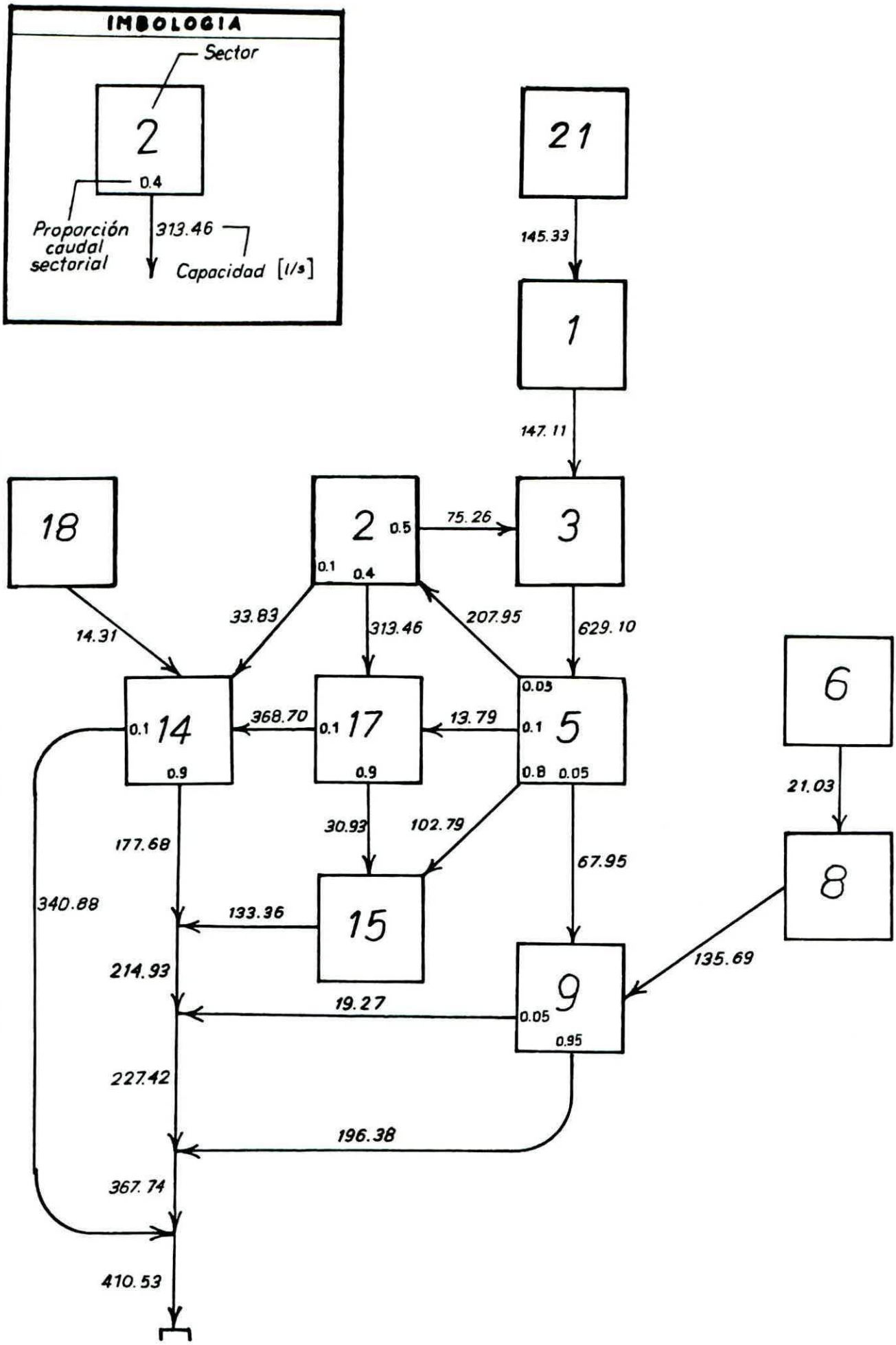


Fig. 6-7. Modelo de la red de alcantarillado

de cada sector indican la fracción del caudal sectorial que corresponde a esa vía. Desde luego, no aparecen en la modelación los sectores sin alcantarillado, 221 y 202.

A continuación se explicitan las restricciones correspondientes a este modelo, ya que es imposible generalizarlas. Los caudales Q son los de agua potable. Las capacidades se han dividido por 0.8, puesto que, por ejemplo:

$$0.8\ Q_{21} + 0.8\ Q_1 \leq 147.11$$

es igual a

$$Q_{21} + Q_1 \leq 147.11/0.8$$

Sector 21:

$$Q_{21} \leq 181.7$$

Sector 1:

$$Q_{21} + Q_1 \leq 183.9$$

Sector 3:

$$0.5\ Q_2 + Q_3 + Q_{21} + Q_1 \leq 786.4$$

Sector 5:

$$0.5\ Q_2 + Q_3 + Q_{21} + Q_1 + 0.05\ Q_5 \leq 259.9$$

$$0.1\ Q_5 \leq 17.2$$

$$0.05\ Q_5 \leq 84.9$$

$$0.8\ Q_5 \leq 128.5$$

Sector 2:

$$0.5\ Q_2 \leq 94.1$$

$$0.1\ Q_2 \leq 42.3$$

$$0.5\ Q_2 + Q_3 + Q_{21} + Q_1 + 0.05\ Q_5 + 0.4\ Q_2 \leq 391.8$$

Sector 17:

$$0.5\ Q_2 + Q_3 + Q_{21} + Q_1 + 0.05\ Q_5 + 0.4\ Q_2 + 0.1\ Q_5 + 0.1\ Q_{17} \leq 460.9$$

$$0.9\ Q_{17} \leq 38.7$$

Sector 14:

$$0.1\ Q_2 + 0.5\ Q_2 + Q_3 + Q_{21} + Q_1 + 0.05\ Q_5 + 0.4\ Q_2 + 0.1\ Q_5 + 0.1\ Q_{17} +$$

$$+ Q_{18} + 0.1\ Q_{14} \leq 426.1$$

$$0.9\ Q_{14} \leq 222.1$$

Sector 18:

$$Q_{18} \leq 17.9$$

Sector 15:

$$0.9\ Q_{17} + 0.8\ Q_5 + Q_{15} \leq 166.7$$

Sector 6:

$$Q_6 \leq 26.3$$

Sector 8:

$$Q_6 + Q_8 \leq 169.6$$

Sector 9:

$$0.05\ Q_5 + Q_6 + Q_8 + 0.95\ Q_9 \leq 245.5$$

$$0.05\ Q_9 \leq 24.1$$

Colectores:

$$0.9\ Q_{14} + 0.9\ Q_{17} + 0.8\ Q_5 + Q_{15} \leq 268.7$$

$$0.9\ Q_{14} + 0.9\ Q_{17} + 0.8\ Q_5 + Q_{15} + 0.05\ Q_9 \leq 284.3$$

$$0.9\ Q_{14} + 0.9\ Q_{17} + 0.8\ Q_5 + Q_{15} + 0.05 Q_9 + 0.05 Q_5 + Q_6 + Q_8 + 0.95\ Q_9$$

$$\leq 459.7$$

Emisario:

$$Q_{21} + Q_1 + Q_3 + Q_5 + Q_2 + Q_{17} + Q_{14} + Q_{18} + Q_{15} + Q_6 + Q_8 + Q_9 \leq 513.2$$

Por último, para efectos de costo marginal y pérdida de beneficios por externalidades negativas, se supone que el sistema dispone de una planta de tratamiento secundario antes de la desembocadura, que elimina toda contaminación del agua, y que tiene un costo marginal igual al de energía de la bomba elevadora.

6.4. MODELACION DE LA DEMANDA

6.4.1. DEMANDA AGUA POTABLE

Se modela de acuerdo al tradicional método en que la demanda de cada sector se concentra en un punto de la red. Así también, la presión del sector corresponderá a la de aquel punto.

En la Figura 6-8 es posible apreciar la disposición de la demanda en el sistema. Ahí se distinguen los catorce sectores y los nodos por donde son abastecidos. Uno de ellos (sector 9) fue subdividido en dos puntos de abastecimiento, totalizando entonces quince nodos por donde se entrega el agua potable. A continuación, se presenta un cuadro resumen que muestra por cuál nodo se obtiene la demanda de cada sector:

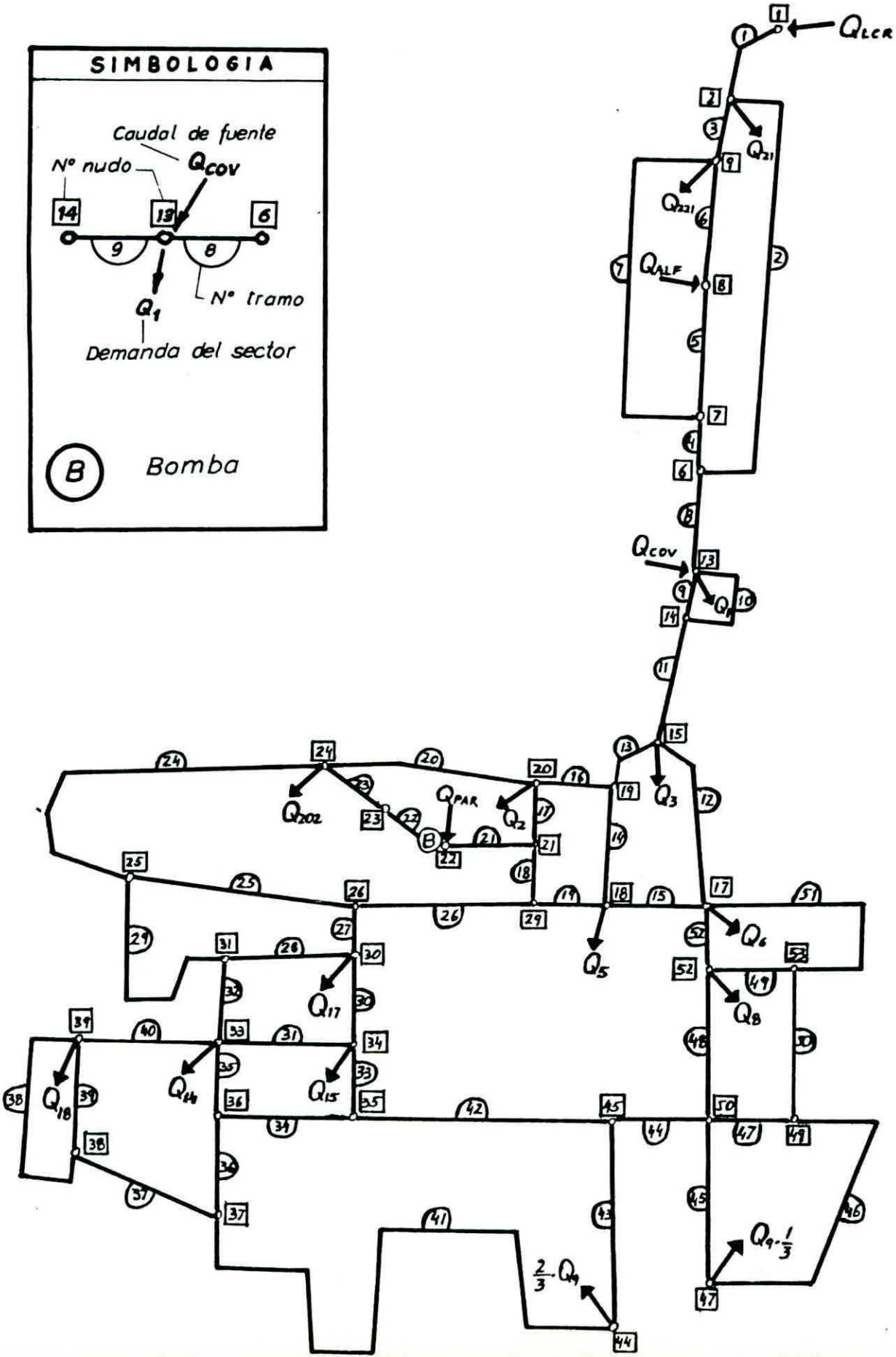
Tabla 6-3 CORRESPONDENCIA ENTRE SECTORES Y NUDOS

Sector	Nudo Demandado
21	2
221	9
1	13
3	15
2	20
202	24
17	30
5	18
6	17
8	52
9	44 y 37
14	33
15	34
18	39

Fuente: Elaboración Propia

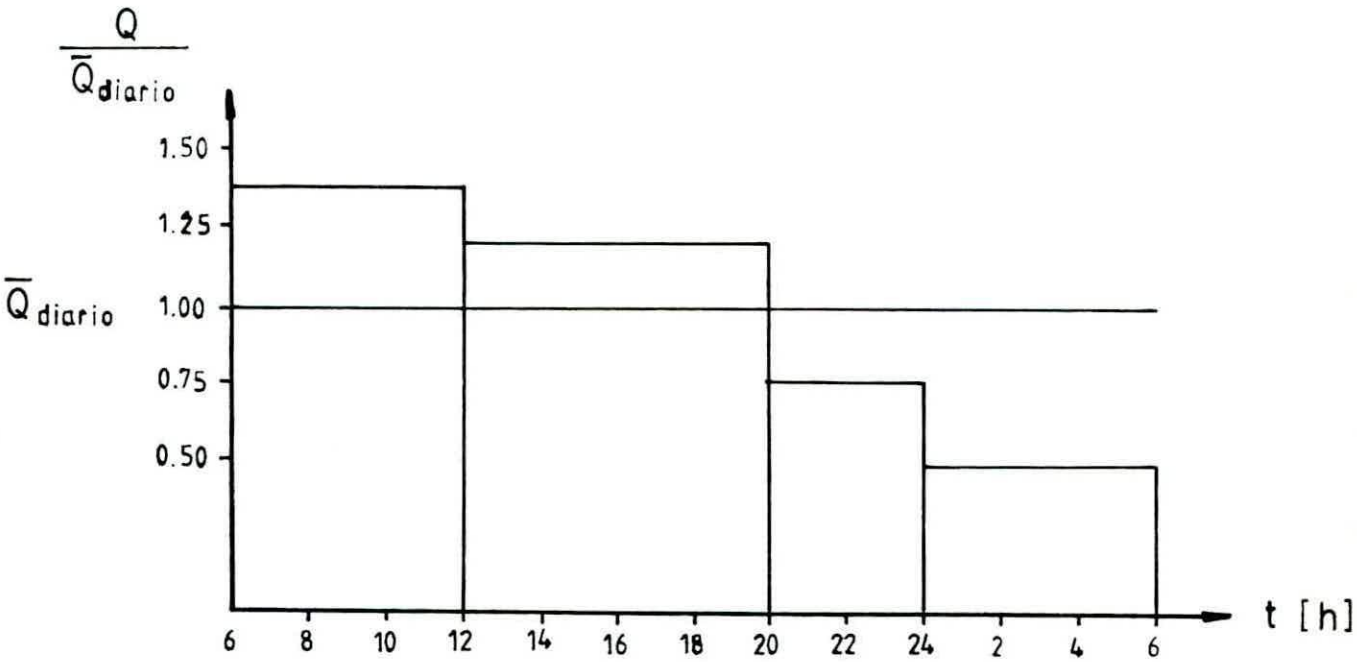
Figura 6-8.

Demandas nodales y caudales de fuentes en el modelo de la red.



La demanda varía dentro del día para cada bimestre de los tres años en estudio (18 bimestres en total), conforme a la curva de distribución horaria del consumo (Figura 4-5), cuya modelación es la siguiente:

Fig. 6-9: MODELACION CURVA DISTRIBUCION HORARIA



Fuente: Elaboración Propia

con:

k	t_1 - t_2 [hr]	Δt[*hrs.*]	F_k
1	06 - 12	6	1.40
2	12 - 20	8	1.20
3	20 - 24	4	0.75
4	00 - 06	6	0.50

donde:

k	:	Período del día
F_k	:	Factor que multiplica la demanda promedio
$\overline{Q_{ij}}$	:	Demanda de agua potable (a costo marginal) promedio del sector i durante el bimestre j.
$F_k \overline{Q_{ij}}$	:	Demanda a costo marginal del sector i, para bimestre j y durante el período k del día.

Hipótesis:

i. La curva de demanda horaria del sistema es igual a la curva de consumo horario del promedio de las ciudades chilenas.

ii. La demanda diaria promedio del sector i es igual para cada uno de los 60 días del bimestre j, por lo tanto, la distribución horaria es igual de lunes a domingo (dentro de cada bimestre).

iii. La distribución horaria fue modelada sobredimensionando los valores "peak", que son precisamente los momentos en que interesa observar el comportamiento del sistema. Ello con el fin de evitar muchas discretizaciones (k) de pequeños intervalos de tiempo, pues el número de ecuaciones del problema aumentaría considerablemente, ya que para todos los

intervalos de tiempo de un día deben cumplirse las ecuaciones que rigen el sistema (energía, continuidad, alcantarillado, etc., etc.).

El promedio ponderado de los consumos durante los cuatro períodos del día, arroja el gasto diario promedio de cada sector para cada bimestre.

Obviamente, si la oferta del sistema es capaz de entregar la totalidad demandada del vital elemento a cualquier hora del día, entonces el consumo promedio diario será igual a la demanda promedio diario de dicho sector para dicho bimestre.

Este análisis, aunque no es perfecto (como se explicará al final del estudio), se asemeja bastante más a la realidad que el trabajar con los caudales medios mensuales (o diarios), puesto que el sistema puede funcionar perfectamente para el promedio diario demandado (a costo marginal), pero puede fallar para los valores de punta que se producen a las horas de mayor consumo dentro del día, dejando en restricción técnica al sistema.

En cuanto a la presión de servicio, ésta debe poseer un valor tal que asegure un caudal en condiciones adecuadas. Lo ideal es que dicha presión en la red varíe en un rango entre los 20 y 70 [m.c.a.]. Una presión mayor a los 70 [m.c.a.] no es aceptada por la norma debido a que se llegaría a una situación crítica, tanto

para la red misma como para la eficiencia del sistema, ya que una exagerada sobrepresión aumenta considerablemente las fugas.

Como en esta tesis el rango de presiones de servicio es una restricción externa que se le impone al problema, es decir, en este caso no es una variable que puede ser optimizada (como la asignación de caudales por ejemplo), se debe tener mucho criterio en fijar los límites de ésta, puesto que se puede alterar considerablemente la óptima asignación de recursos por causa de un par de metros de más o de menos.

Sin embargo, y aunque prácticamente en todos los puntos de la red la presión varía a través del día entre los 20 y 60 [m.c.a.] (como se observará más adelante), se impondrán los límites de presión entre los 12 y 70 [m.c.a.], ya que existe un sector (el de cota más baja) cuya presión se "dispara" durante la noche, y otro sector (Cerro Mayaca) cuya presión durante las horas de mayor consumo baja considerablemente. Dicha presión mínima es suficiente para asegurar un abastecimiento en condiciones adecuadas, y más que suficiente para encender un califont, pues como se explicó recientemente, no se puede alterar significativamente la asignación óptima del recurso agua para todo el sistema por causa de un solo sector durante un período de tiempo dentro del día.

La presión de cada sector será igual a la del nodo por donde es abastecido. Estos nodos se encuentran detallados en el cuadro 6-3.

6.4.2 MODELACION DE LA DEMANDA DE ALCANTARILLADO

La demanda de alcantarillado es la cantidad de agua por unidad de tiempo que un usuario quiere desechar por medio del alcantarillado. Es claro que esta cantidad de agua usada proviene del agua potable obtenida del sistema, y que corresponde a una fracción de ella, puesto que una parte se consume en algunos usos, sin ir al alcantarillado. También es clara la relación entre agua potable y agua servida si se considera que, en una mayoría de casos prácticos, no existe alternativa de recolección de estas aguas, por lo que, al restringirse la capacidad de alcantarillado, el usuario está relativamente obligado a disminuir la cantidad demandada de agua potable. La relación entre caudal de alcantarillado y caudal de agua potable se expresa como "coeficiente de recuperación".

En base a un estudio realizado en el sistema analizado en 1989 (ref. 13), se adopta como coeficiente de recuperación el valor 80%. Luego, el caudal de demanda de alcantarillado (Q_{alc}) se modela como el 80% del caudal de demanda de agua potable (Q_{ap}), es decir:

$$Q_{alc} = 0.8\ Q_{ap}$$

6.5. ECUACIONES DEL MODELO

Un total de 458 ecuaciones y restricciones gobiernan el sistema por cada bimestre analizado. A continuación se presenta un desglose general de las ecuaciones, para posteriormente entrar en detalle en cada una de ellas:

i. 17 ecuaciones de energía en mallas

ii. 36 ecuaciones de continuidad en nudos

iii. 15 restricciones de límites de presión

iv. 1 restricción de condición

v. 24 restricciones de capacidad de alcantarillado

vi. 4 restricciones de capacidad de fuentes.

lo que arroja un subtotal de 97 ecuaciones y restricciones. Como cada día está dividido en cuatro intervalos de tiempo, estas ecuaciones se repiten cuatro veces, lo que da un parcial de 388 ecuaciones, a las cuales se le agregan:

vii. 56 restricciones de gastos por sector para cada período de tiempo (14 * 4)

viii. 14 ecuaciones para el cálculo del gasto promedio por sector.

lo que suma un total de 458 ecuaciones y restricciones.

Antes de detallar las ecuaciones recientemente mencionadas, se deben explicar algunos aspectos matemáticos importantes de la modelación.

El método utilizado para resolver el problema planteado fue a través del sistema computacional MINOS, el cual es analizado en profundidad en el capítulo siguiente.

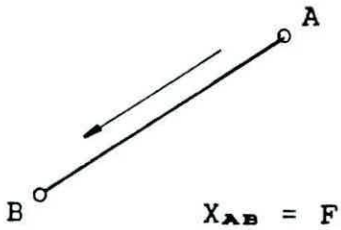
Este programa requiere como dato de entrada la matriz jacobiana, es decir, las derivadas parciales de las ecuaciones con respecto a las variables, en este caso, los caudales.

Debido a esto último, no es posible efectuar una modelación tradicional de los caudales internos que circulan por las tuberías de la red, ya que ello significa otorgarle un sentido a priori al flujo, o sea, el resultado final depende del signo de cada uno de esos caudales. Si el signo de un caudal resulta positivo, entonces el sentido dado al flujo era el correcto; por el contrario, si el signo es negativo, implica que el fluido corre en dirección contraria a lo preestablecido.

Por lo tanto, este conocido método no puede ser utilizado en el programa, puesto que se necesitarían las derivadas del valor absoluto del caudal (el valor $|Q|/Q$ da el sentido del flujo), siendo éstas de +1 ó -1, dependiendo del sentido del flujo, el cual no se conoce ya que aún no se resuelve el problema.

Esta situación obliga a crear un método que supere el obstáculo planteado. Para ello, se considera (en la notación) que en cada tubería circulan dos flujos: uno en cada sentido, pero con la condición de que uno de ellos es cero.

La notación a utilizar es la siguiente:



X_{AB} = Flujo que va desde el nodo A al B

Y_{AB} = Flujo que va desde el nodo B al A

Notas:

i. La flecha indica <u>siempre</u> el sentido del caudal X_{AB}

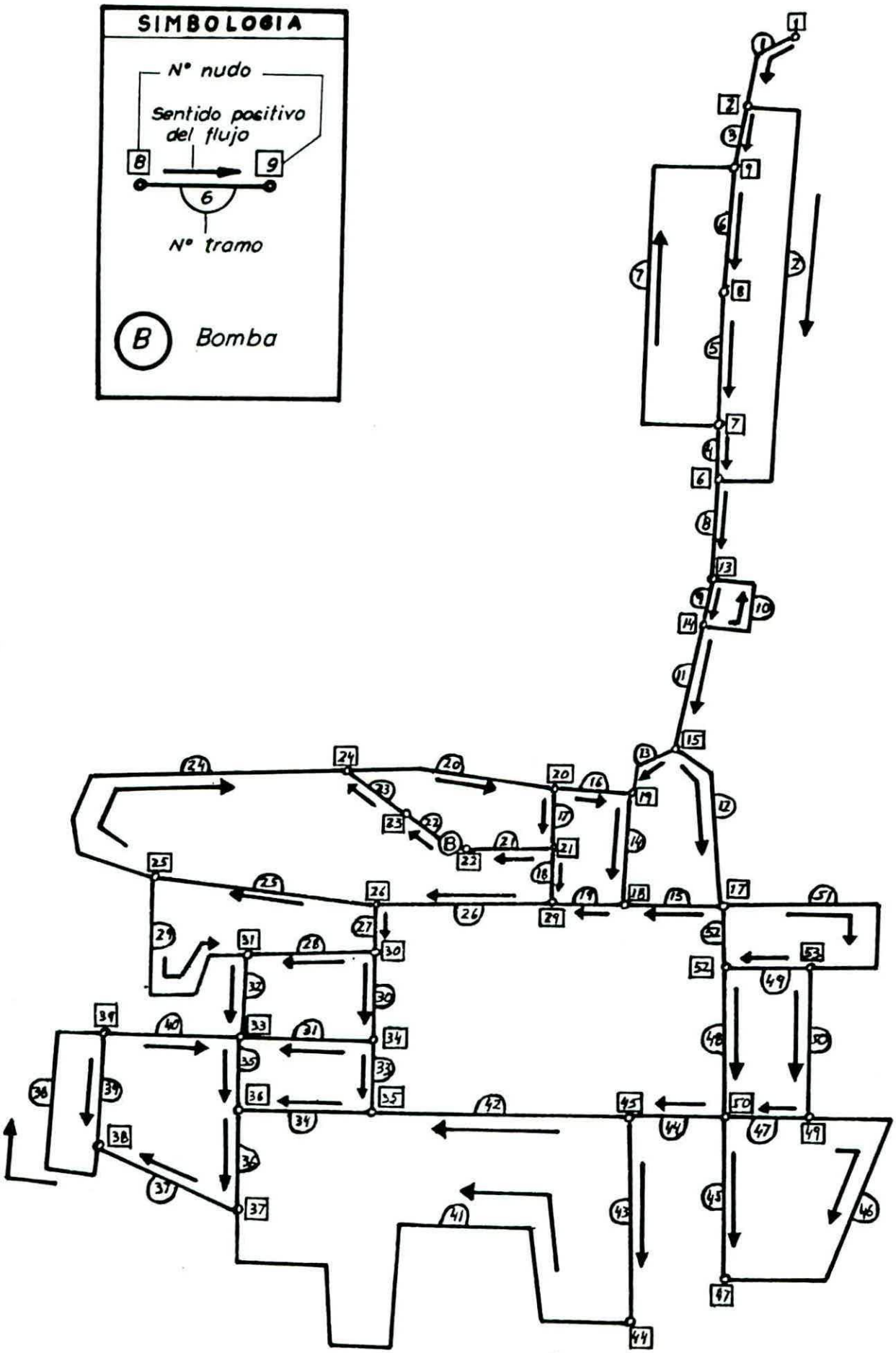
ii. X_{AB}, $Y_{AB} \geq 0$

Este método es idéntico al tradicional, con la diferencia de que el número de variables aumenta al doble, ya que por cada tubería existen dos posibilidades de flujo.

En la Figura 6-10 se detalla el sentido de los caudales del sistema. Se debe recordar que las flechas indican el caudal X_{AB}, por lo tanto el caudal Y_{AB} corre por la misma tubería pero en dirección opuesta.

Figura 6-10.

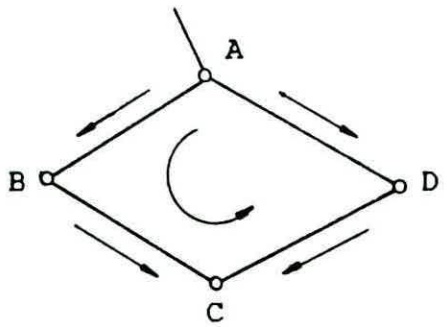
Definición del sentido positivo de los caudales por tuberías.



Una vez aclarada esta situación, se detallan las ecuaciones que rigen el sistema:

i. Ecuaciones de energía en mallas:

La sumatoria de pérdidas de carga por un circuito cerrado (o malla) suman cero.



$$B_A = B_A - \sum J_i L_i$$

$$\sum J_i L_i = 0$$

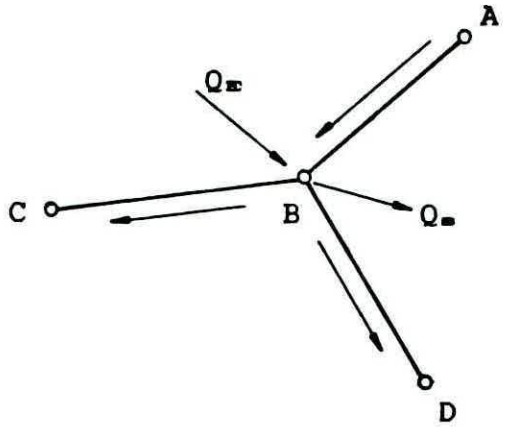
por lo tanto:

$$1.2 \times 10^{-3} \left[\frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} (X_{AB}^2 - Y_{AB}^2) + \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} (X_{BC}^2 - Y_{BC}^2) \right.$$

$$\left. + \frac{L_{DC}}{D_{DC}^5} (Y_{DC}^2 - X_{DC}^2) + \frac{L_{AD}}{D_{AD}^5} (Y_{AD}^2 - X_{AD}^2) \right] = 0$$

ii. Ecuaciones de continuidad en nudos:

La sumatoria de los gastos que entran al nudo es igual a la sumatoria de los gastos que salen de él.

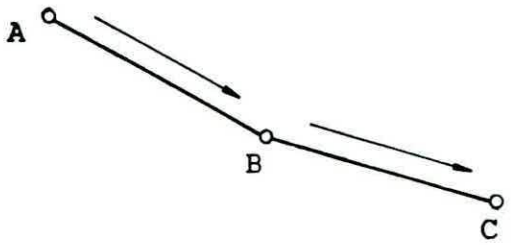


$$\sum_{nudos} Q_E - \sum_{nudos} Q_S = 0$$

$$Q_E + (X_{AB} - Y_{AB}) + (Y_{BC} - X_{BC}) + (Y_{BD} - X_{BD}) - Q_S = 0$$

iii. Restricciones de presión:

La presión en cada punto debe estar comprendida entre los 12 y 70 [m.c.a.]



$$12 \leq PRESION_B \leq 70$$

$$12 \leq B_A - JL - Z_B - \frac{V_B^2}{2g} \leq 70$$

$$12 \leq B_A - 1.2 * 10^{-3} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} (X_{AB}^2 - Y_{AB}^2)$$

$$- Z_B - \frac{(X_{AB}^2 + Y_{AB}^2)}{2g\, A_{AB}^2} \leq 70$$

esta es una fórmula recursiva que comienza en el estanque con $B_{ESTANQUE} = Z_{ESTANQUE}$.

iv. Restricción de condición:

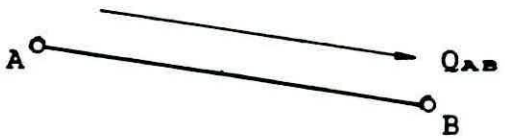
El flujo en una tubería es en un solo sentido, por lo tanto, $X_i = 0$ v $Y_i = 0$.

$$\sum_{i=1}^{52} X_i * Y_i = 0$$

con: $X_i, Y_i \geq 0$

v. Restricción de capacidad de alcantarillado:

Todo gasto que circula por el alcantarillado debe ser menor que la capacidad de éste.



$$Q_{AB} < CAPACIDAD_{AB}$$

vi. Restricciones de producción de fuentes:

El caudal entregado por la fuente es menor que la capacidad límite de producción de ésta.

$$Q_{FUENTE} \leq CAPACIDAD_{FUENTE}$$

vii. Restricciones de gastos por sector para cada período de tiempo:

El gasto consumido por el sector i, en el bimestre j, durante el período k del día, es igual o menor que el caudal de demanda (a costo marginal) promedio de ese sector, para dicho bimestre por el factor multiplicador del período k del día.

$$Q_{ijk} \leq F_k * \overline{Q_{ijdem}}$$

con:

i	=	1,14	F_1	=	1.40
j	=	1,18	F_2	=	1.20
k	=	1,4	F_3	=	0.75
			F_4	=	0.50

viii. Ecuaciones para el cálculo del gasto promedio por sector:

El gasto consumido por el sector i, durante el bimestre j, es igual al promedio de los gastos consumidos por dicho sector, durante ese bimestre, a través del día.

$$\overline{Q_{ijcons}} = \frac{\sum_{k=1}^{4} \Delta t_k * Q_{ijk}}{24}$$

con:

i	=	1,14	$\Delta t_1 = 6\,[hrs.]$
j	=	1,18	$\Delta t_2 = 8\,[hrs.]$
k	=	1,4	$\Delta t_3 = 4\,[hrs.]$
			$\Delta t_4 = 6\,[hrs.]$

7. RESOLUCION DEL PROBLEMA

7.1 FORMULACION DEL PROBLEMA

El problema a resolver cuando se plantea la operación óptima a corto plazo de un sistema conjunto de agua potable y alcantarillado es, como se indica en el punto 3.2, encontrar, para cada grupo de usuarios del sistema, el caudal promedio mensual que minimice la pérdida de beneficio neto social. Lo anterior, sujeto a que caudales representativos de los períodos en que se divide el día satisfagan restricciones de agua potable y alcantarillado, referidas a rangos de presión aceptables y capacidad, respectivamente. Además, los caudales sectoriales se relacionan entre sí por los modelos de las redes de agua potable y alcantarillado; los caudales por período del día se encuentran acotados superiormente por una curva discretizada de demanda instántanea; y, el caudal promedio mensual es calculado como promedio de los caudales por período. Finalmente, existe restricción a la capacidad máxima de las fuentes.

Como se señala en el punto 3.7, existen varias maneras de plantear y resolver este problema. La que se adopta aquí es formularlo como problema de óptimo con restricciones, de la siguiente forma:

Función objetivo: minimizar la suma de las pérdidas de beneficio por sector:

$$Min \left(\sum_{i=1}^{14} \frac{\lambda'_i \, e_i}{1 - e_i} \; Q_{ij}^{\frac{e_i - 1}{e_i}} + \sum_{i=1}^{14} CMg_i \; Q_{ij} \right)$$

sujeta a:

Ecuaciones de energía: ecuaciones de circuito de pérdidas de carga, que forman parte de la modelación de la red de agua potable.

$$1.2 \times 10^{-3} \sum_{t=1}^{n} \frac{L_t}{D_t^5} \; (x_{kt}^2 - y_{kt}^2) = 0 \quad , k = 1,4$$

Ecuaciones de continuidad en nudos: ecuaciones que completan la modelación de la red de agua potable.

$$\sum_{t=1}^{n} (y_{kt} - x_{kt}) + \sum Q_{ke} - \sum Q_{ks} = 0 \quad , k = 1,4$$

Restricción de condición: restricción que impone que el caudal que circula por un tubo t en un período k tenga un sentido de flujo (x_{kt}) o el contrario (y_{kt}), pero no ambos.

$$\sum_{t=1}^{52} x_{kt} \times y_{kt} = 0 \quad , k = 1,4$$

Restricciones de presión: exigen que la presión, en puntos seleccionados de la red, se encuentre entre 12 y 70 m.c.a.

$$12 \leq 1.2 \times 10^{-3} \sum_{t=1}^{c} \frac{L_t}{D_t^5} \left(x_{kt}^2 - y_{kt}^2\right) - \frac{8}{g\pi^2 D_p^4} \left(x_{kp}^2 + y_{kp}^2\right) - Z_p \leq 70$$

$$,k = 1,4$$

Restricciones de alcantarillado: modelan la red de recolección fijando la capacidad máxima de porteo.

$$\sum Q_{ik} \leq C$$

Restricción de capacidad de fuentes: limita la producción de cada una de las cuatro fuentes.

$$Q_{kf} \leq C_f \qquad ,k = 1,4 \qquad ,f = 1,4$$

Definición de caudales por período: corresponde a la discretización de la curva de demanda instantánea en períodos k.

$$Q_{ijk} \leq F_k Q_{ij} \qquad ,i = 1,14 \qquad ,j = 1,18 \qquad ,k = 1,4$$

Definición de caudal promedio mensual: lo define como promedio de los caudales de períodos, ponderado por la duración ΔT_k del período K.

$$Q_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{4} \Delta t_k \, Q_{ijk}}{24} \qquad ,i = 1,14 \qquad ,j = 1,18$$

Cada una de estas restricciones se explica ampliamente en el capítulo 6.

Debido a que en el sistema no existen embalses ni se han modelado estanques, la optimización se hace independiente para cada bimestre, ya que no existen lazos entre un mes y otro. Dado que parte de la información se tiene por bimestre, y que el énfasis en este trabajo se da a la metodología más que al volumen de resultados obtenidos, la operación óptima para el sistema Quillota-La Cruz se realiza por bimestre, para tres años, comenzando con el bimestre enero-febrero de 1990, y terminando con el bimestre noviembre-diciembre de 1992; en total, dieciocho bimestres.

7.2 RESOLUCION DEL PROBLEMA DE OPTIMIZACION

En el punto 3.7 se indica una metodología general para resolver el problema de optimización. En este punto se explica el método concretamente usado en esta tesis.

De acuerdo con 3.7, los costos marginales por sector, CMq_i, calculados con la expresión [3-1], tienen implícito un factor de distribución alfa, que indica la proporción de producción de las fuentes que potencialmente abastecen al sector. Existe una proporción de producción óptima, que produce el máximo beneficio neto social posible, dentro de las restricciones. Para obtener este factor alfa óptimo, se le supone un valor inicial, lo que permite calcular los costos marginales CMq_i para todos los sectores. A continuación se resuelve el problema de optimización tal como está formulado en 7.1. Esto arroja como resultado, entre otras variables, los caudales de fuentes. Con éstos se define un nuevo factor de distribución alfa, que permite calcular nuevos CMg_i, que se comparan con los anteriores. Si son diferentes, con los nuevos CMq_i se resuelve nuevamente el problema hasta que converja. Este procedimiento se muestra en el esquema de la Figura 7-1.

El problema de optimización propiamente tal, una vez definidos los CMg_i, corresponde a los pasos 3) a 9) del punto 3.7. Esto se realiza, en la práctica, formulando el problema como de óptimo con restricciones, según se indica en 7.1. Las ecuaciones que definen los caudales Q_{oi}, paso 3), los caudales por periodo, paso 4), los modelos de agua potable y alcantarillado, paso 5), las restricciones de presión, fuentes y alcantarillado, paso 6), y los caudales Q_i, paso 7), se incorporan todas como ecuaciones de restricción del problema. De esta manera, no es necesario seguir

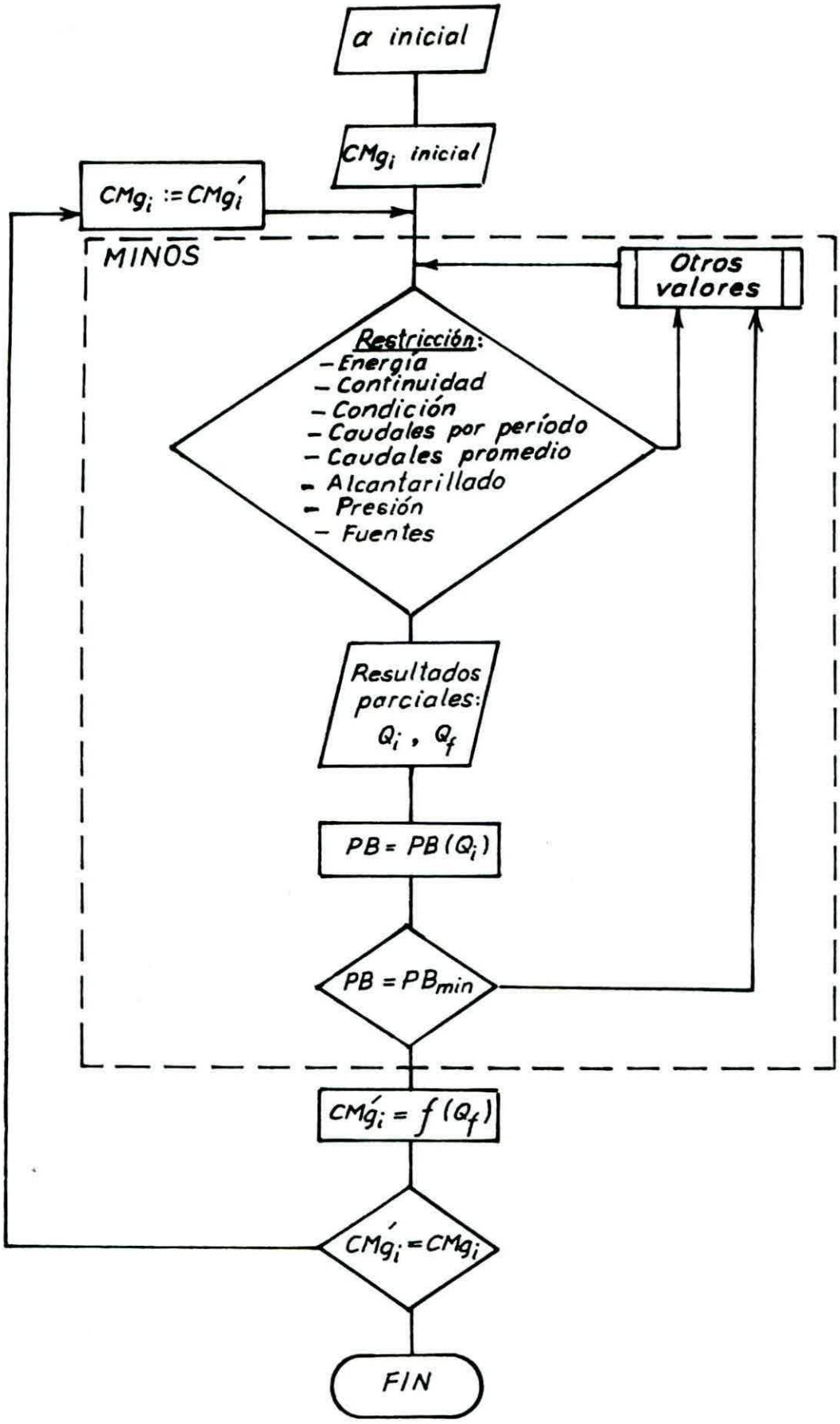


Fig. 7-1. Esquema del método de solución utilizado.

correlativamente los pasos 3) a 7) del punto 3.7, sino que se resuelven simultáneamente cuando se satisfacen las restricciones. La Figura 7-1 muestra esquemáticamente el método de solución utilizado. Para resolver el problema de óptimo con restricciones se utiliza un programa computacional desarrollado en la Universidad de Stanford llamado MINOS (Modular In-Core Nonlinear Optimization System). Este resuelve el problema buscando un conjunto de valores que satisfagan las restricciones lineales y las no lineales linealizadas, mediante iteraciones sucesivas. Ubicado un punto factible, se evalúa la función objetivo, y se repite el proceso de buscar un conjunto solución que satisfaga todas las restricciones y evaluar la función objetivo en ese punto, hasta encontrar aquél que corresponde al mínimo valor de la función objetivo.

La implementación del programa MINOS se efectúa definiendo en una subrutina FORTRAN la función objetivo y su gradiente (subrutina FUNOBJ); en otra subrutina, el vector de restricciones no lineales y su matriz jacobiana (subrutina FUNCON); en un archivo, las restricciones lineales y otros datos (archivo MPS); en otro archivo, parámetros propios del programa (archivo SPECS); y, en un programa FORTRAN, que actúa como programa principal, se pueden definir los valores de ciertas variables auxiliares del problema (programa MAIN).

Se explica a continuación, más en detalle, la información que contiene cada uno de ellos. Los programas, archivos y subrutinas de MINOS se entregan en el Anexo 3.

Programa MAIN

Pide bimestre por pantalla: para trabajar con los datos correspondientes.

Llama a la subrutina principal: y comienza la optimización.
Bloque de lectura de datos: se leen los valores de precios ESVAL por sector, elasticidades por sector, población por sector y por bimestre, dotaciones por sector y bimestre, y costo marginal por sector.

Subrutina FUNCON

Se definen las siguientes restricciones no lineales:
Por período:
17 ecuaciones de energía
15 restricciones de presión
1 restricción de condicion
14 definiciones de caudales por período
--
47

Puesto que hay 4 periodos el total es de 188 restricciones, además de los gradientes de cada una de estas ecuaciones con respecto a cada una de las 472 variables que participan en ellas.

Subrutina FUNOBJ

Se define la función objetivo (incluyendo la parte linealizada según se explica en 6.2).

Se definen sus derivadas con respecto a las 506 variables que participan del problema (14 que aparecen en la función objetivo, y 492 en las restricciones).

Se calculan las tarifas correspondientes a los caudales entregados como solución.

Archivo MPS

Sección ROWS.

Se asigna un nombre a cada restricción (lineal o no lineal), y se indica la naturaleza de la desigualdad (mayor que, menor que, igual, etc.).

Sección COLUMNS.

Para cada variable que aparece en una restricción lineal se indica su coeficiente para cada restricción.

Sección RHS.

Para cada restricción se indica el valor de su lado derecho, si es distinto de cero.

Sección RANGES.

Para restricciones del tipo:

$$a \leq \textit{restricción} \leq b$$

se indica el valor b-a

Sección BOUNDS.

Se indican valores iniciales de las variables.

Archivo SPECS

Se indica el número total de variables, de restricciones no lineales, de variables no lineales, diversos archivos auxiliares, espacios de memoria, parámetros usados al momento de ejecutar el programa.

Se debe señalar que, por razones de eficiencia, a las ecuaciones de energía se les admite una tolerancia de 1 cm. Así, la restricción

$$\text{Ecuación de energía} = 0$$

pasa a ser

$$-0.01 < \text{Ecuación de energía} < 0.01$$

Número de variables

Por período:

104 caudales en tuberías (52 en cada sentido)

14 caudales sectoriales

4 caudales de fuentes

122

Para los 4 períodos el total es de 488 variables.

Más 14 caudales sectoriales promedio

4 caudales fuentes promedio

da un total de 506 variables.

Número de restricciones

No lineales: 188

Lineales (por período):

36 ecuaciones de continuidad en nudos

24 restricciones de alcantarillado

4 restricciones de capacidad de fuentes

--

64

Por 4 periodos, 256 restricciones.

Más, 14 restricciones lineales correspondientes a definición de caudal promedio mensual, da un total de 270 restricciones lineales y 458 restricciones en general.

La solución de MINOS se entrega en el archivo Quillota Salida 1 (Ver Anexo 3).

En él se indican:

Parámetros para la ejecución del programa.

Valor de la función objetivo.

Restricciones: su valor final, límites superior e inferior y precio sombra.

Variables: su valor final, y límites extremos.

Tarifas: la tarifa óptima a cobrar por sector.

8. ANALISIS CORTO PLAZO Y SENSIBILIDAD

8.1. INTRODUCCION

En este Capítulo se procede a analizar la operación de corto plazo del sistema, de acuerdo al método propuesto. En ella se expone cuál es la óptima operación que maximiza el beneficio de la sociedad para el sistema Quillota-La Cruz durante los tres años de análisis. También se compara la respuesta del sistema para diferentes variaciones de parámetros y restricciones (análisis de sensibilidad), con el objeto de observar la influencia de estos parámetros en el resultado y comprobar si dichas respuestas poseen un comportamiento lógico y acorde con la realidad. De ser así, se estaría en condiciones de afirmar que el método propuesto funciona de manera adecuada. Se aclara que todas las sensibilizaciones se efectuarán sólo para el primer bimestre en análisis (ENERO-FEBRERO 1990).

8.2. OPERACION DE CORTO PLAZO

8.2.1. TARIFAS AÑO 1990, 1991 Y 1992

La tarificación óptima es aquélla que induce a los distintos tipos de usuarios a consumir gastos tales que maximicen el beneficio de toda la sociedad. El modelo propuesto optimiza la asignación a

través de este método, conocido como asignación vía precio. La otra alternativa es la de asignar los racionamientos a la población de manera más equitativa, según sus funciones de demanda.

La actual legislación impone un esquema tarifario común para el sistema de agua potable de Quillota y La Cruz, es decir, la tarifa es la misma para todos los usuarios a través del año (naturalmente la cifra se corrige por inflación), y corresponde (según 4.4.7.) a un total de 45.34 [$/m³] para los usuarios que disponen solamente de agua potable, y de 55.45 [$/m³] para los que además están conectados a la red de alcantarillado, puesto que dicho servicio se eleva a 10.11 [$/m³] (cifra de Enero de 1990).

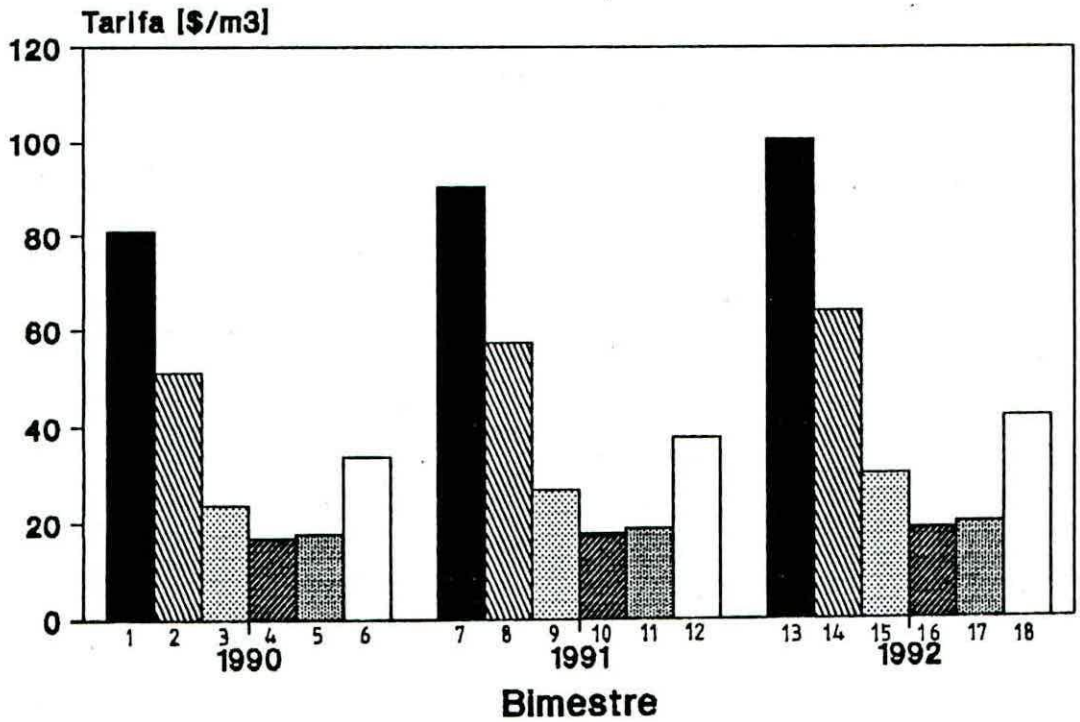
Comparando estos datos con los arrojados por el modelo, se desprende que las tarifas de ESVAL están bajo el óptimo del modelo en Enero y Febrero (Bimestre 1), prácticamente idéntico al óptimo durante Marzo y Abril (bimestre 2), y por encima del óptimo de Mayo a Diciembre. Por lo tanto, el modelo genera mayores niveles de satisfacción que la situación tarifaria de ESVAL.

También se observa que las tarifas del modelo aumentan para cada año. Ello se debe al crecimiento poblacional, puesto que se trabajó con elasticidad constante para los tres años en estudio.

A continuación, se presentan las tarifas óptimas que entrega el modelo durante los años 1990, 1991 y 1992 para los sectores de La

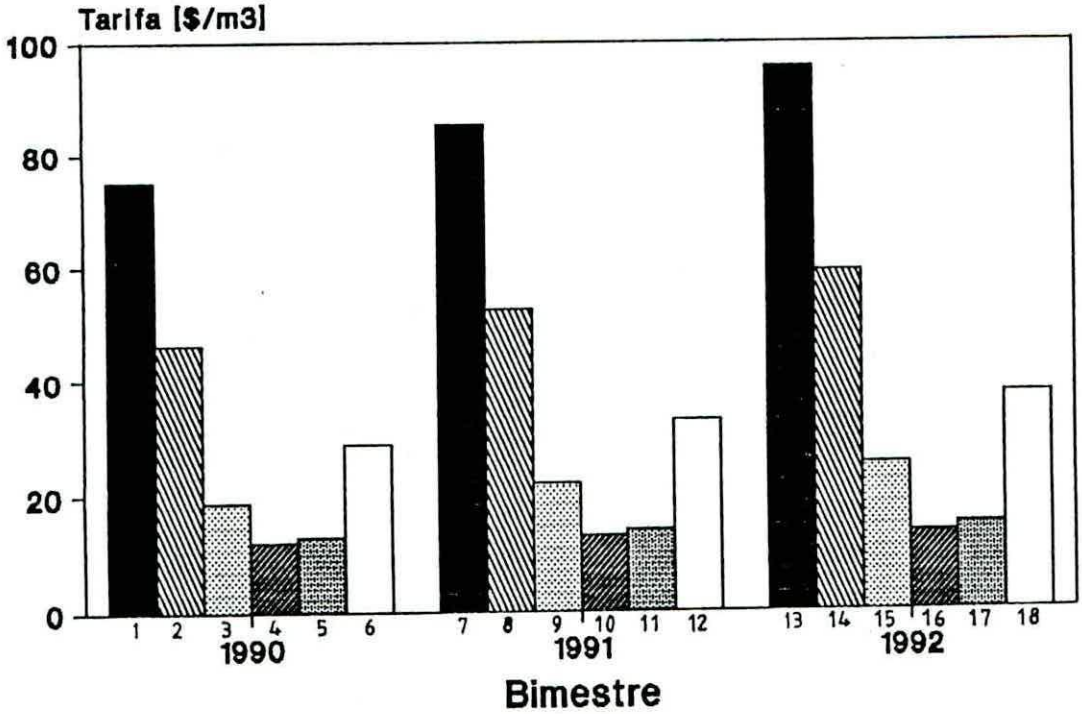
Cruz con y sin alcantarillado, sectores entre Quillota y La Cruz, y Quillota con y sin alcantarillado.

Fig. 8-1 TARIFAS A COBRAR EN SECTOR 21
Durante 1990, 1991 y 1992



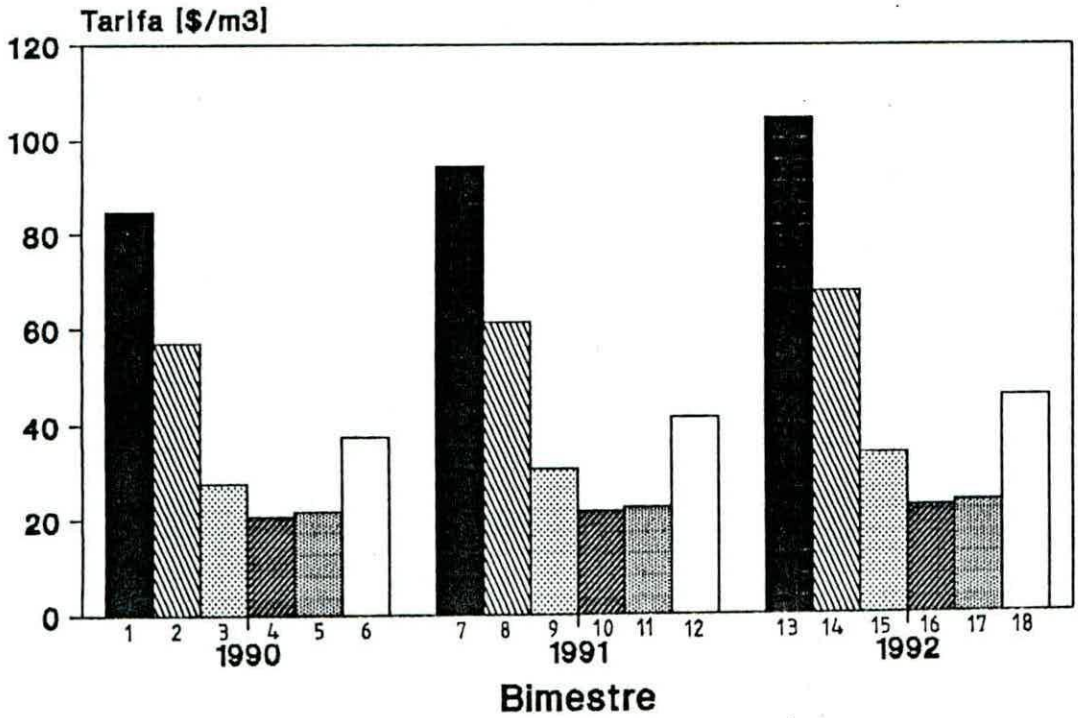
Tarifa ESVAL: 55.45 [$/m3]

Fig. 8-2 TARIFAS A COBRAR EN SECTOR 221
Durante 1990, 1991 y 1992



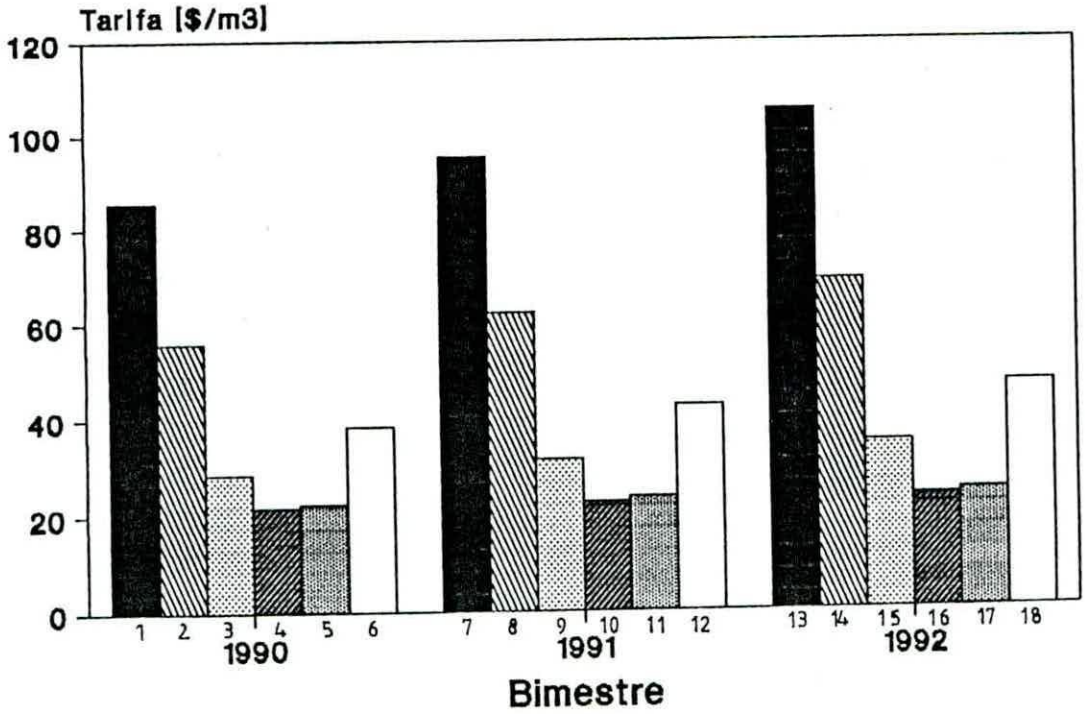
Tarifa ESVAL: 45,34 [$/m3]

Fig.8-3 TARIFAS A COBRAR EN SECTOR 1 Y 3
Durante 1990, 1991 y 1992



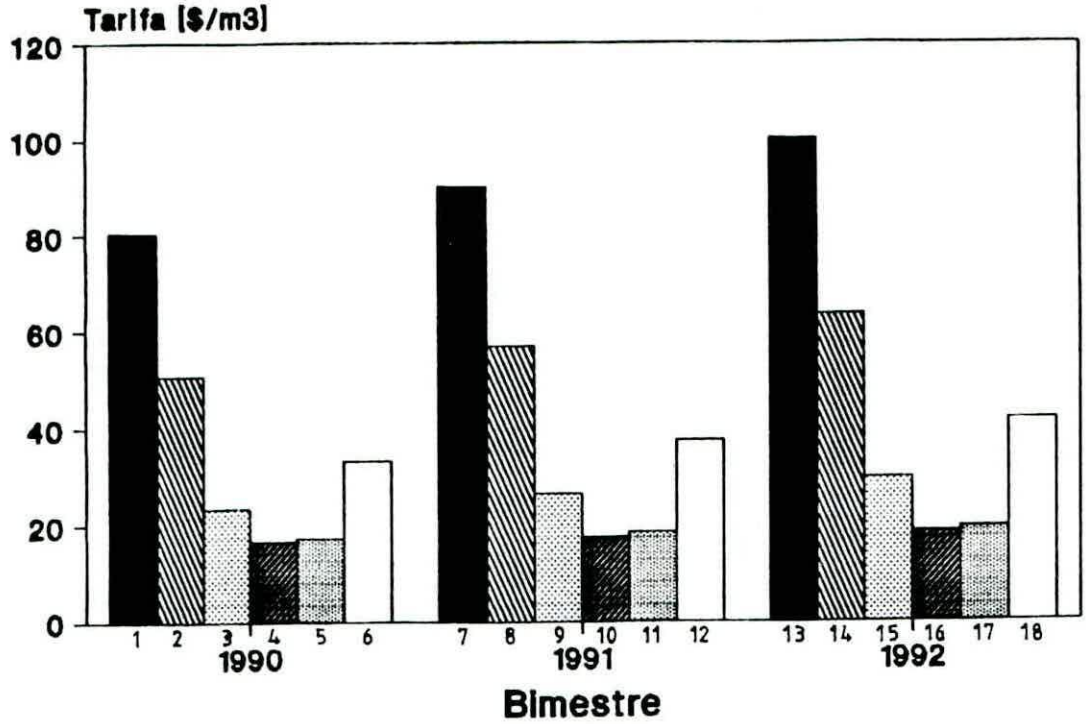
Tarifa ESVAL: 55.45 [$/m3]

Fig.8-4 TARIFAS SECTOR 2,17,5,6,8,9,14,15,18
Durante 1990, 1991 y 1992



Tarifa ESVAL: 55.45 [$/m3]

Fig. 8-5 TARIFAS A COBRAR SECTOR 202
Durante 1990, 1991 y 1992



Tarifa ESVAL: 45.34 [$/m3]

8.2.2. PRODUCCION

La política de tarifas debe ir acompañada por parte de la empresa de una producción que asegure a cada grupo de usuarios la distribución no sólo óptima del bien, sino que además cumpla una serie de restricciones impuestas al sistema, como por ejemplo que dicho bien pueda ser evacuado sin problemas por la red de alcantarillado, y que la presión en la red de distribución se ubique en un rango que garantice un abastecimiento en condiciones adecuadas. Obviamente todas estas condiciones deben cumplirse durante las 24 horas del día, por lo tanto, la producción de las fuentes varía a través del día conforme a la Tabla 8-1.

Tabla 8-1 **PRODUCCION DE LAS FUENTES [lt/s]**

BIMESTRE	PERIODO A 6.00 - 12.00 hrs				PERIODO B 12.00 - 20.00 hrs.				PERIODO C 20.00 - 24.00 hrs.				PERIODO D 24.00 - 6.00 hrs.			
	LCR	ALF	COV	PAR	LCR	ALF	COV	PAR	LCR	ALF	COV	PAR	LCR	ALF	COV	PAR
1	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	56.0	80.0	30.0	6.7	10.9
2	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	42.9	80.0	30.0	6.9	1.9
3	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	63.1	30.0	25.0	41.6	76.9	30.0	0.0	0.0
4	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	99.2	80.0	30.0	0.0	36.5	80.0	17.8	0.0	0.0
5	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	102.7	78.2	30.0	0.0	41.0	80.0	19.2	0.0	0.0
6	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	70.9	30.0	25.0	41.7	80.0	30.0	1.7	0.0
7	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	59.2	80.0	30.0	6.5	13.3
8	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	46.0	80.0	30.0	6.8	4.1
9	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	65.6	30.0	25.0	41.7	78.6	30.0	0.0	0.0
10	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	103.0	80.0	30.0	0.0	38.9	80.0	19.4	0.0	0.0
11	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	106.6	80.0	30.0	0.0	41.2	80.0	20.9	0.0	0.0
12	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	73.6	30.0	25.0	41.9	80.0	30.0	3.5	0.0
13	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	62.5	80.0	30.0	6.2	15.7
14	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	49.0	80.0	30.0	6.6	6.3
15	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	68.1	30.0	25.0	41.8	80.0	30.0	0.0	0.0
16	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	106.8	80.0	30.0	0.0	41.3	80.0	21.0	0.0	0.0
17	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	110.6	80.0	30.0	0.0	43.7	80.0	22.5	0.0	0.0
18	80.0	30.0	25.0	115.0	80.0	30.0	25.0	115.0	76.3	30.0	25.0	42.0	80.0	30.0	5.4	0.0

Fuente: Elaboración Propia

LCR: PLANTA FILTROS LA CRUZ
ALF: SONDAJE ALFARO
COV: SONDAJE COVARRUBIAS
PAR: SONDAJE PARRONES

En este cuadro se aprecia claramente que durante el período peak (período A), las fuentes producen a máxima capacidad durante todo el año, situación que se repite al período siguiente (entre las 12:00 y 20:00 hrs.) entre los meses de Noviembre y Junio. Durante el resto del día (entre las 20:00 y 6:00 hrs.), las fuentes no producen al límite de su capacidad.

Se debe recordar lo expresado en la modelación en cuanto a que la distribución horaria de la demanda fue sobredimensionada, con el objeto de estudiar el comportamiento al momento de mayor demanda (hora peak), y evitar tener que realizar muchas discretizaciones de pequeños intervalos de tiempo.

Una pregunta lícita que podría plantearse a la luz de los resultados de producción, es por qué la fuente de Alfaro produce a máxima capacidad siendo que es el centro de costo más caro del sistema. No se debe confundir una maximización del beneficio de toda la sociedad (método utilizado en la presente tesis), con una minimización de costos por parte de la empresa (por lo general costos de energía eléctrica), puesto que aunque es mejor para toda la sociedad que la empresa ahorre dinero, este ahorro puede acarrear para la contraparte (usuarios) pérdidas en cuanto a no ver satisfechas sus demandas de agua potable, y que son bastante mayores al ahorro producido en el centro de costo aludido. Dicha fuente por lo demás produce sólo un 12% del total de la ciudad, cifra bastante pequeña con respecto a las dos grandes fuentes abastecedoras (La Cruz y Parrones).

Finalmente, se debe recordar también que este estudio no se detuvo ante la posibilidad de eventuales fallas en el abastecimiento, producto de acumulación de años de sequía (como la del 88 al 90), sino que consideró que siempre era posible producir a máxima capacidad.

8.3 RESPUESTA DEL SISTEMA

8.3.1 INTRODUCCION

Producto de la tarificación óptima y producción de fuentes expuesta anteriormente, el sistema responde para cada bimestre de los tres años de estudio (18 bimestres en total) de acuerdo a los cuadros que a continuación se detallan. En ellos se distingue la tarifa y los gastos consumidos por la población (expresado en dotación, pues es de fácil comprensión), de promedio en el día y su distribución dentro de éste. Además, se observa la presión en [m.c.a.] para cada período del día.

Tabla 8-2 BIMESTRE 1 (ENE - FEB 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	80.80	215	340	192	198	132	26	26	26	26
221	75.83	158	150	223	139	93	27	27	27	27
1	84.67	214	358	181	192	128	53	52	52	51
3	84.67	214	189	307	192	128	56	54	53	53
2	85.43	174	274	170	147	98	21	20	18	18
202	80.46	127	198	125	106	71	55	55	55	55
17	85.43	244	425	187	228	152	66	65	64	64
5	85.43	242	153	375	235	156	62	60	59	59
6	85.43	182	175	255	160	107	59	58	57	57
8	85.43	174	188	235	147	98	59	59	58	58
9	85.43	214	312	216	191	127	32	53	57	66
14	85.43	214	219	205	191	127	64	62	63	65
15	85.43	214	357	182	191	127	65	64	64	65
18	85.43	174	275	170	147	98	65	64	65	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D. 24.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-3 BIMESTRE 2 (MAR - ABR 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	51.20	209	329	197	103	122	26	26	26	26
221	46.23	146	153	199	124	83	27	27	27	27
1	55.07	207	331	196	177	110	53	52	51	50
3	55.07	207	213	204	177	110	56	54	53	53
2	55.92	168	256	174	137	91	21	19	18	18
202	50.95	121	185	126	99	66	55	55	54	55
17	55.92	249	408	222	219	146	66	64	63	63
5	55.92	249	214	360	225	150	62	60	58	58
6	55.92	172	186	231	145	96	59	58	57	57
8	55.92	168	196	220	137	91	60	58	58	58
9	55.92	207	276	237	177	110	41	48	59	67
14	55.92	207	234	268	177	110	64	62	63	64
15	55.92	207	329	197	177	110	65	63	64	65
18	55.92	168	243	185	137	91	65	64	65	66

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-4 BIMESTRE 3 (MAY - JUN 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	23.75	194	235	250	156	104	26	26	26	26
221	18.78	133	198	144	106	71	27	27	28	28
1	27.62	191	283	209	152	101	52	52	53	51
3	27.62	191	238	243	152	101	55	54	56	53
2	28.47	160	208	199	124	83	20	19	21	19
202	23.50	113	147	141	88	59	55	55	58	56
17	28.47	271	390	304	218	145	65	64	67	64
5	28.47	276	326	359	224	150	61	60	62	59
6	28.47	169	214	213	133	89	59	58	60	58
8	28.47	160	208	199	124	83	59	58	61	59
9	28.47	191	239	241	151	101	49	48	66	70
14	28.47	191	239	241	151	101	63	63	67	66
15	28.47	191	239	241	151	101	65	64	68	66
18	28.47	160	208	199	124	83	65	64	69	68

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-5 BIMESTRE 4 (JUL - AGO 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	16.84	184	241	227	142	95	26	26	26	26
221	11.87	120	158	148	93	62	27	27	27	27
1	20.71	179	239	221	138	92	52	52	51	51
3	20.71	179	239	221	138	92	54	54	53	54
2	21.56	153	208	187	117	78	19	19	19	21
202	16.59	98	132	119	75	50	55	55	56	58
17	21.56	265	350	327	205	136	65	64	64	66
5	21.56	271	354	337	211	141	60	60	60	61
6	21.56	157	211	192	120	80	58	58	58	60
8	21.56	153	208	187	117	78	59	58	59	60
9	21.56	179	239	220	137	92	48	52	66	70
14	21.56	179	239	220	137	92	63	63	65	67
15	21.56	179	239	220	137	92	64	64	66	67
18	21.56	153	208	187	117	78	65	65	67	69

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-6 BIMESTRE 5 (SEP - OCT 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	17.73	190	248	237	148	99	26	26	26	26
221	12.76	137	178	170	106	71	27	27	27	27
1	21.60	186	246	230	144	96	52	52	51	51
3	21.60	186	246	230	144	96	55	54	54	54
2	22.40	147	199	180	113	75	20	20	20	20
202	17.42	98	132	121	75	50	56	55	57	58
17	22.40	251	328	312	195	130	65	65	65	66
5	22.40	257	331	322	201	134	61	60	60	61
6	22.40	149	198	183	114	76	59	58	59	59
8	22.40	147	199	180	113	75	59	59	60	60
9	22.40	186	246	230	143	95	47	51	66	70
14	22.40	186	246	230	143	95	63	63	66	67
15	22.40	186	246	230	143	95	64	64	66	67
18	22.40	147	199	180	113	75	65	65	68	69

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-7 BIMESTRE 6 (NOV - DIC 1990)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	33.57	200	312	199	167	111	26	26	26	26
221	28.60	148	169	194	122	81	27	27	28	27
1	37.44	197	296	208	162	108	53	52	53	50
3	37.44	197	228	259	162	108	55	54	55	53
2	38.29	171	253	186	136	90	21	19	20	18
202	33.32	109	162	119	87	58	56	55	57	56
17	38.29	260	405	259	217	145	66	64	65	63
5	38.29	262	274	358	224	149	62	60	60	58
6	38.29	176	210	229	143	95	60	58	59	57
8	38.29	171	212	217	136	90	60	58	60	58
9	38.29	197	229	258	161	107	52	44	63	68
14	38.29	197	267	229	161	107	64	63	66	65
15	38.29	197	301	204	161	107	65	64	66	65
18	38.29	171	226	206	136	90	65	64	67	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-8 BIMESTRE 7 (ENE - FEB 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	90.22	212	335	188	198	132	26	26	26	26
221	85.25	157	144	223	139	93	27	27	27	27
1	94.09	211	359	173	192	128	53	52	52	51
3	94.09	211	181	306	192	128	56	54	54	53
2	94.94	173	274	166	147	98	21	20	19	19
202	89.97	126	198	122	106	71	55	55	55	56
17	94.94	241	424	177	228	152	66	65	64	64
5	94.94	238	138	375	235	156	62	60	59	59
6	94.94	180	174	251	160	107	59	58	57	58
8	94.94	173	187	232	147	98	59	59	58	58
9	94.94	211	313	208	191	127	30	53	56	66
14	94.94	211	211	284	191	127	64	62	63	65
15	94.94	211	357	175	191	127	65	64	64	65
18	94.94	173	274	166	147	98	65	64	65	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-9 BIMESTRE 8 (MAR - ABR 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	57.29	206	324	193	183	122	26	26	26	26
221	52.32	145	148	199	124	83	27	27	27	27
1	61.16	205	331	188	177	118	53	52	51	50
3	61.16	205	206	202	177	118	56	54	53	53
2	62.01	167	256	171	137	91	21	19	18	18
202	57.04	120	185	124	99	66	55	55	54	55
17	62.01	245	408	211	219	146	66	64	63	63
5	62.01	245	197	360	225	150	62	60	58	58
6	62.01	170	179	231	145	96	59	58	57	57
8	62.01	167	191	220	137	91	60	58	58	58
9	62.01	204	281	226	176	118	39	49	58	67
14	62.01	204	222	271	176	118	64	62	63	64
15	62.01	204	329	190	176	118	65	63	64	65
18	62.01	167	243	180	137	91	65	64	65	66

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-10 BIMESTRE 9 (MAY - JUN 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	26.71	192	261	223	156	104	26	26	26	26
221	21.74	132	198	140	106	71	27	27	28	27
1	30.58	189	283	203	152	101	53	52	53	50
3	30.58	189	259	221	152	101	55	54	56	53
2	31.43	158	203	199	124	83	21	19	21	19
202	26.46	113	144	141	88	59	56	54	58	56
17	31.43	268	406	281	218	145	66	64	66	64
5	31.43	272	309	359	224	150	61	60	61	59
6	31.43	167	208	212	133	89	59	58	60	58
8	31.43	158	203	199	124	83	60	58	61	59
9	31.43	188	230	241	151	101	50	46	65	69
14	31.43	188	230	241	151	101	64	62	67	65
15	31.43	188	230	241	151	101	65	63	67	65
18	31.43	158	203	199	124	83	66	64	69	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-11 BIMESTRE 10 (JUL - AGO 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	17.79	182	237	227	142	95	26	26	26	26
221	12.82	119	155	148	93	62	27	27	27	27
1	21.66	179	236	221	138	92	52	52	51	51
3	21.66	179	236	221	138	92	54	54	54	54
2	22.51	153	206	187	117	78	19	19	19	20
202	17.54	97	131	119	75	50	55	55	56	58
17	22.51	263	344	327	205	136	64	64	65	65
5	22.51	269	347	337	211	141	60	60	60	60
6	22.51	156	208	192	120	80	58	58	58	59
8	22.51	153	206	187	117	78	58	58	59	60
9	22.51	178	235	220	137	92	48	51	66	70
14	22.51	178	235	220	137	92	63	63	65	67
15	22.51	178	235	220	137	92	64	64	66	67
18	22.51	153	206	187	117	78	65	65	67	69

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-12 BIMESTRE 11 (SEP - OCT 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	18.74	189	243	237	148	99	26	26	26	26
221	13.77	136	175	170	106	71	27	27	27	27
1	22.61	185	242	230	144	96	52	52	51	51
3	22.61	185	242	230	144	96	55	54	54	54
2	23.46	147	197	180	113	75	20	20	20	20
202	18.49	98	131	121	75	50	55	56	57	58
17	23.46	249	322	312	195	130	65	65	65	65
5	23.46	255	324	321	201	134	61	60	60	60
6	23.46	148	195	183	114	76	59	58	59	59
8	23.46	147	197	180	113	75	59	59	59	60
9	23.46	185	242	230	143	95	47	50	65	70
14	23.46	185	242	230	143	95	63	63	66	67
15	23.46	185	242	230	143	95	64	64	66	67
18	23.46	147	197	180	113	75	65	65	67	69

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-13 BIMESTRE 12 (NOV - DIC 1991)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	37.66	197	312	191	167	111	26	26	26	26
221	32.69	146	164	194	122	81	27	27	28	27
1	41.53	195	302	196	162	108	53	52	52	50
3	41.53	195	286	209	162	108	55	54	54	53
2	42.38	169	253	183	136	90	21	19	19	18
202	37.41	108	162	116	87	58	56	55	56	56
17	42.38	256	405	248	217	145	66	64	65	63
5	42.38	258	257	358	224	149	62	60	60	58
6	42.38	175	203	229	143	95	60	58	58	57
8	42.38	169	207	217	136	90	60	58	59	58
9	42.38	195	220	258	161	107	53	42	62	68
14	42.38	195	259	229	161	107	64	62	65	65
15	42.38	195	301	197	161	107	65	63	65	65
18	42.38	169	221	206	136	90	66	64	67	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-14 BIMESTRE 13 (ENE - FEB 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	100.45	210	331	184	198	132	26	26	26	26
221	95.40	156	139	223	139	93	27	27	27	27
1	104.32	209	359	166	192	128	53	52	52	51
3	104.32	209	180	300	192	128	56	54	54	53
2	105.17	172	274	163	147	98	21	20	19	19
202	100.20	125	198	120	106	71	54	55	55	56
17	105.17	238	424	167	228	152	66	65	64	64
5	105.17	234	122	375	235	156	62	60	59	59
6	105.17	178	173	246	160	107	59	58	58	58
8	105.17	172	187	228	147	98	59	59	58	58
9	105.17	209	311	202	191	127	28	54	56	66
14	105.17	209	206	201	191	127	64	62	63	65
15	105.17	209	357	168	191	127	65	64	64	65
18	105.17	172	274	163	147	98	65	64	65	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-15 BIMESTRE 14 (MAR - ABR 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	63.94	204	320	189	183	122	26	26	26	26
221	50.97	143	143	199	124	83	27	27	27	27
1	67.81	202	331	181	177	118	53	52	51	50
3	67.81	202	205	277	177	118	56	54	53	53
2	68.66	165	256	167	137	91	21	19	18	18
202	63.69	120	185	121	99	66	55	55	54	55
17	68.66	242	408	201	219	146	66	64	63	63
5	68.66	241	181	361	225	150	62	60	59	58
6	68.66	168	178	227	145	96	59	58	57	57
8	68.66	165	186	219	137	91	59	58	58	58
9	68.66	202	283	218	176	118	36	50	58	66
14	68.66	202	210	273	176	118	64	62	63	64
15	68.66	202	329	183	176	118	65	63	64	65
18	68.66	165	250	172	137	91	65	64	65	66

Fuente: Elaboración Propia

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Tabla 8-16 BIMESTRE 15 (MAY - JUN 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	29.94	189	264	214	156	104	26	26	26	26
221	24.97	130	198	136	106	71	27	27	28	27
1	33.81	187	283	197	152	101	53	52	53	50
3	33.81	187	267	209	152	101	55	54	53	53
2	34.66	157	203	196	124	83	21	19	20	18
202	29.69	112	153	132	88	59	56	54	57	56
17	34.66	264	406	270	218	145	66	64	66	64
5	34.66	267	292	359	224	150	62	59	61	59
6	34.66	165	247	178	133	89	60	57	59	57
8	34.66	157	230	175	124	83	60	58	60	58
9	34.66	186	222	241	151	101	51	45	64	68
14	34.66	186	222	241	151	101	64	62	66	65
15	34.66	186	255	217	151	101	65	63	67	65
18	34.66	157	199	199	124	83	66	63	68	67

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-17 BIMESTRE 16 (JUL - AGO 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	18.77	181	233	227	142	95	26	26	26	26
221	13.80	119	153	148	93	62	27	27	27	27
1	22.64	178	232	221	138	92	52	52	51	51
3	22.64	178	232	221	138	92	54	54	54	54
2	23.49	152	204	187	117	78	19	19	19	20
202	18.52	97	130	119	75	50	55	55	56	57
17	23.49	262	338	327	205	136	65	64	65	65
5	23.49	268	339	337	211	141	60	60	60	60
6	23.49	156	205	192	120	80	58	58	58	59
8	23.49	152	204	187	117	78	59	59	59	60
9	23.49	177	232	220	137	92	48	50	65	70
14	23.49	177	232	220	137	92	63	63	65	67
15	23.49	177	232	220	137	92	64	64	66	67
18	23.49	152	204	187	117	78	64	65	67	69

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-18 BIMESTRE 17 (SEP - OCT 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	19.77	188	238	237	148	99	26	26	26	26
221	14.80	135	173	170	106	71	27	27	27	27
1	23.64	185	239	230	144	96	52	52	51	51
3	23.64	185	239	230	144	96	55	55	54	54
2	24.49	146	195	180	113	75	20	20	20	20
202	19.52	98	130	121	75	50	55	56	57	57
17	24.49	248	316	312	195	130	65	65	65	65
5	24.49	253	316	321	201	134	61	61	60	60
6	24.49	147	193	183	114	76	59	59	59	59
8	24.49	146	195	180	113	75	59	59	60	60
9	24.49	184	239	230	143	95	46	49	65	70
14	24.49	184	239	230	143	95	63	63	66	66
15	24.49	184	239	230	143	95	64	64	66	67
18	24.49	146	195	180	113	75	65	65	67	68

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-19 BIMESTRE 18 (NOV - DIC 1992)

SECTOR	TARIFA [$/m³]	DOTACION DE CONSUMO [l/hab/dia]					PRESION [mca]			
		MEDIO	A	B	C	D	A	B	C	D
21	42.11	195	312	184	167	111	26	26	26	26
221	37.14	145	159	194	122	81	27	27	28	27
1	45.98	193	302	190	162	108	53	52	52	50
3	45.98	193	302	190	162	108	56	54	54	53
2	46.83	168	253	179	136	90	21	19	19	18
202	41.86	107	161	114	87	58	56	55	55	55
17	46.83	253	405	238	217	145	66	64	64	63
5	46.83	254	252	349	224	149	62	60	59	58
6	46.83	173	196	229	143	95	60	57	58	57
8	46.83	168	202	217	136	90	61	58	59	58
9	46.83	193	212	258	161	107	54	41	61	67
14	46.83	193	252	228	161	107	64	62	64	64
15	46.83	193	301	191	161	107	65	63	65	65
18	46.83	168	216	207	136	90	66	64	66	66

PERIODO A: 6.00 - 12.00
PERIODO B: 12.00 - 20.00
PERIODO C: 20.00 - 24.00
PERIODO D: 21.00 - 6.00

Fuente: Elaboración Propia

8.3.2. CONSUMOS

Se han expuesto los gastos que consume la sociedad y que representan la optimización del sistema, o sea, la minimización de pérdidas de beneficio. Claro está que existe un mínimo ideal en lo que a pérdidas de beneficio se refiere, y esto sucede cuando es posible tarifar en todos los sectores a su respectivo costo marginal. Como existe una serie de restricciones y limitantes en el sistema, el valor de la minimización de pérdidas de beneficio será siempre mayor o igual que ese mínimo ideal.

Para tener una idea de cuan lejos está el sistema de aquella situación ideal, se entregan las dotaciones de los 14 sectores durante el año, acompañado de las dotaciones óptimas que hubiese existido en caso de haberse tarifado a costo marginal, es decir, en caso que no hubiese ninguna limitante o restricción.

En ella es posible constatar que durante el invierno (entre Julio y Octubre) la situación casi se acerca a lo ideal. Es por eso que la tarifa óptima se acerca al costo marginal; en cambio durante el verano la tarifa se eleva considerablemente, ya que la demanda es mayor.

También se debe señalar que durante los bimestres 4 y 5 (Julio a Octubre), el sistema no puede satisfacer la demanda durante el peak (de 6.00 a 12.00 hrs.). En cambio, durante los bimestres 1, 2, 3 y 6 el sistema está a máxima capacidad durante dos períodos de tiempo (de 6.00 a 12.00 y de 12.00 a 20.00 hrs.).

A continuación, se presentan las dotaciones promedio del sistema durante los seis primeros bimestres (año 1990) de análisis, junto con las dotaciones promedio de demanda a costo marginal:

Fig. 8-6 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 21

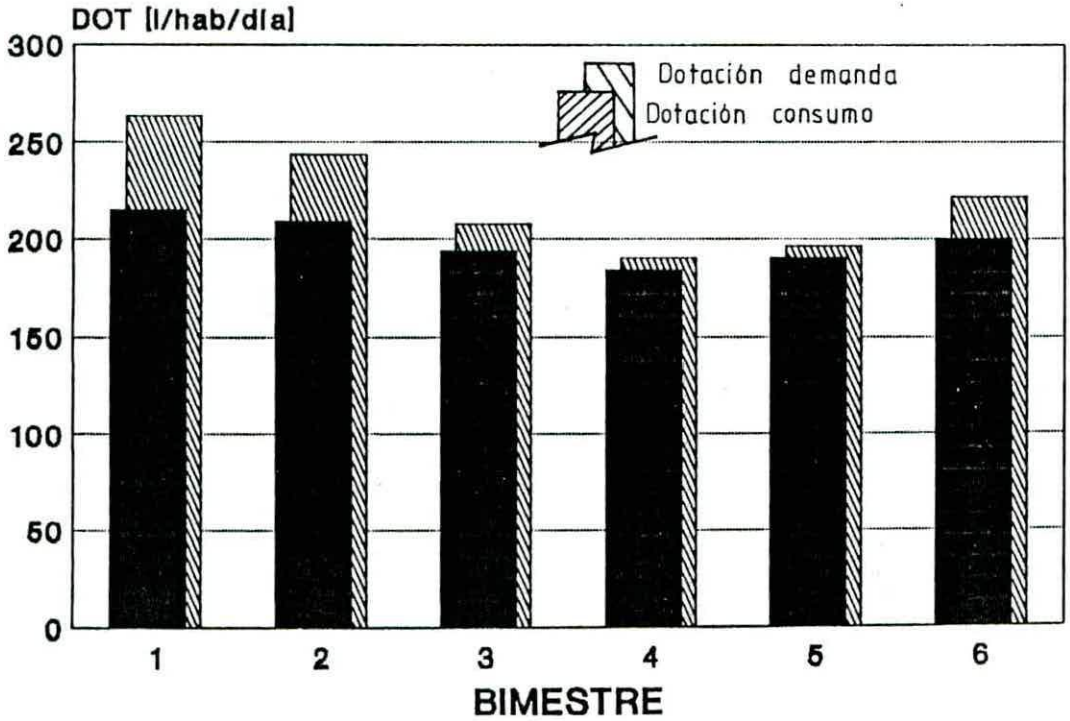


Fig. 8-7 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 221

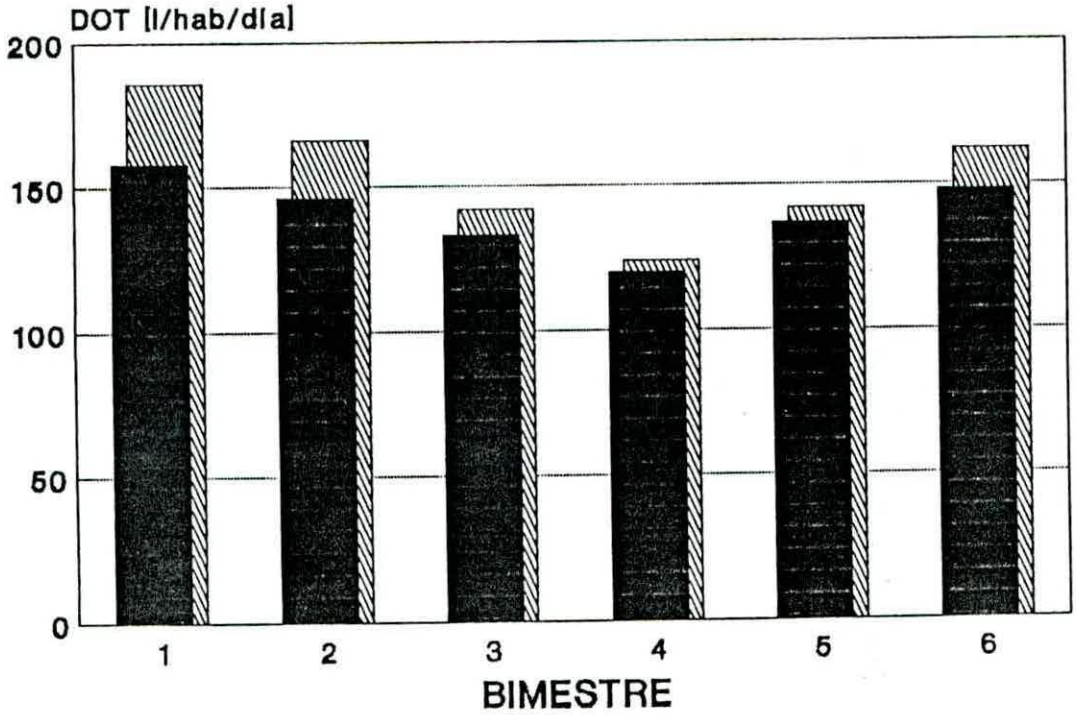


Fig. 8-8 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 1 Y 3

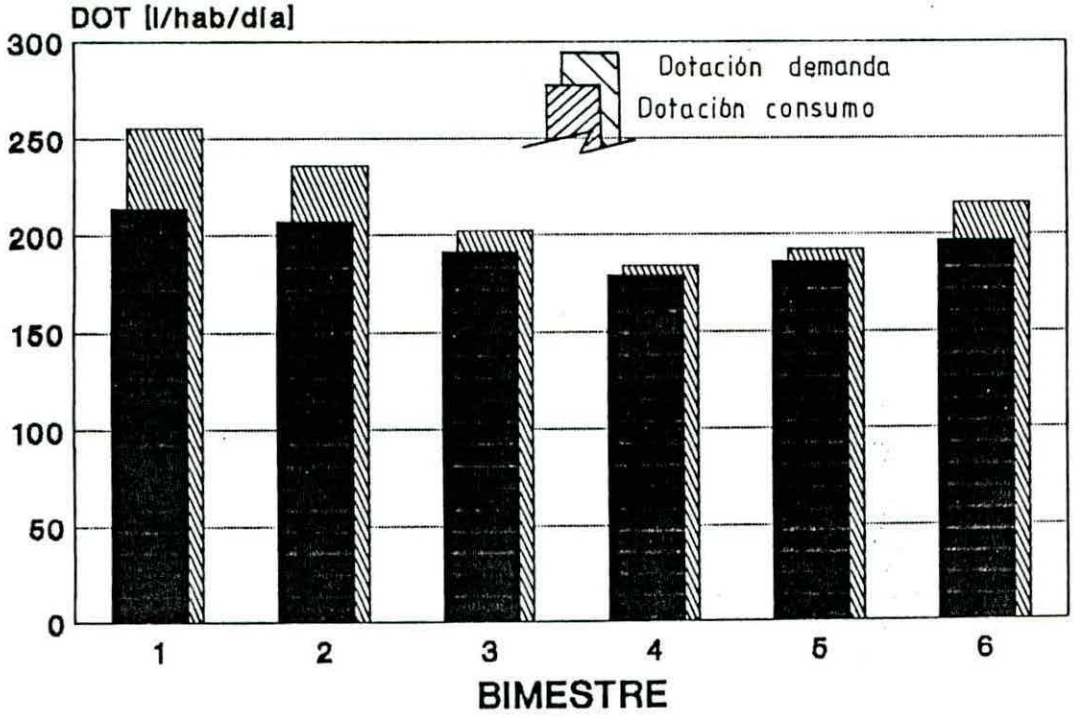


Fig. 8-9 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 2, 8 Y 18

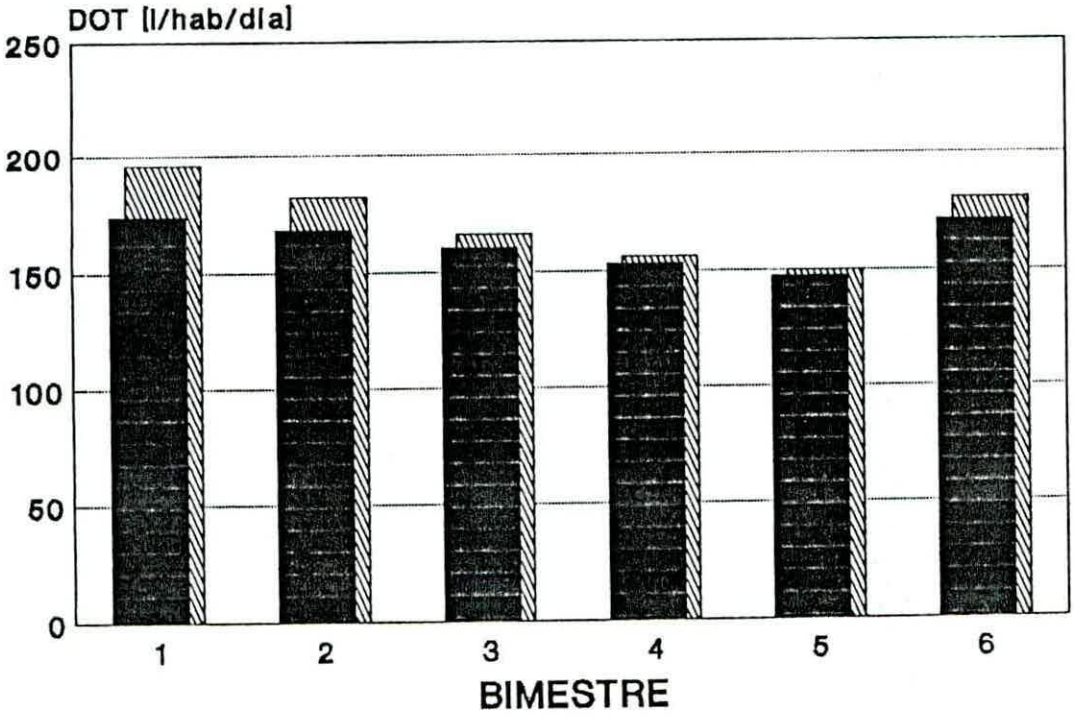


Fig. 8-10 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 202

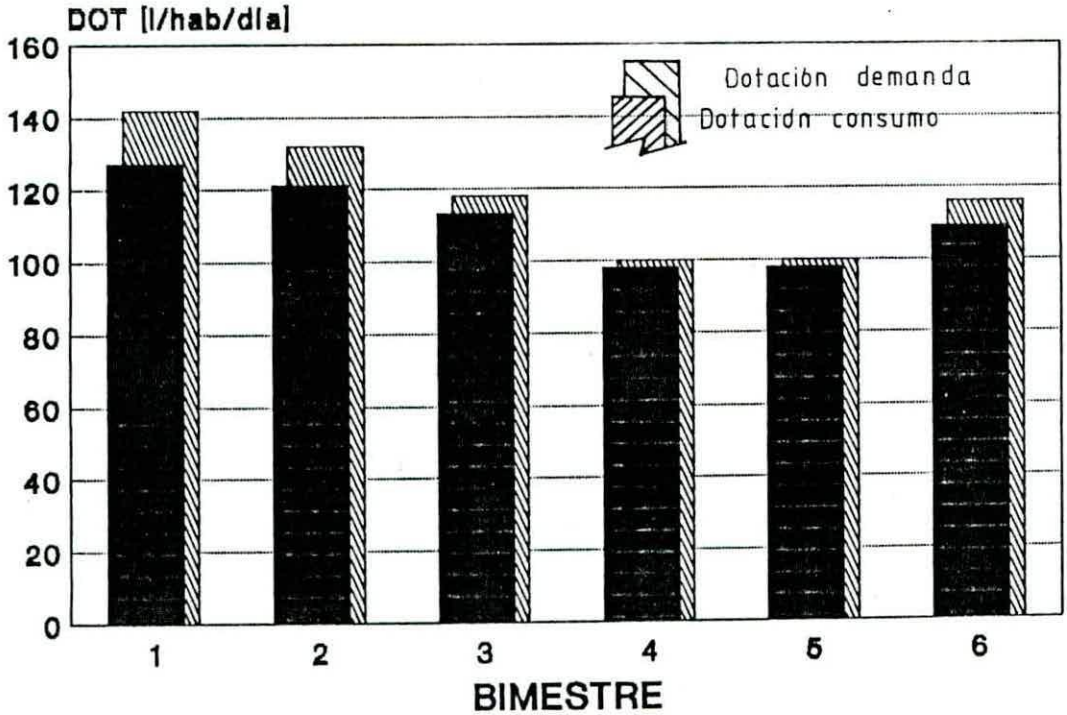


Fig. 8-11 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 17

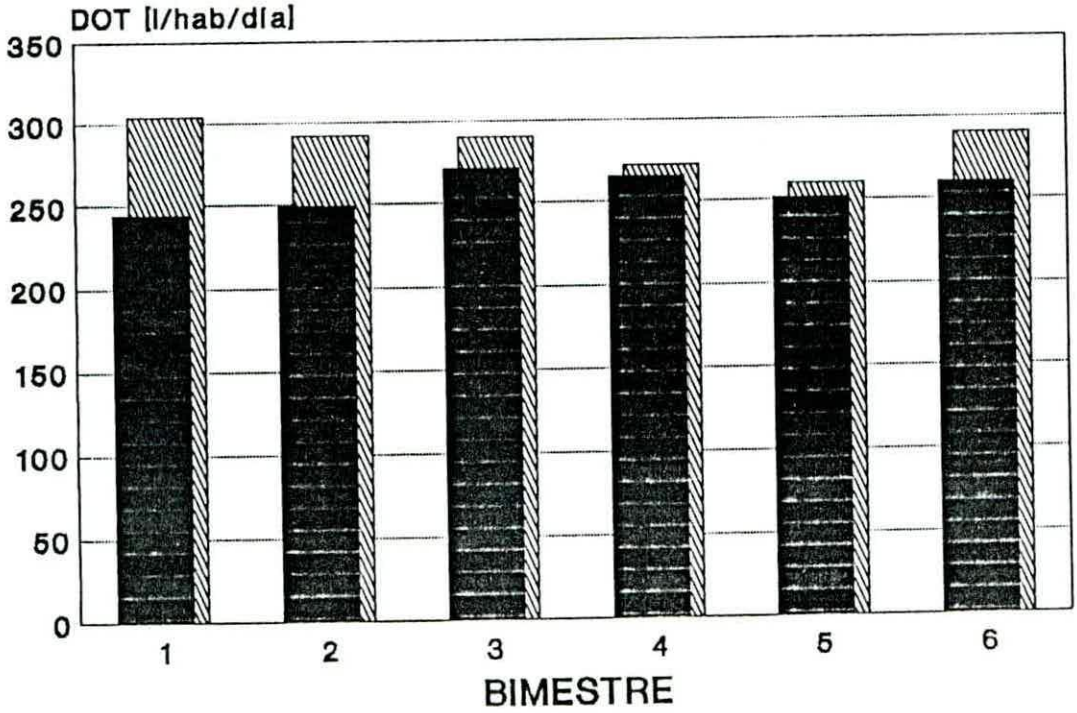


Fig. 8-12 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 5

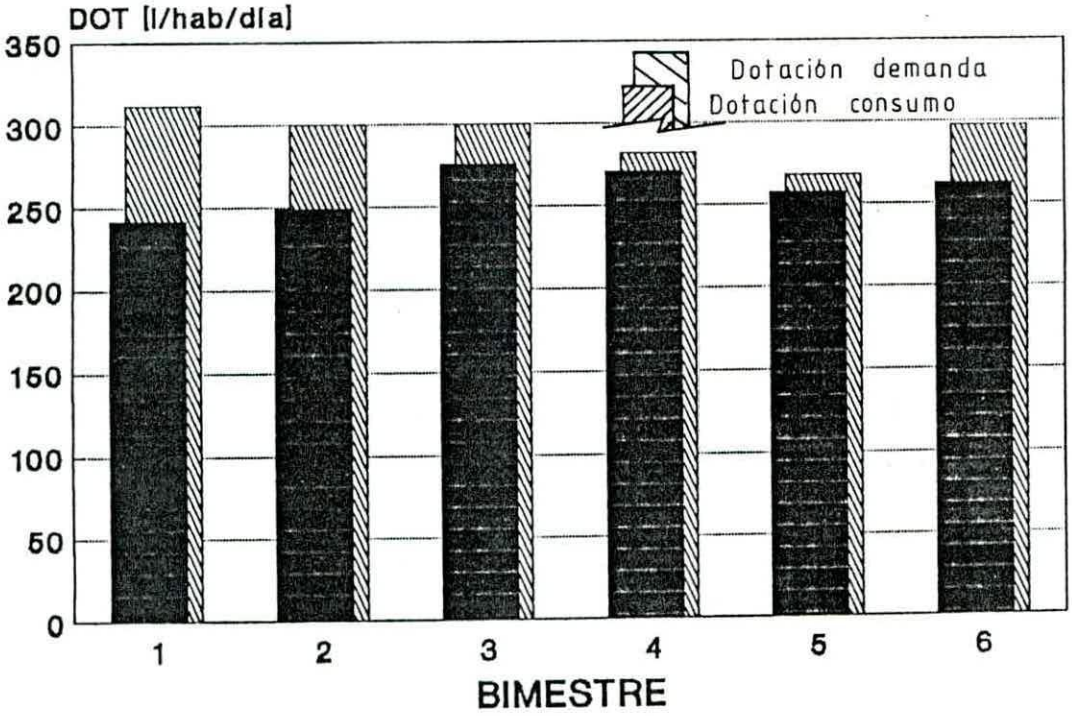


Fig. 8-13 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 6

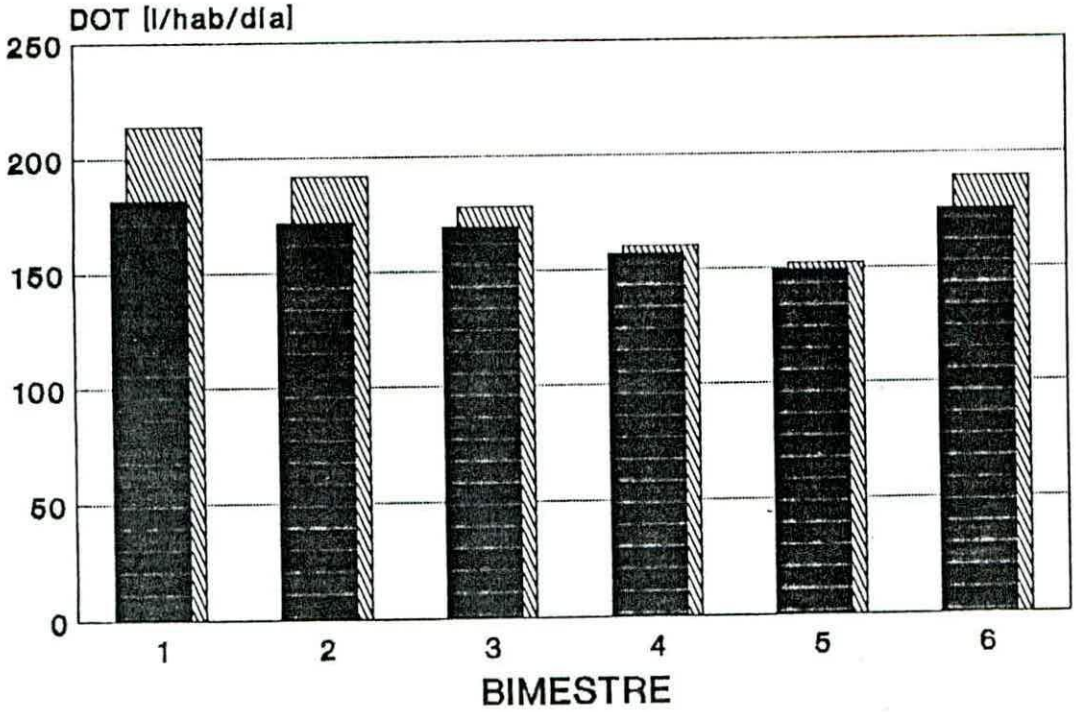
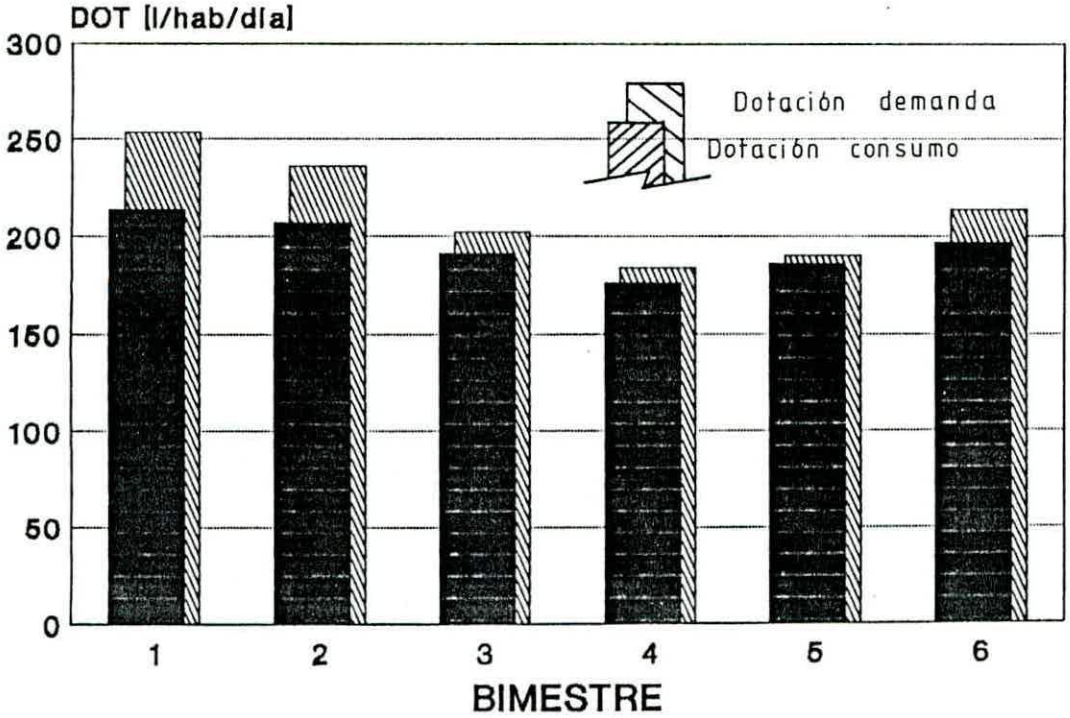


Fig. 8-14 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 9, 14 Y 15



8.3.3. PRESIONES

En las Tablas 8-2 a 8-19, donde se muestran las presiones para los dieciocho bimestres en análisis, se puede apreciar que éstas no varían significativamente durante el transcurso del día. Quizás sí se podría afirmar que la presión se eleva durante las horas de la noche, sobre todo en el sector 9, que corresponde al sector más bajo de la ciudad (sector sur).

También es posible aseverar que en los meses de verano la presión es más baja que en invierno. Esto se debe a que en el verano la demanda de agua potable aumenta (sube el consumo), por lo tanto, las pérdidas de carga son mayores, ya que circula más líquido por las tuberías. Es por ello que las presiones más bajas se producen en los bimestres de verano y en los lugares o sectores más altos: sectores 2, 21 y 221 (Cerro Mayaca, La Cruz con y sin alcantarillado respectivamente).

Puede cuestionarse por qué el sector 202 (Cerro Mayaca sin alcantarillado) posee una presión tan alta, siendo que debería ser similar a la del sector 2. Ello se debe a que dicho sector en la modelación recibe agua luego de ser reelevada por las bombas ubicadas en el mismo cerro. Esto no quiere decir en la realidad que las viviendas que no disponen de alcantarillado consuman agua a una mayor presión, puesto que los hogares que disponen o no de dicho servicio se encuentran íntimamente mezclados. Sólo para

efectos de la modelación se agruparon todas las viviendas en un solo sector, recibiendo el sector 202 (Cerro Mayaca sin alcantarillado) el agua con la energía adicional proporcionada por la planta reelevadora.

8.3.4. ALCANTARILLADO

La red de recolección de aguas servidas no representa tipo alguno de limitante al problema. Es el motivo precisamente por el cual no se presentan los caudales que circulan por la red, pero a modo de ilustración, se puede señalar que en el emisario que recoge toda el agua proveniente de La Cruz y Quillota se da la siguiente relación:

Caudal de diseño	:	513 l/s
Caudal máximo bimestre 1	:	155 l/s
Razón de porteo	:	30%

En el resto de los colectores la relación es similar o menor.

Para apreciar el comportamiento del sistema ante un problema en la red de alcantarillado, se procede inmediatamente en el punto siguiente a provocar artificialmente una estrangulación en el emisario y en un colector (que recolecta el agua de La Cruz). Allí será posible distinguir claramente el cambio en el funcionamiento del sistema ante tal limitación o restricción.

8.4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD

8.4.1. ALCANTARILLADO

8.4.1.1. EMISARIO

Al estrangular el área del emisario se le disminuye su capacidad de porteo obligando a la empresa a adoptar medidas tendientes a evitar consecuencias desagradables a la comunidad.

Para tener una idea global del funcionamiento del sistema ante esta situación, se disminuye la capacidad máxima de porteo del emisario al 95%, 90%, 80% y 60% del flujo máximo que circula en condiciones normales durante el bimestre 1.

Se tiene que el gasto que circula por el emisario durante el bimestre 1 se distribuye durante el día de la siguiente manera:

Tabla 8-20 CAUDAL DE AGUAS SERVIDAS EN EMISARIO (BIMESTRE 1)

PERIODO DEL DIA	FLUJO [l/s]
6.00 - 12.00	154.5
12.00 - 20.00	154.5
20.00 - 24.00	118.1
24.00 - 6.00	78.7

Fuente: Elaboración Propia

Nota: Los gastos durante los dos primeros periodos de tiempo son idénticos debido a que en ambos se produce a máxima capacidad.

Al reducir la capacidad del emisario a las cifras mencionadas anteriormente, la capacidad de porteo queda dada por:

Tabla 8-21 CAUDAL EN EMISARIO COMO PORCENTAJE DEL FLUJO MAXIMO OBSERVADO

REDUCCION AL	CAPACIDAD PORTEO [l/s]
95%	146.7
90%	139.0
80%	123.6
60%	92.7

Fuente: Elaboración Propia

entonces, se aprecia claramente que al reducir la capacidad al 95%, 90% y 80%, el sistema quedará afectado durante los dos primeros periodos de tiempo (de 6.00 a 20.00 hrs.), en cambio, durante el resto del tiempo la situación se mantiene invariante, pues el flujo que circula es menor aún que la capacidad del emisario. Al reducir la capacidad al 60%, se verá afectada la circulación hasta el tercer periodo del día (de 20.00 a 24.00 hrs.).

A continuación, se presenta el funcionamiento del sistema ante la situación detallada. En primer lugar, se exponen los gráficos de consumos promedio del día (del bimestre 1) para cada sector, y se compara con la situación ideal que tendría si no hubiese

restricción de ninguna especie (demanda a costo marginal). Luego se entregan las tarifas de los sectores ante esta situación de disminución del área del emisario:

Fig. 8-15 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 21

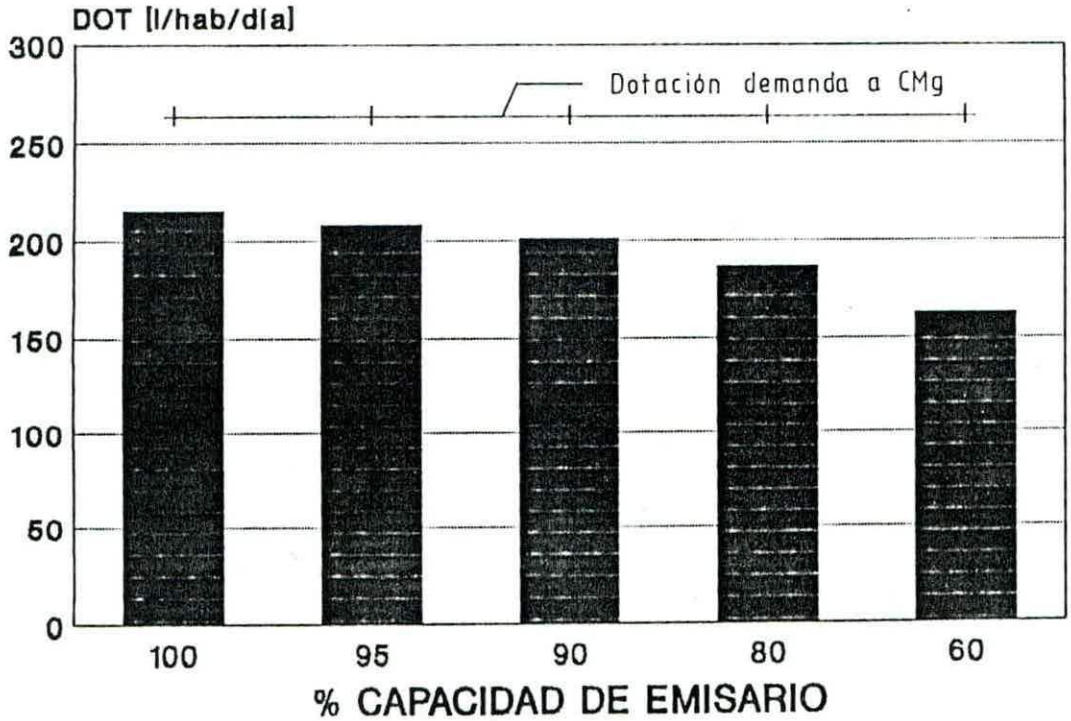


Fig. 8-16 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 221

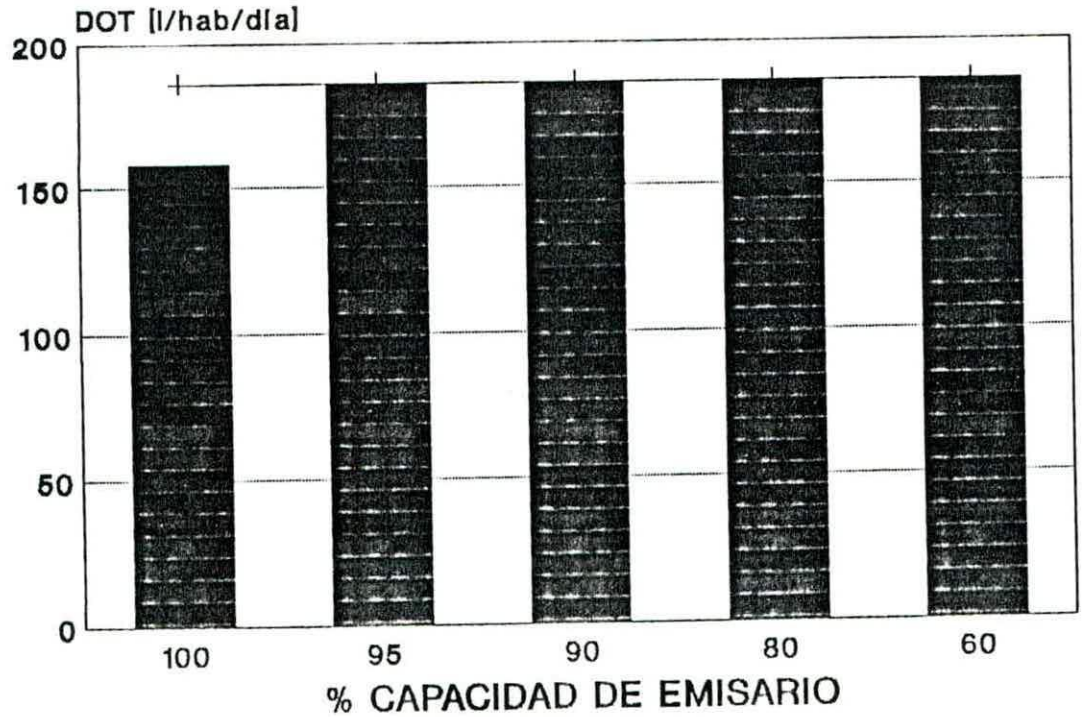


Fig. 8-17 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 1 Y 3

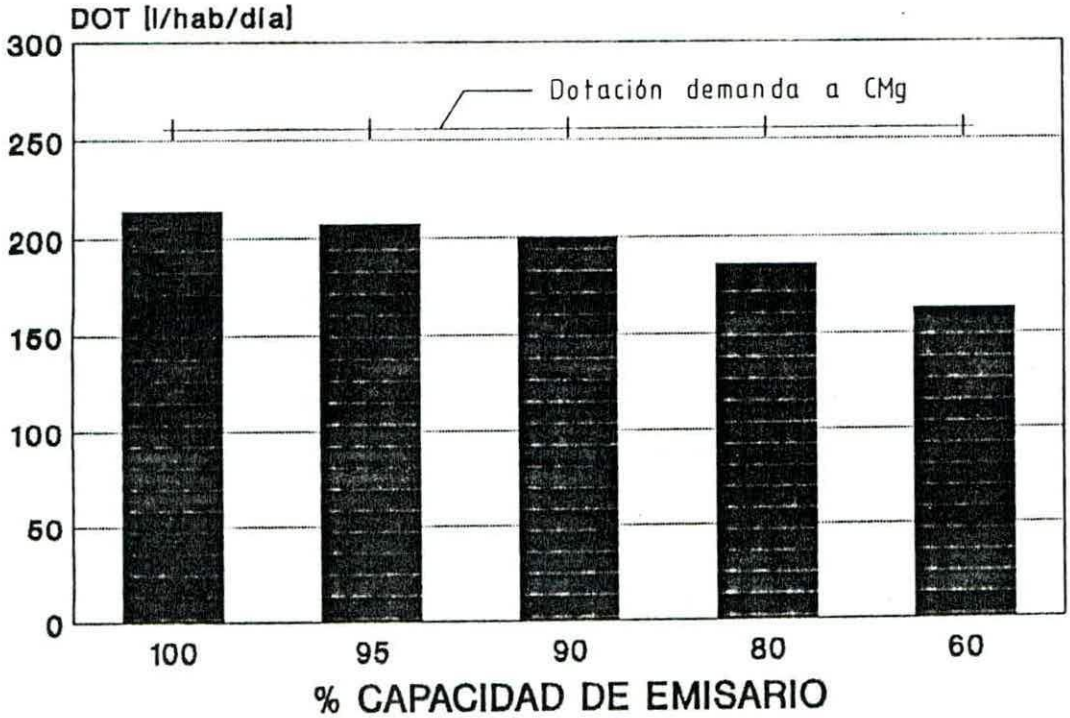


Fig. 8-18 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 2, 8 Y 18

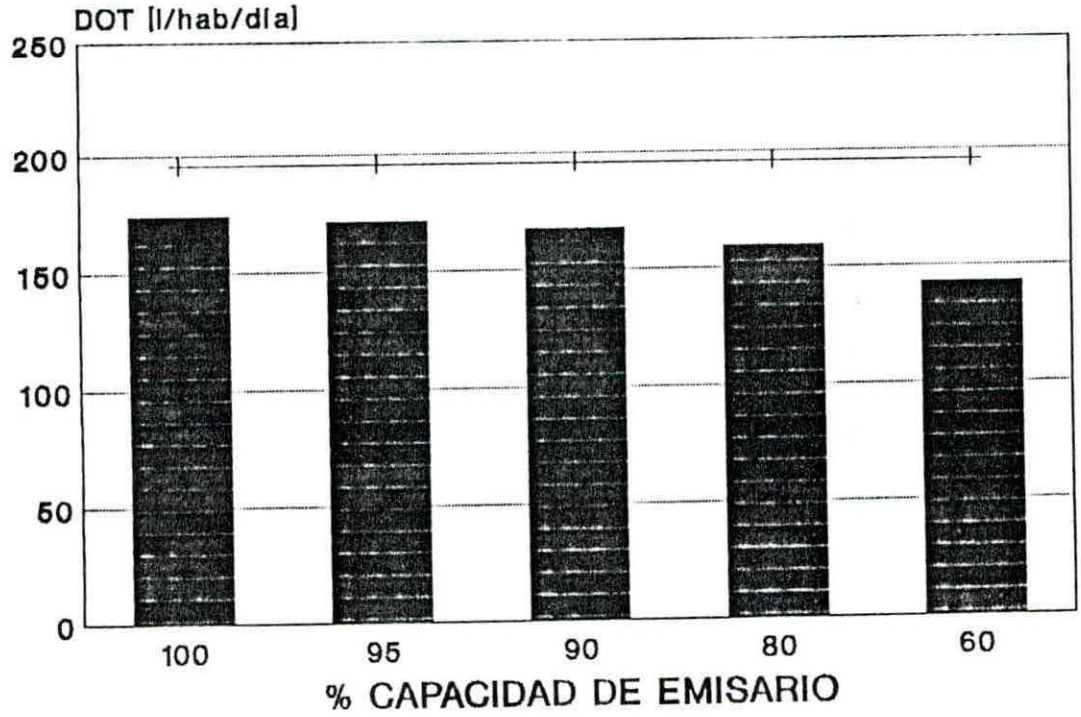


Fig. 8-19 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 202

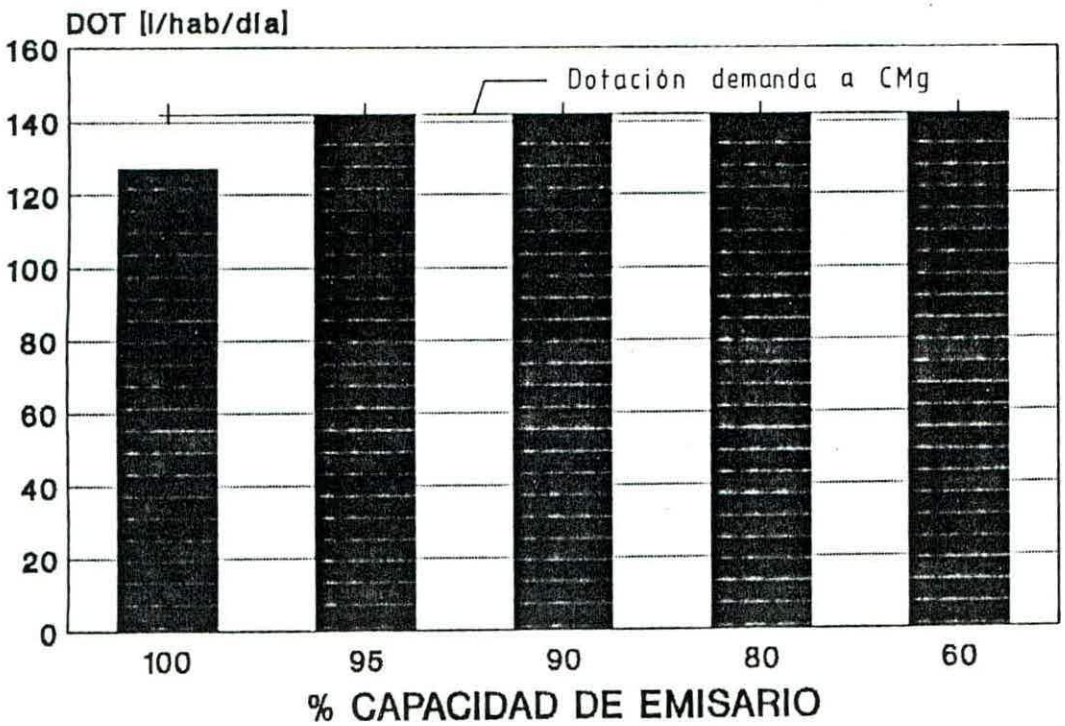


Fig. 8-20 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 17

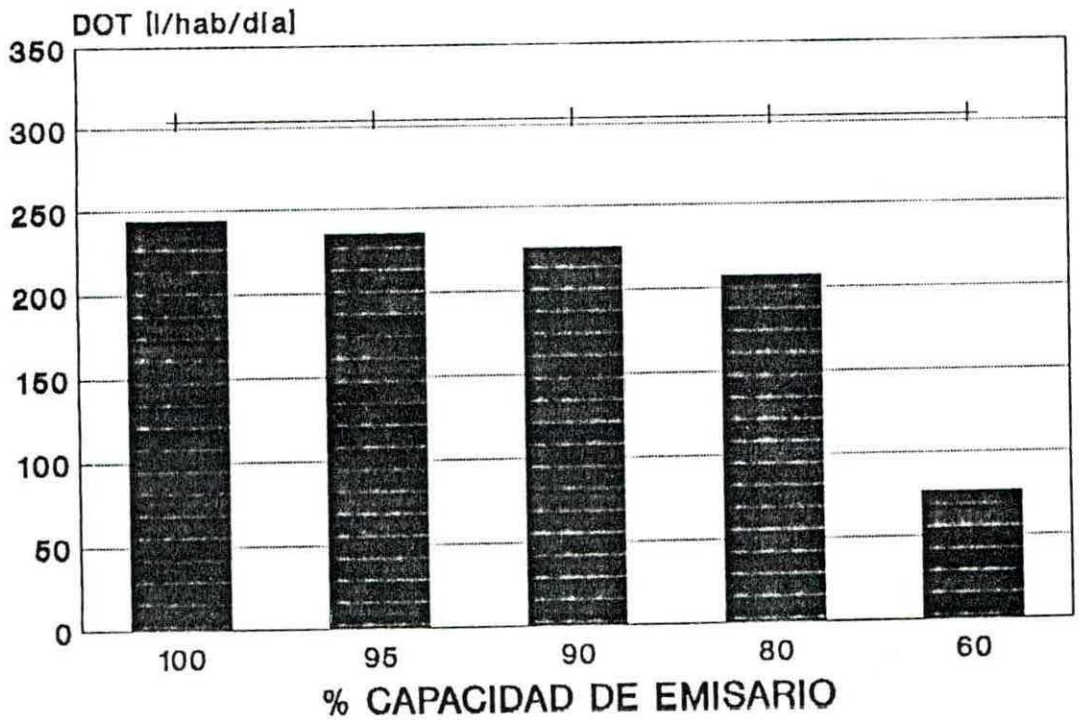


Fig. 8-21 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 5

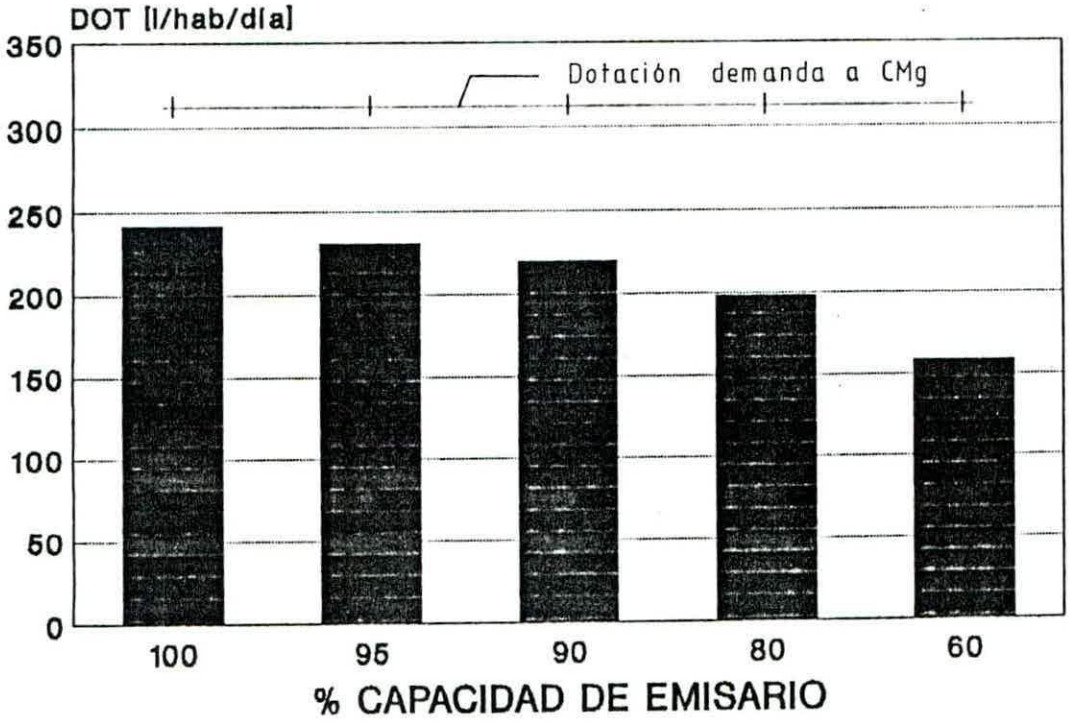


Fig. 8-22 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 6

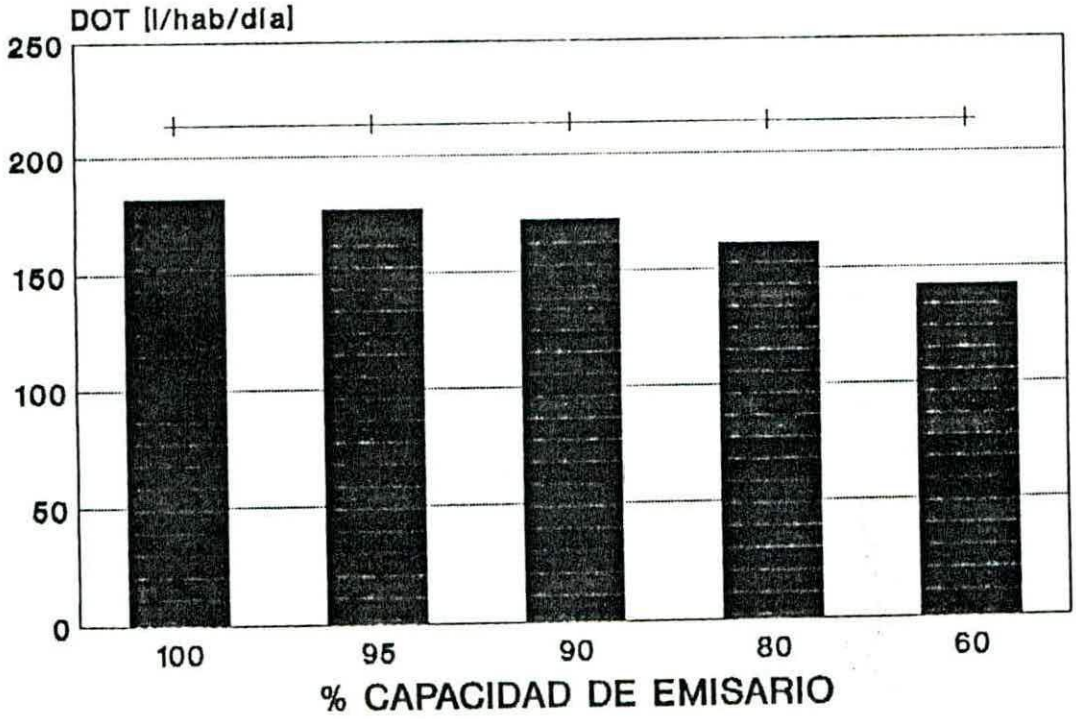


Fig. 8-23 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 9, 14 Y 15

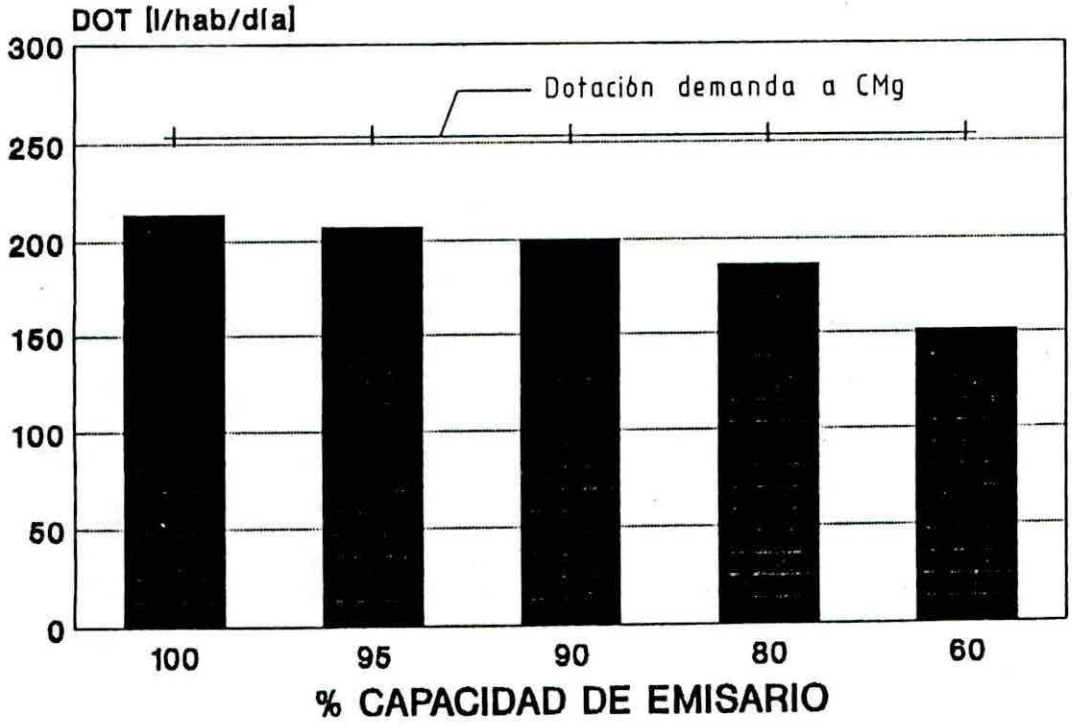
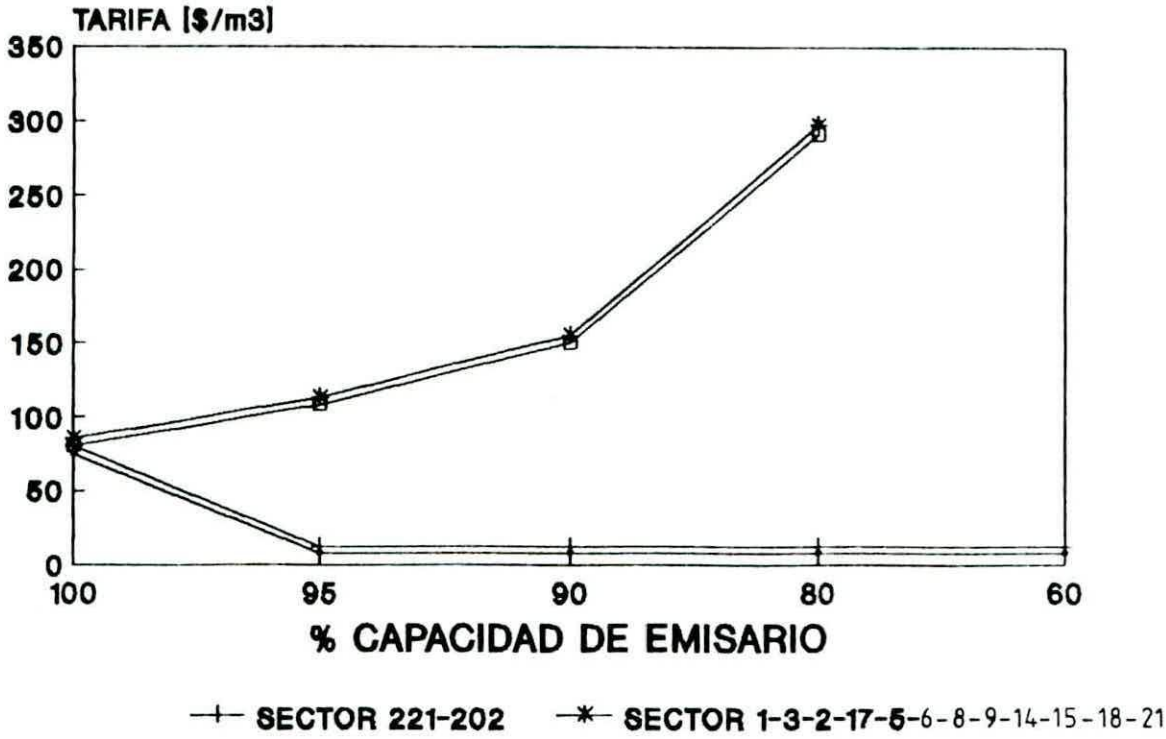


Fig. 8-24 TARIFAS SECTORIALES



Se puede apreciar que de los catorce sectores existentes en el sistema, doce de ellos disminuyen su consumo, y son precisamente los sectores que disponen de alcantarillado. Esta situación contrasta con los dos sectores que no están conectados a la red (sector 221 de La Cruz y 202 del Cerro Mayaca) que alcanzan a satisfacer su demanda ideal, puesto que el agua que obligadamente no consumen los otros sectores alcanza para los habitantes sin alcantarillado, es decir, el sistema responde de una manera lógica.

En cuanto a las tarifas, éstas se elevan considerablemente a medida que disminuye el área del emisario (sólo para los que lo utilizan); en cambio, las tarifas de los sectores que no poseen dicho servicio alcanzan el costo marginal, ya que para esos sectores sus demandas (a costo marginal) se ven completamente satisfechas, es decir, para esos dos sectores su beneficio alcanza el máximo posible.

Se debe señalar, eso sí, que para disminuciones de la capacidad del emisario al 60%, el sistema comienza a tener un comportamiento errático, puesto que al aumentar mucho las tarifas, la gente simplemente se cambia de curva de demanda. No se puede trabajar con valores que se "arranquen" mucho del sector normal de funcionamiento del sistema.

8.4.1.2. COLECTOR

Se ha apreciado en forma general lo que sucede en el sistema al restringir a todos los sectores que están conectados a la red de alcantarillado, por intermedio del emisario.

Ahora se observará el funcionamiento del sistema al restringir tan sólo un sector, vale decir, se disminuirá la capacidad de un colector.

El colector que se restringe corresponde al que evacúa las aguas del sector 21 (La Cruz), cuyo caudal máximo que circula en condiciones normales durante el bimestre 1 alcanza a los 17 [l/s].

La respuesta general del sistema es análoga a la anterior, con la diferencia de que es mucho menos notoria, puesto que se está restringiendo un solo sector. Así, el sistema "reparte" el agua que deja de demandar ese sector (pues no puede evacuarla por ahí) a los trece sectores restantes, pero no en cantidad suficiente como para dejarlos en una situación ideal, ya que ésta no alcanza (en el problema anterior eran doce los sectores que se sacrificaban en beneficio de dos).

Debido a que prácticamente es ínfima la variación de la respuesta del sistema para restricciones pequeñas del colector, se disminuirá la capacidad de éste al 60% y 50% del gasto máximo (10.2 y 8.5 [l/s] respectivamente), observándose los siguientes cambios:

Tabla 8-22 TARIFAS OPTIMAS [$/m3] AL RESTRINGIR EL COLECTOR LA CRUZ

Sector	Colector Normal (Situación Base)	Colector al 60% Capacidad	Colector al 50% Capacidad
21	80.80	324.37	1185.32
221	75.83	67.63	62.78
1	84.67	76.47	71.62
3	84.67	76.47	71.62
2	85.43	77.27	72.42
202	80.46	72.29	67.44
17	85.43	77.27	72.42
5	85.43	77.27	72.42
6	85.43	77.27	72.42
8	85.43	77.27	72.42
9	85.43	77.27	72.42
14	85.43	77.27	72.42
15	85.43	77.27	72.42
18	85.43	77.27	72.42

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8-23 DOTACIONES DIARIAS PROMEDIO [l/hab./día] AL RESTRINGIR COLECTOR LA CRUZ

Sector	Colector Normal (Situación Base)	Colector al 60% Capacidad	Colector al 50% Capacidad
21	215	184	160
221	158	159	160
1	214	216	218
3	214	216	218
2	174	176	177
202	127	127	128
17	244	248	250
5	242	246	248
6	182	184	185
8	174	176	177
9	214	216	218
14	214	216	218
15	214	216	218
18	174	176	177

Fuente: Elaboración Propia

Se distingue claramente que el sector más afectado es el propio La Cruz (Nº 21), que se ve involucrado directamente en la reducción de su colector. Ello explica el alza en su tarifa, pues debe disminuirse la demanda de aquel sector a un nivel tal que quepa por el colector. También se distingue la leve variación del resto de los sectores, en cuanto a una disminución de la tarifa óptima, para que "absorban" el agua sobrante que deja de demandar el sector de La Cruz.

Se recalca que la alta tarifa del sector 21 indica que a ese nivel tan bajo de consumo la curva de demanda ya no representa la realidad. En otras palabras, no significa que los usuarios vayan efectivamente a cancelar esa tarifa, sino que se cambian de curva de demanda.

8.4.2. COSTOS MARGINALES

De los costos marginales calculados o estimados en el Capítulo 5 (efluentes, alternativo, energía, pérdidas y tratamiento), los dos primeros pueden prestarse a un cierto grado de discusión por la forma y la cantidad de suposiciones que fueron necesarias de realizar para llegar a un resultado concreto.

En el caso del alcantarillado (efluentes) simplemente se consideró que existía una planta de tratamiento secundario cuyo costo era el de energía de las bombas de elevación. En cuanto al costo de oportunidad, el valor de la tierra y los factores de retorno al sistema hídrico y de reuso agrícola del suelo pueden estar sujetos a objeción.

Para englobar todas estas suspicacias se procede a analizar el comportamiento del sistema ante cambios en los costos marginales. Se aumentarán en un 50%, 100%, 150% y 200% los valores originales de cada centro de costo.

Al aumentar el valor de los costos marginales disminuye la demanda de los usuarios, por lo tanto, el sistema se acerca cada vez más a la situación ideal, como es posible apreciar en los siguientes datos de respuesta:

Fig. 8-25 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 21

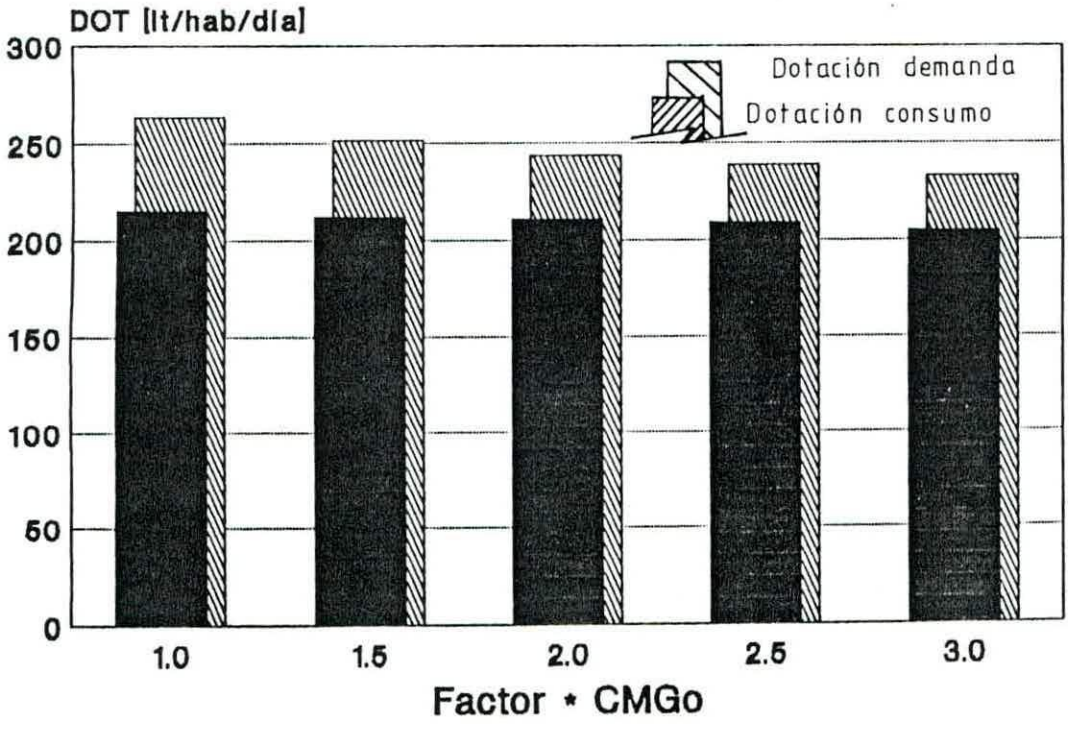


Fig. 8-26 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 221

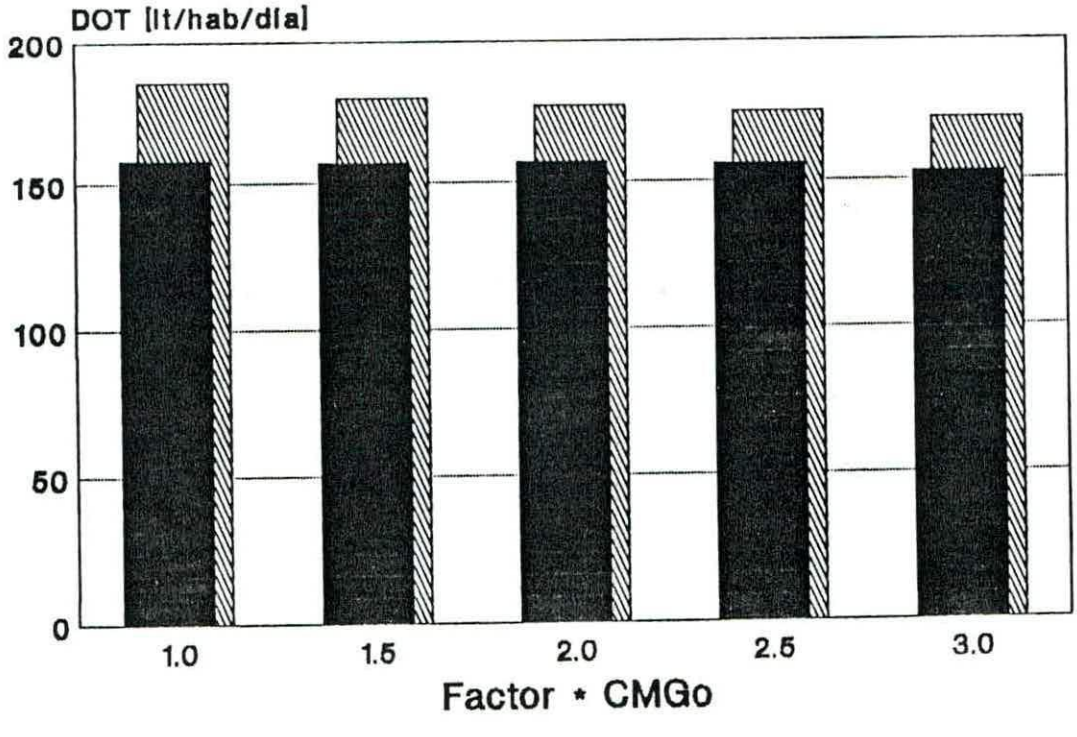


Fig. 8-27 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 1 Y 3

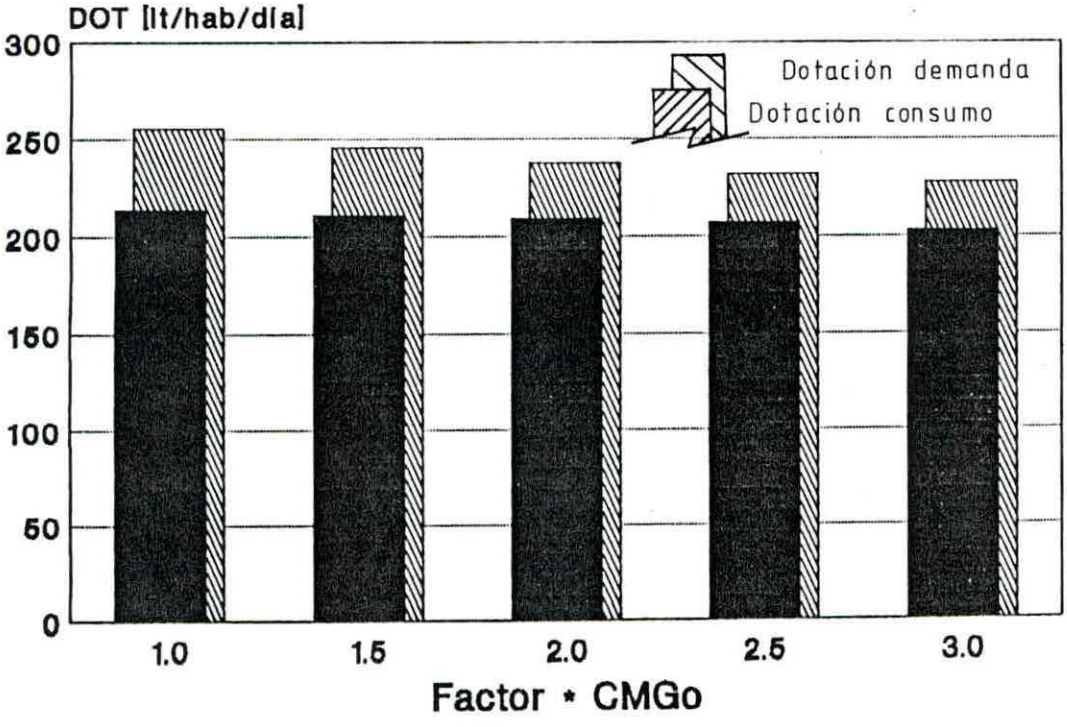


Fig. 8-28 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 2, 8 Y 18

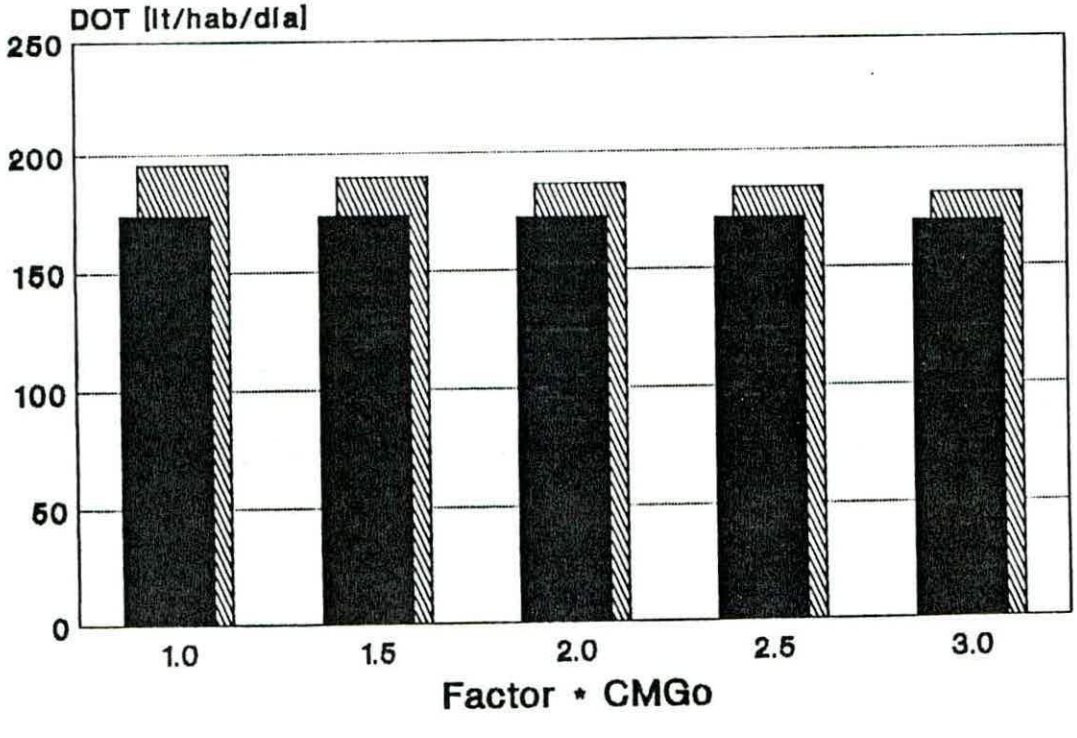


Fig. 8-29 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 202

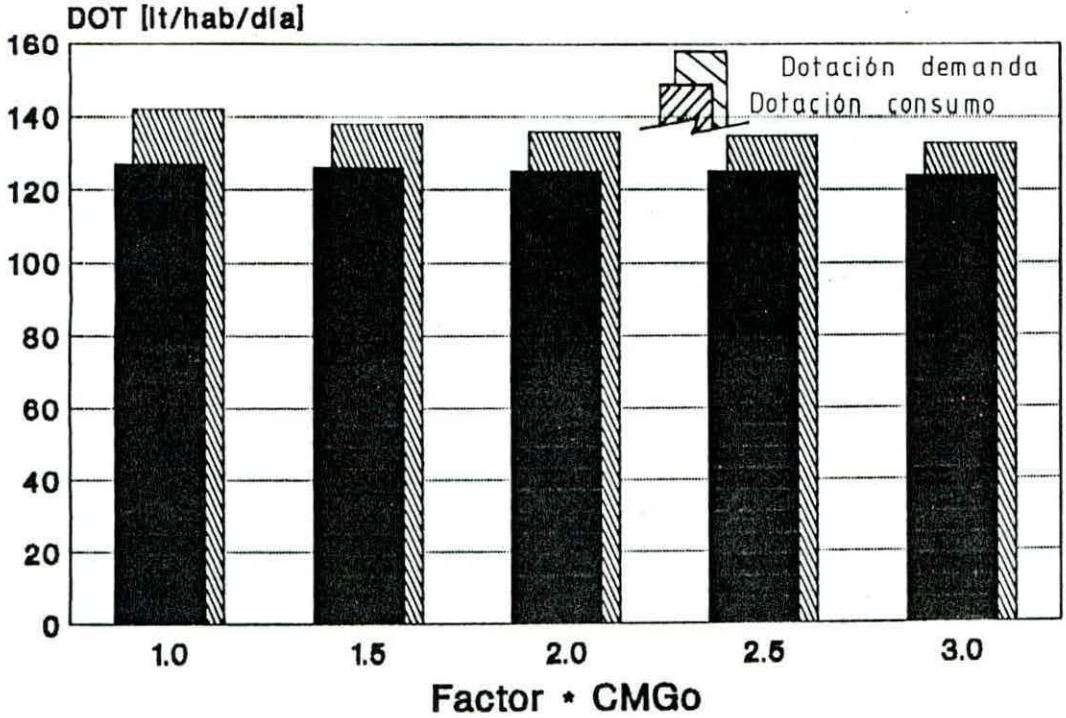


Fig. 8-30 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 17

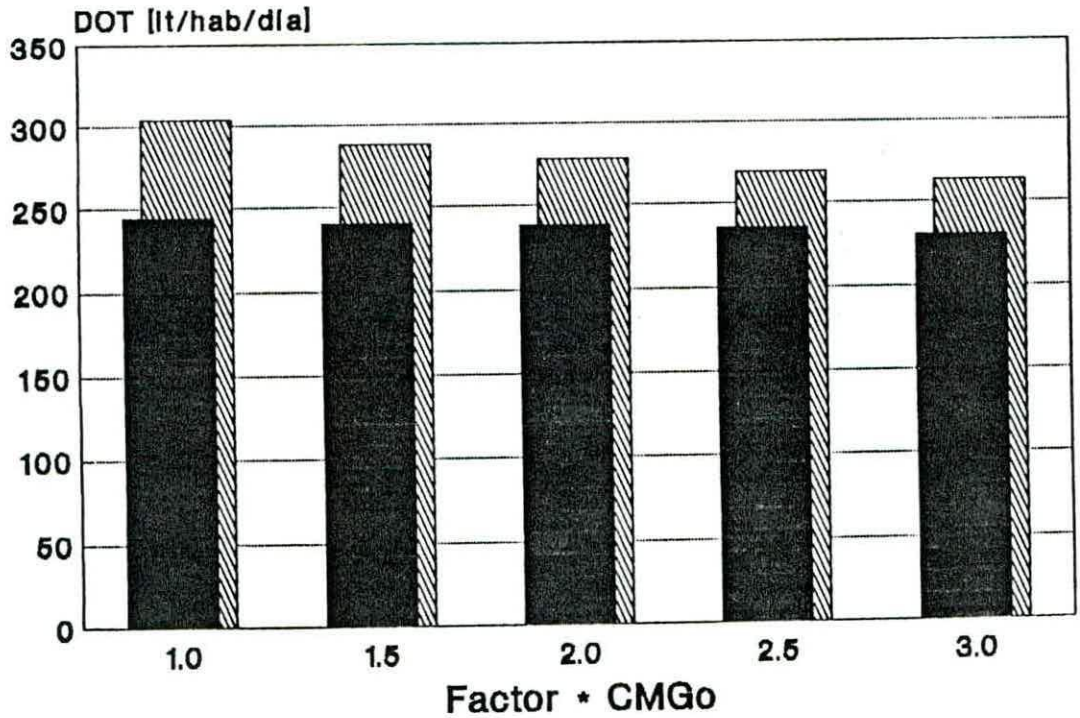


Fig. 8-31 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 5

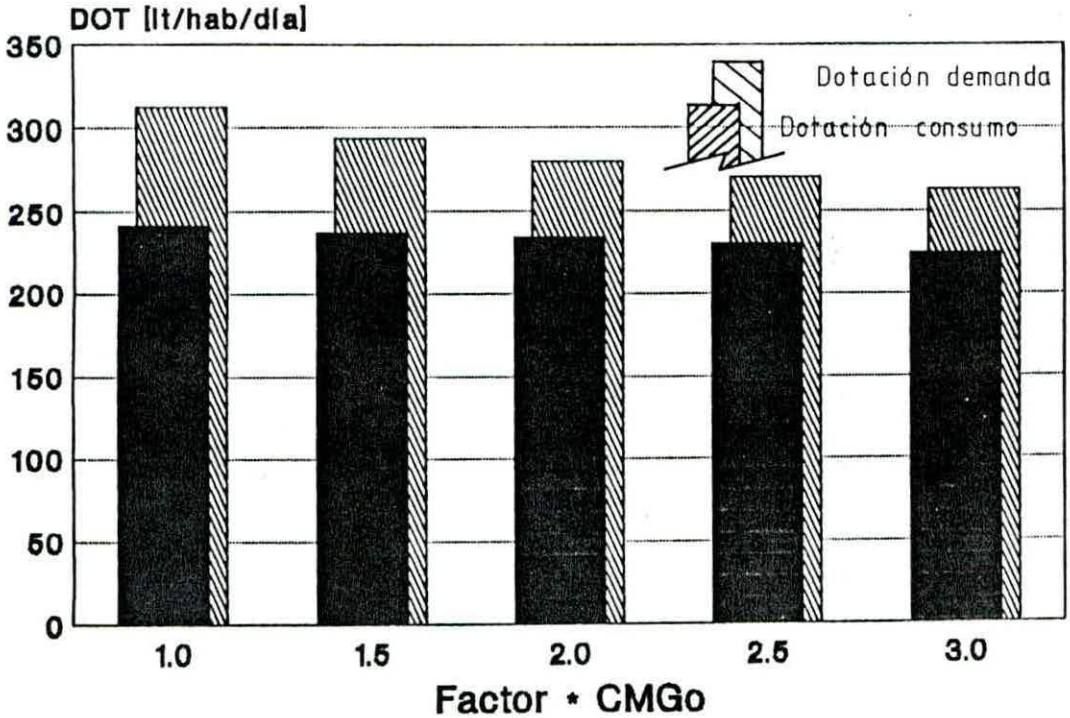


Fig. 8-32 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 6

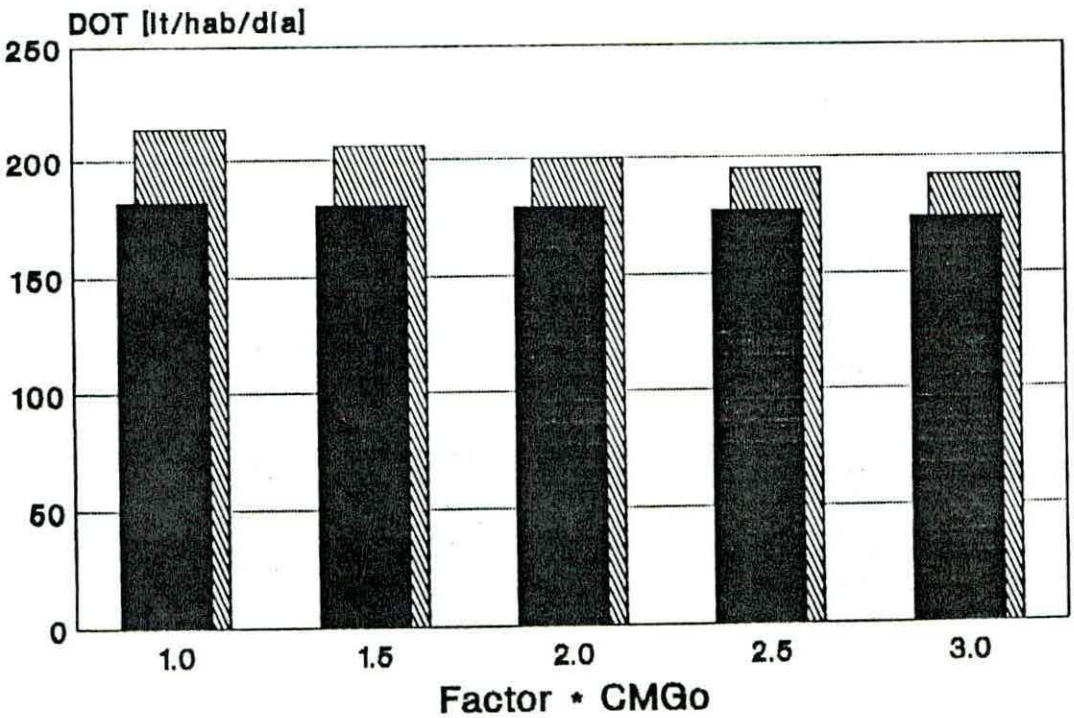


Fig. 8-33 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 9, 14 Y 15

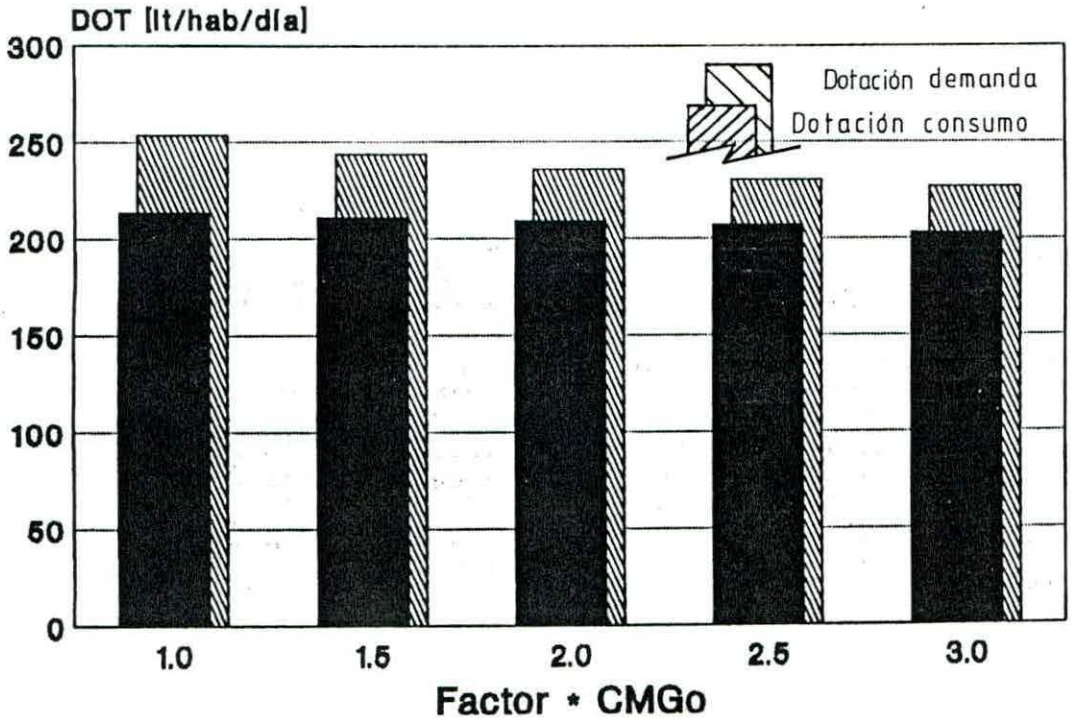


Tabla 8-24 TARIFAS [$/M³] DEL BIMESTRE 1 (ENERO-FEBRERO '90) DEBIDO AL AUMENTO DE LOS COSTOS MARGINALES

Sector	TARIFA [$/m3]				
	1.0 CMG_o	1.5 CMG_o	2.0 CMG_o	2.5 CMG_o	3.0 CMG_o
21	80.80	89.77	96.38	103.99	126.88
221	75.83	82.32	86.44	91.57	117.80
1	84.67	94.78	103.06	112.34	132.91
3	84.67	94.78	103.06	112.34	132.91
2	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
202	80.46	88.62	94.84	102.07	120.58
17	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
5	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
6	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
8	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
9	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
14	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
15	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52
18	85.43	96.09	104.80	114.52	135.52

Fuente: Elaboración Propia

CMG_o = Costo Marginal Original
1.0 CMG_o = Situación Base (Normal) Bimestre 1

Se desprende entonces que el sistema no es sensible a los cambios en el costo marginal, puesto que al aumentar los costos marginales en un 200% (tres veces el valor original) las dotaciones de demanda disminuyen entre un 5 y 15% aproximadamente. Esto se explica por la verticalidad de las curvas de demanda agregada (grandes variaciones en el precio implican pequeñas variaciones en la demanda del bien).

Esta verticalidad tiene sus causas en las elasticidades relativamente pequeñas que se utilizaron. Así, elasticidades-precio pequeñas implican un insignificante cambio en la cantidad demandada producto del cambio del valor del agua (uso imprescindible). Esto se nota claramente al comparar el sector con elasticidad-precio más baja del sistema (sector 202: Cerro Mayaca sin alcantarillado), y el sector con la elasticidad más alta (sector 5: centro residencial comercial). El primer sector aludido prácticamente posee una demanda constante, en cambio, el segundo, sí sufre variaciones más significativas.

Por último, se concluye que sí se justifica realizar suposiciones fundadas, pero no extremadamente exactas, en el cálculo de los costos marginales, puesto que pequeñas diferencias en su estimación no afectarán mayormente el funcionamiento del sistema.

8.4.3. ELASTICIDADES

Con el transcurso del tiempo, la comunidad paulatinamente va ascendiendo de nivel socio-económico, lo que queda reflejado en un aumento de la elasticidad-precio, es decir, sufren un mayor cambio relativo en la cantidad demandada producto de un cambio en el valor del bien, por lo tanto, pueden sustituir muchos de sus usos (o simplemente eliminarlos).

Debido a que los valores de las elasticidades del sistema fueron asignados en base a estudios anteriores, perfectamente estos valores pudieron haberse incrementado hasta la actualidad. Esta situación requiere la sensibilización pertinente. Para ello se aumentarán los valores originales en un 10%, 50%, 100% y 150%, observándose los siguientes efectos:

Tabla 8-25 TARIFAS [$/m3] DEL BIMESTRE 1 (ENERO-FEBRERO '90) DEBIDO AL AUMENTO DE LA ELASTICIDAD PRECIO

Sector	TARIFAS [$/m3]				
	1.0 E_o	1.1 E_o	1.5 E_o	2.0 E_o	2.5 E_o
21	80.80	74.66	60.58	52.20	47.47
221	75.83	69.69	55.61	47.23	42.50
1	84.67	78.00	63.92	55.54	50.81
3	84.67	78.00	63.92	55.54	50.81
2	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
202	80.46	73.89	59.81	51.43	46.70
17	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
5	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
6	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
8	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
9	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
14	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
15	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68
18	85.43	78.87	64.79	56.41	51.68

Fuente: Elaboración Propia

E_o = Elasticidad Precio Original
$1.0E_o$= Situación Base (Normal) Bimestre 1

Fig. 8-34 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 21

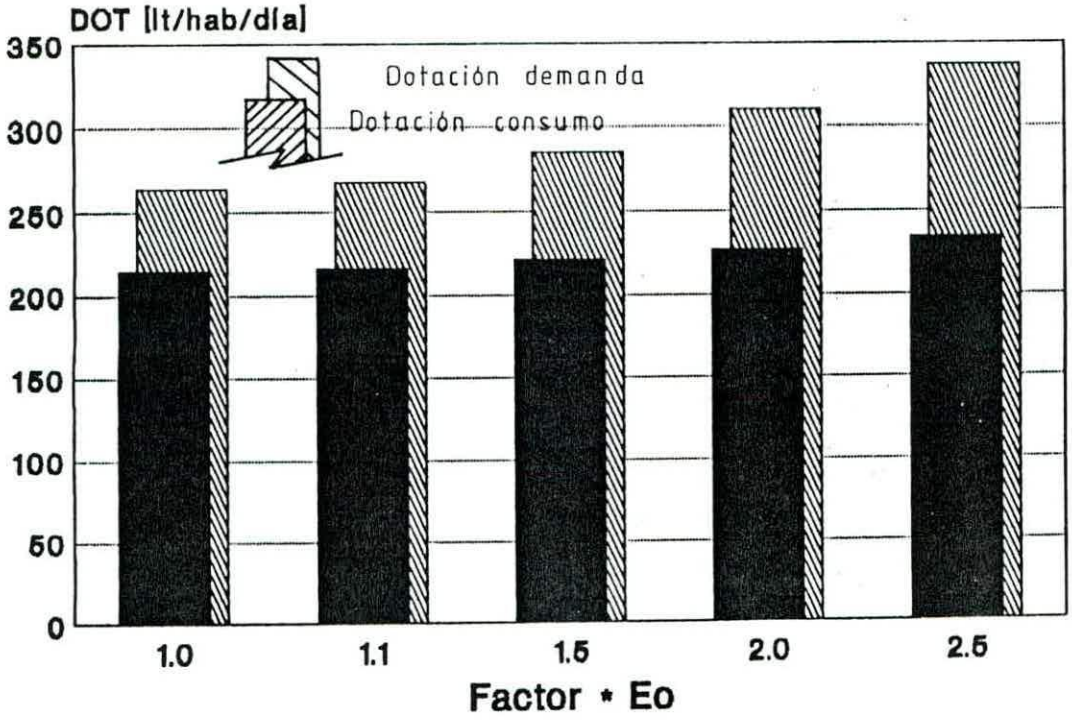


Fig. 8-35 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 221

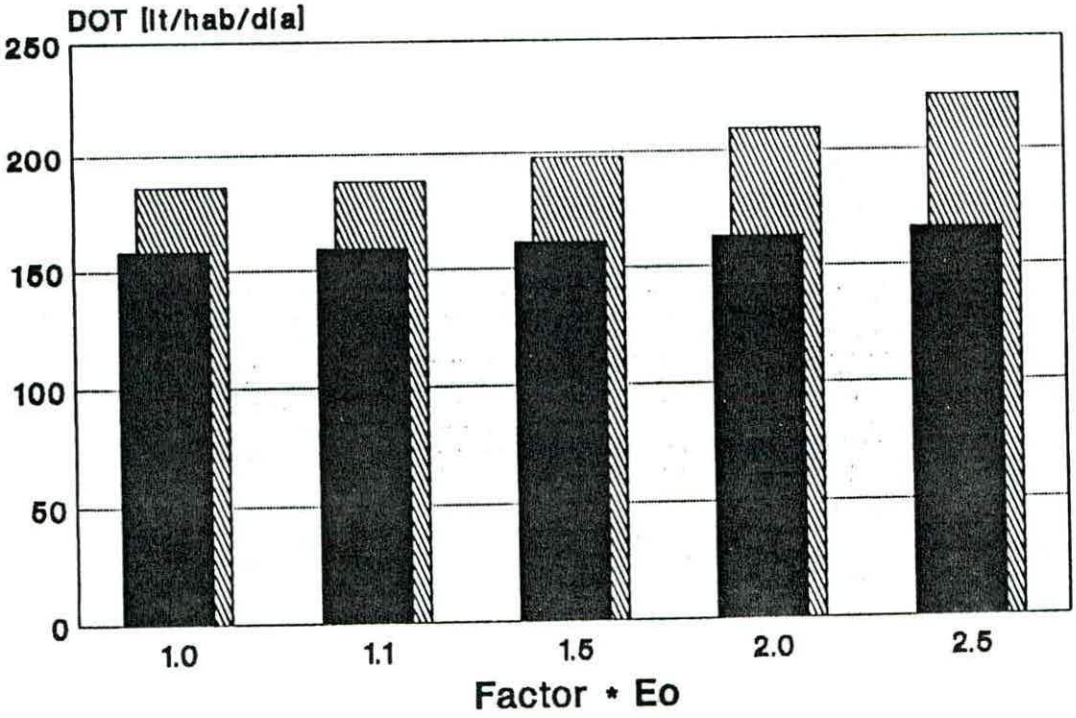


Fig. 8-36 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 1 Y 3

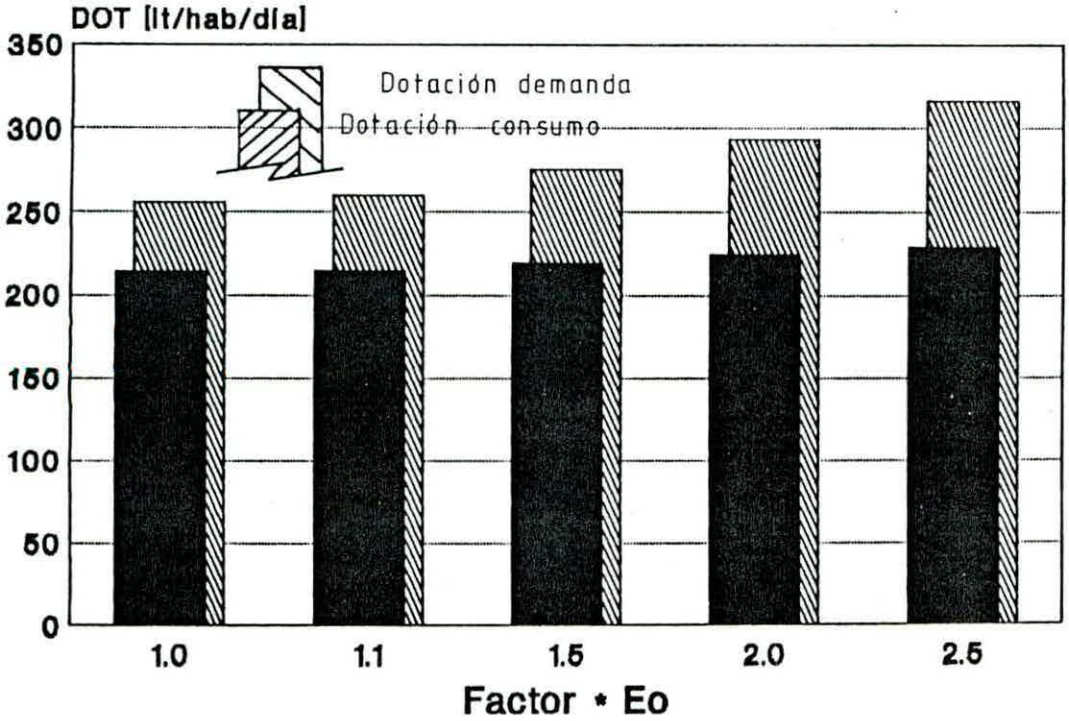


Fig. 8-37 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 2, 8 Y 18

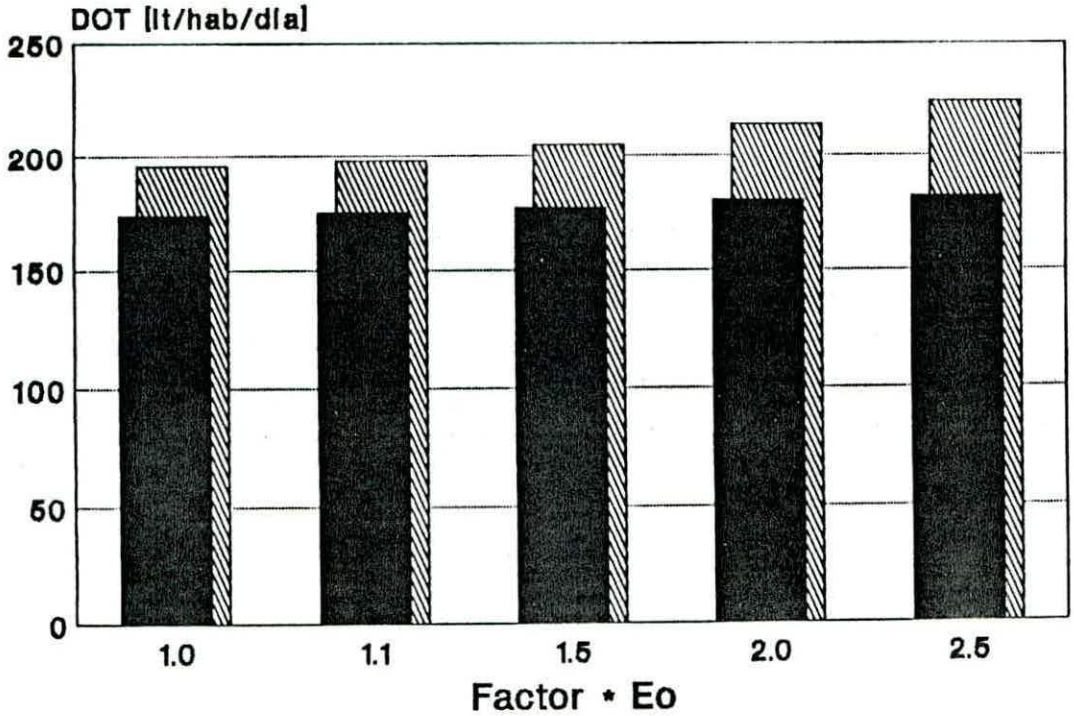


Fig. 8-38 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 202

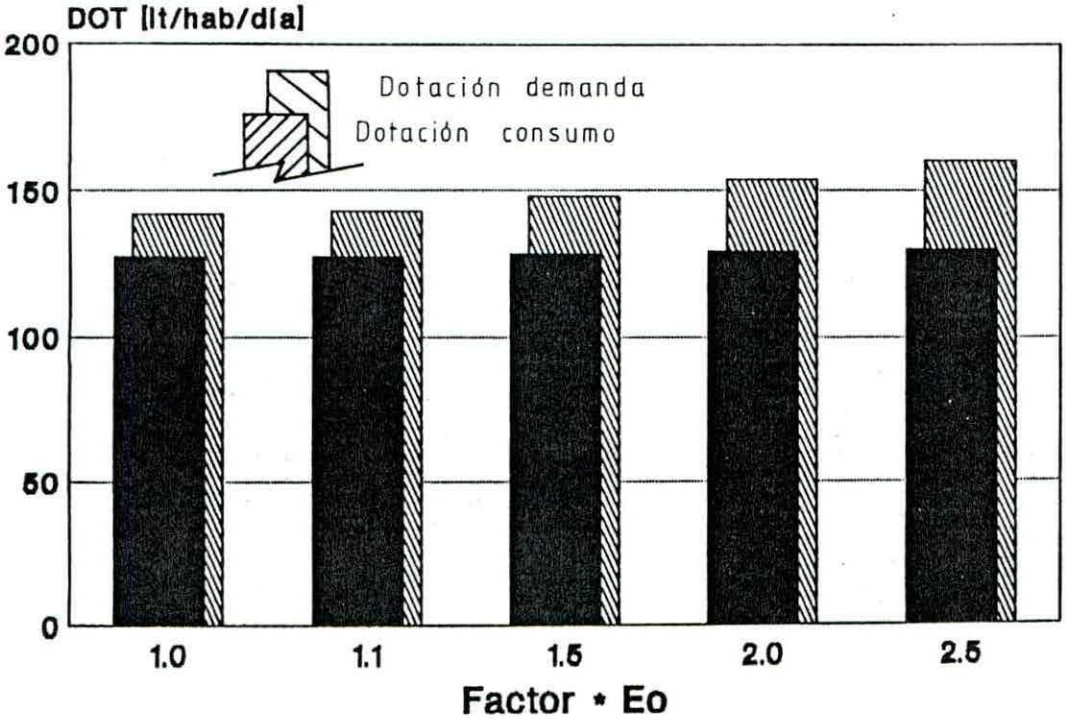


Fig. 8-39 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 17

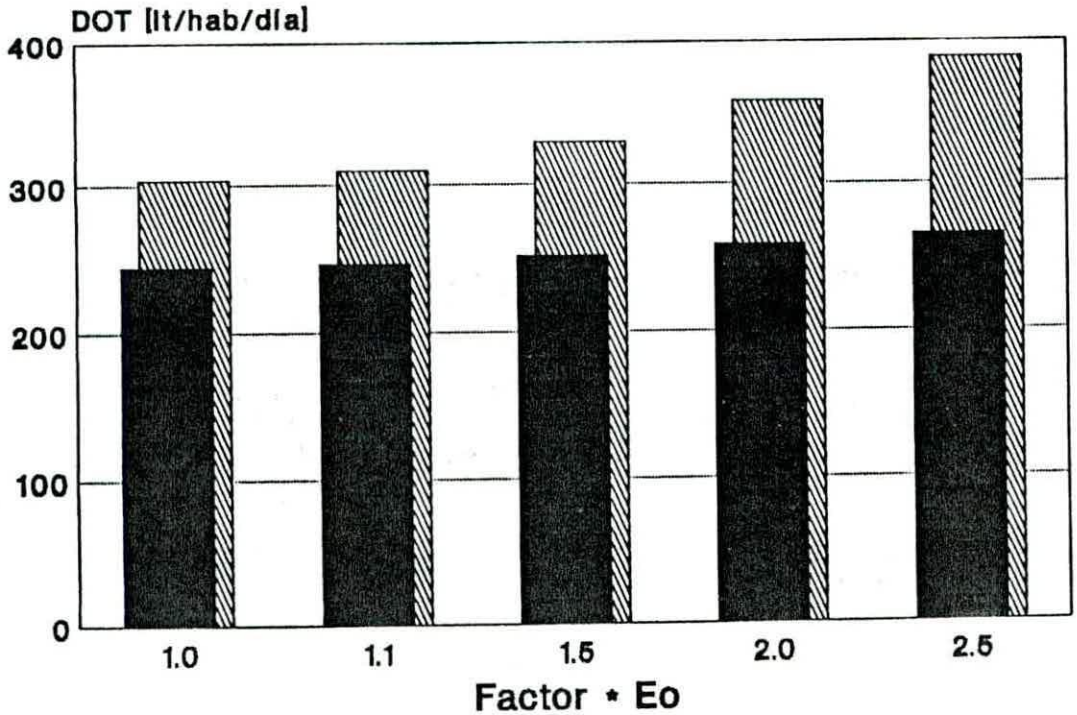


Fig. 8-40 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 5

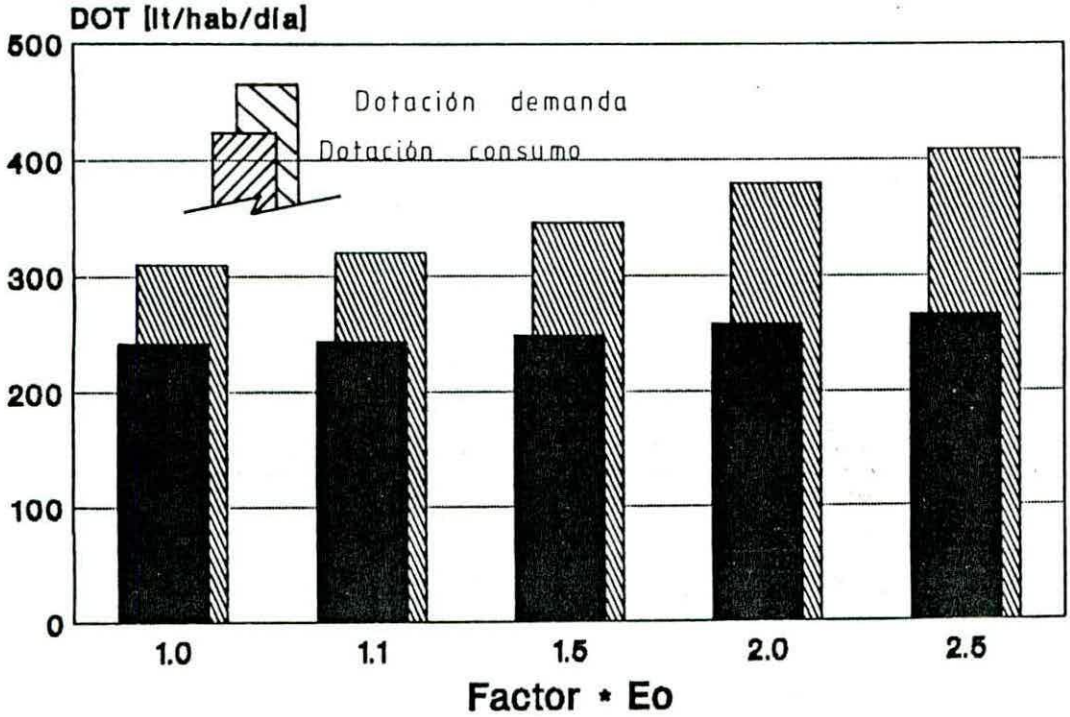


Fig. 8-41 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTOR 6

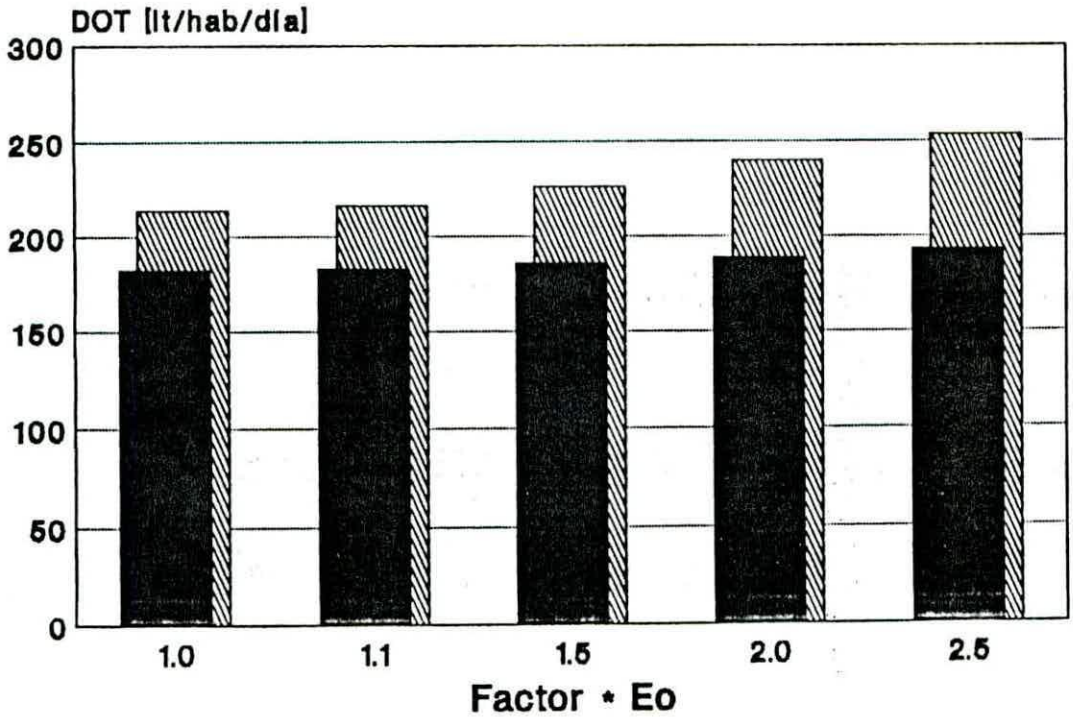
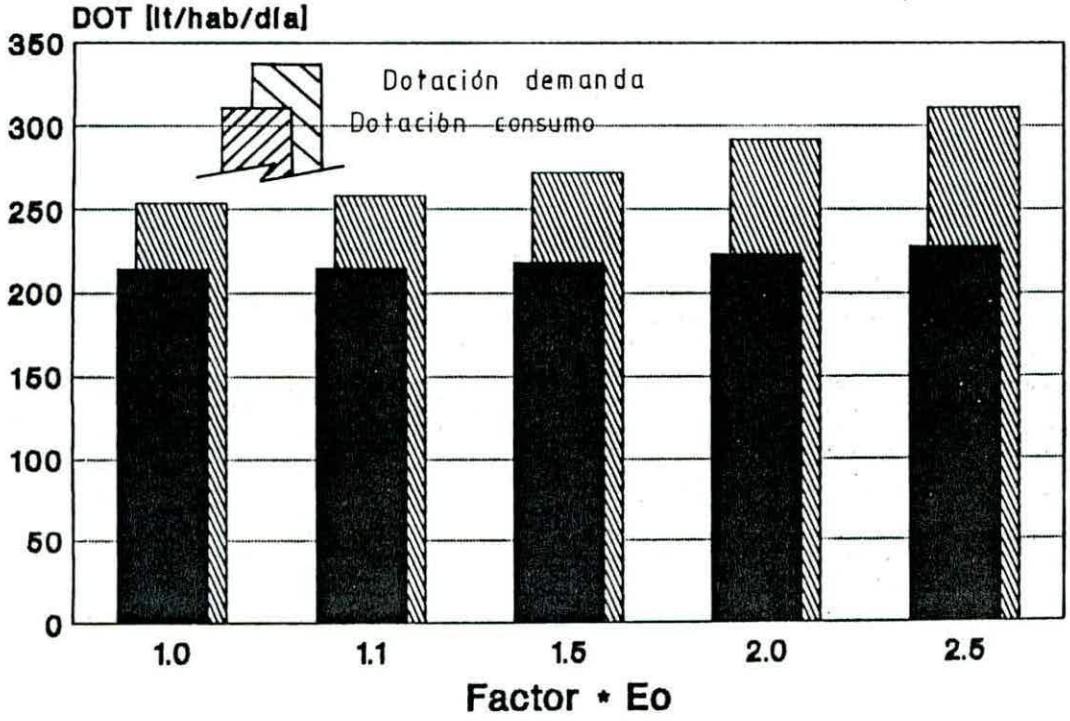


Fig. 8-42 DOTACIONES CONSUMO Y DEMANDA
SECTORES 9, 14 Y 15



Es posible apreciar que a medida que sube la elasticidad, la ciudadanía se aleja de la situación ideal, producto de que al ascender de nivel socio-económico (cambio de curva de demanda) la demanda aumenta, sin embargo, la capacidad de producción se mantiene constante, por lo tanto, disminuye el nivel de demanda satisfecha.

8.4.4. FUENTES

Variar la capacidad límite de producción de las fuentes resulta un problema interesante, puesto que son precisamente las fuentes las que dejan en restricción al sistema.

Se aumentará el límite de producción en un 10%, 30% y 50%, o sea, los límites serán de:

Tabla 8-26 LIMITE DE PRODUCCION [l/s]

Fuente	1.0 F_o	1.1 F_o	1.3 F_o	1.5 F_o
La Cruz	80.0	88.0	105.0	120.0
Alfaro	30.0	33.0	39.0	45.0
Covarrubias	25.0	28.0	33.0	39.0
Parrones	115.0	128.0	152.0	176.0

Fuente: Elaboración Propia

F_o = Producción Original

Nota: Es importante recalcar que las pérdidas del sistema se elevan a un 34.2%. Entonces, subir el límite de producción en un 50% es análogo a bajar las pérdidas a un 0%, ya que:

$$(1 - 0.342) \times 1.5 \times F_o = 1.0 \times F_o$$

por lo tanto, sensibilizar el sistema aumentando la producción es análogo a sensibilizar el sistema disminuyendo las pérdidas (previa consideración en los costos marginales por pérdidas)

El sistema alcanza la situación ideal, en que toda la demanda a costo marginal es satisfecha. Esta situación se alcanza justo cuando las fuentes pueden producir en un 50% extra, como se aprecia en los datos siguientes:

Tabla 8-27 TARIFAS [$/m3] DEL BIMESTRE 1 (ENERO-FEBRERO '90) DEBIDO AL AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCION DE LAS FUENTES

Sector	TARIFAS [$/m3]			
	1.0 F_o	1.1 F_o	1.3 F_o	1.5 F_o
21	80.80	43.05	17.22	12.56
221	75.83	38.08	12.25	7.59
1	84.67	46.39	21.56	16.43
3	84.67	46.39	21.56	16.43
2	85.43	47.26	22.15	17.23
202	80.46	42.28	17.17	12.25
17	85.43	47.26	22.15	17.23
5	85.43	47.26	22.15	17.23
6	85.43	47.26	22.15	17.23
8	85.43	47.26	22.15	17.23
9	85.43	47.26	22.15	17.23
14	85.43	47.26	22.15	17.23
15	85.43	47.26	22.15	17.23
18	85.43	47.26	22.15	17.23

Fuente: Elaboración Propia

F_o = Producción Original de Fuentes
1.0 F_o= Situación Base (Normal) Bimestre 1

Fig. 8-43 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 21

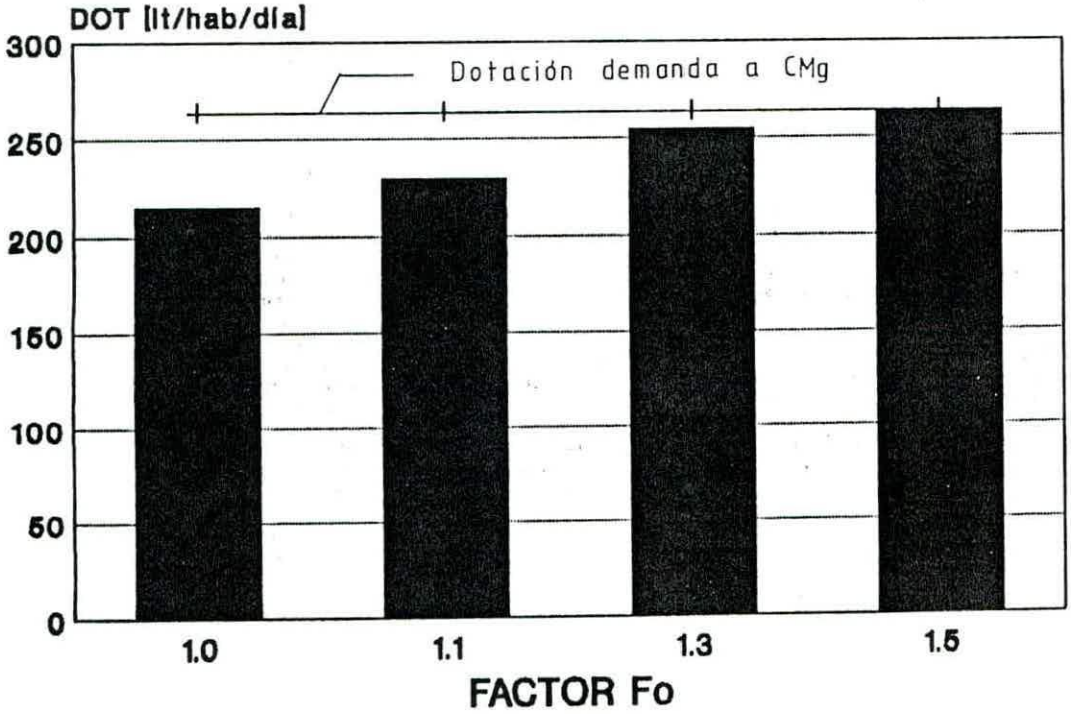


Fig. 8-44 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 221

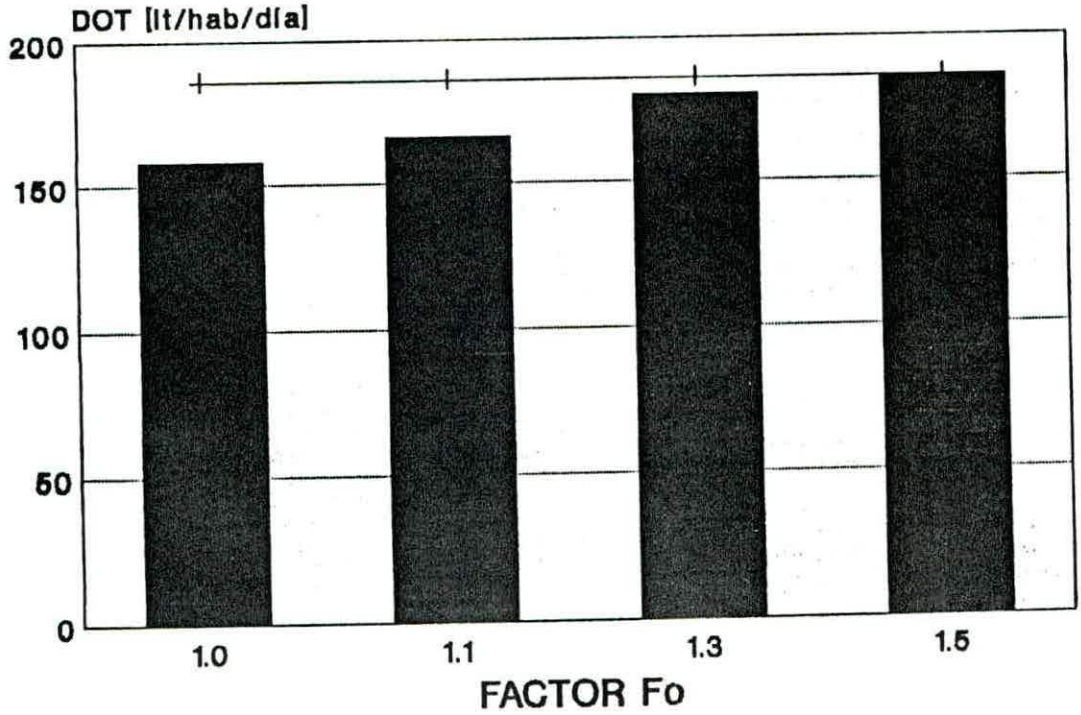


Fig. 8-45 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 1 Y 3

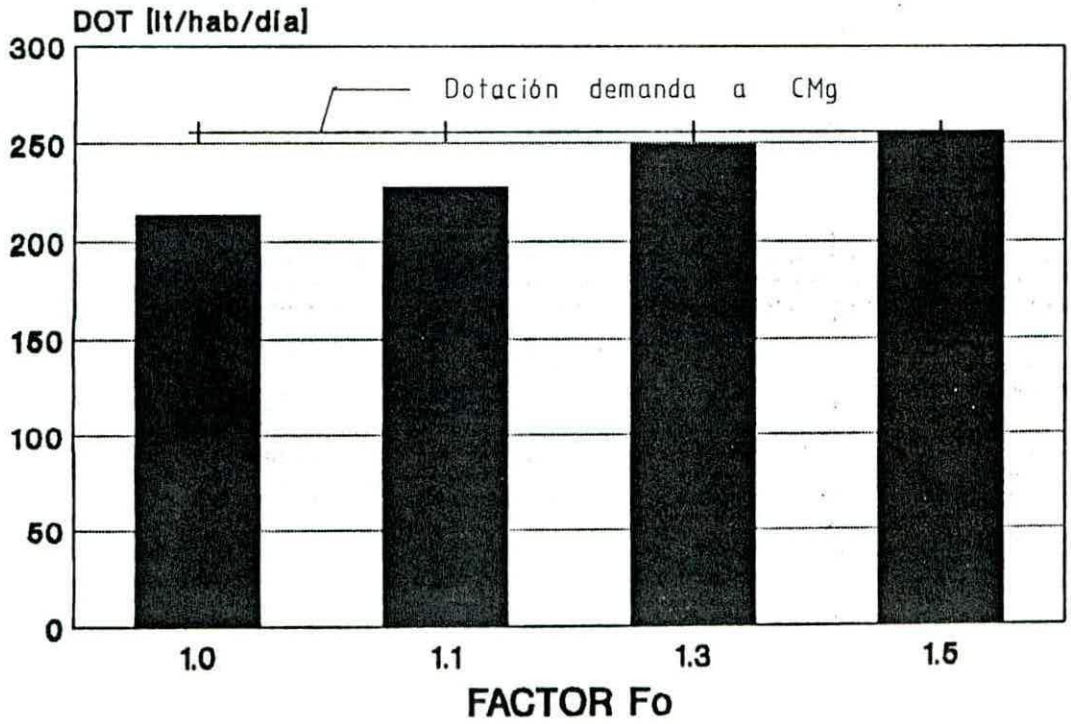


Fig. 8-46 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 2, 8 Y 18

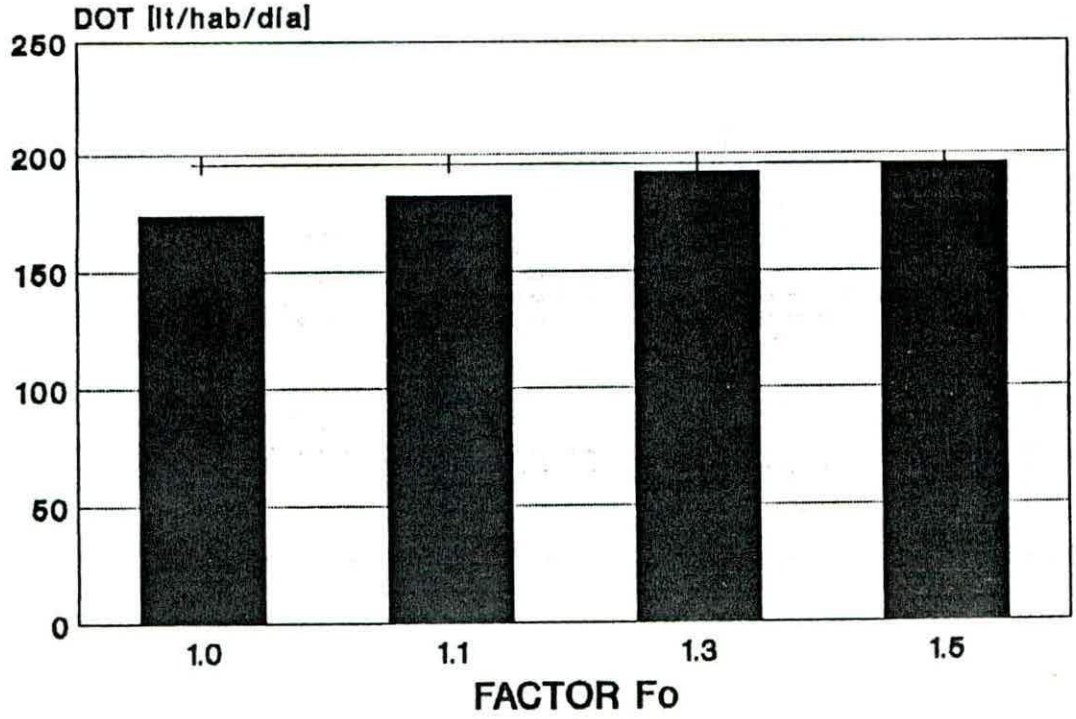


Fig. 8-47 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 202

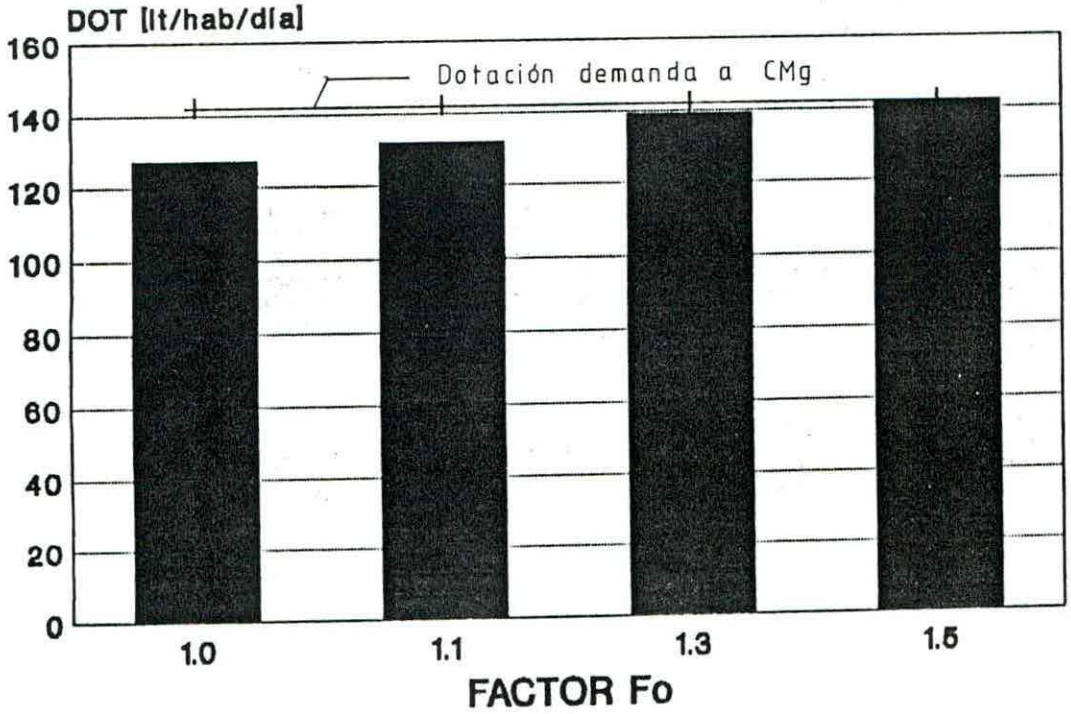


Fig. 8-48 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 17

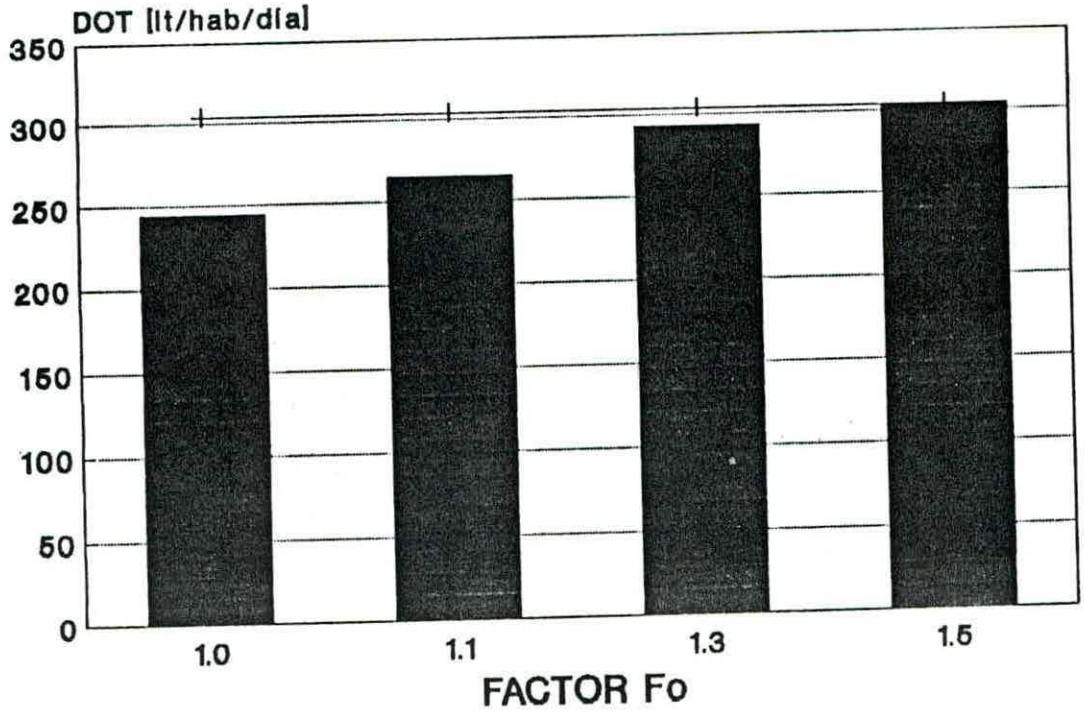


Fig. 8-49 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 5

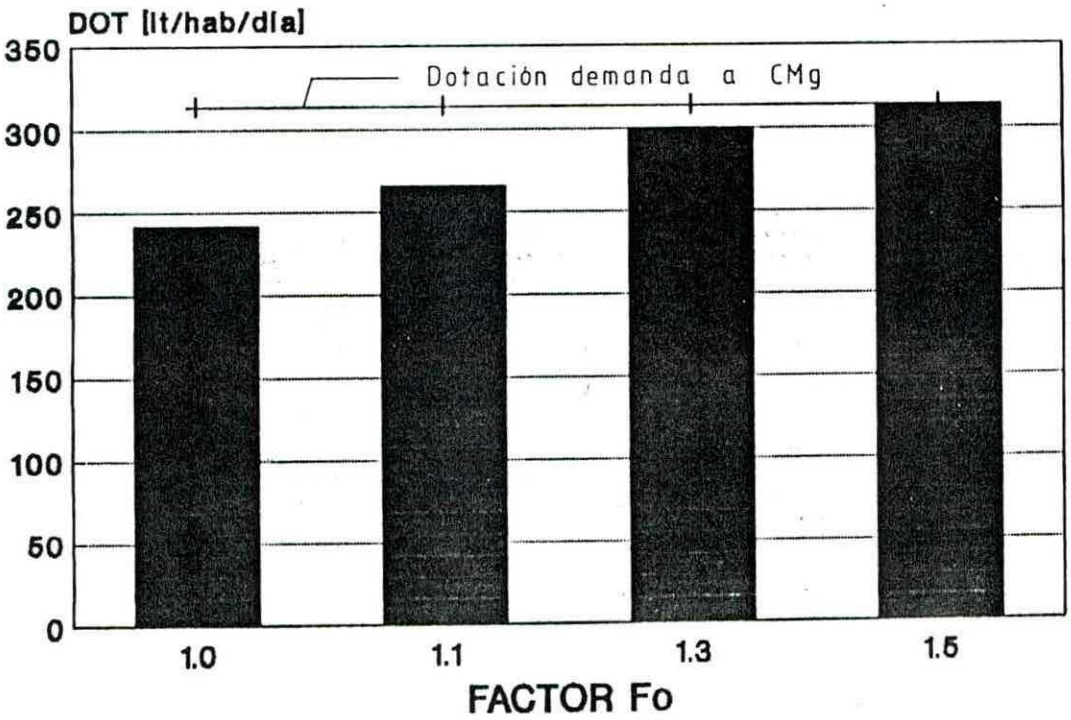


Fig. 8-50 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTOR 6

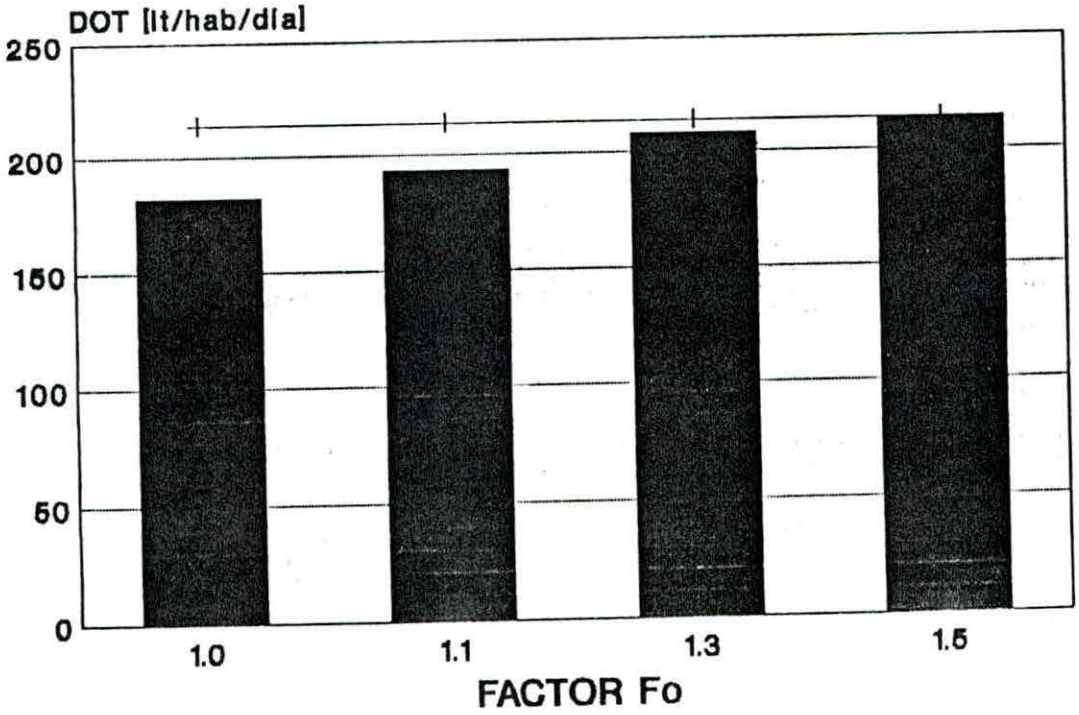
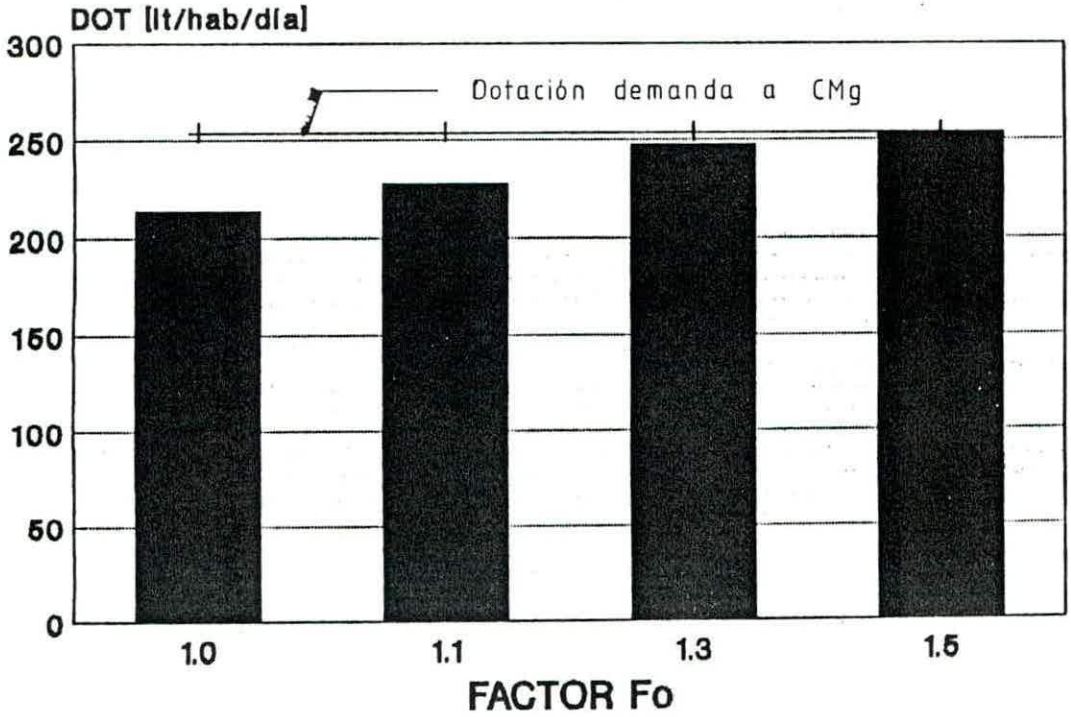


Fig. 8-51 CONSUMO DIARIO PROMEDIO
SECTORES 9, 14 Y 15



9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Varias conclusiones y recomendaciones se desprenden tanto del método como del sistema, las que se mencionan inmediatamente:

1. A la luz de los resultados obtenidos, que son razonables y de comportamiento lógico, se demuestra que la metodología funciona de manera correcta y es viable aplicarla en otro sistema urbano.

2. Aunque la totalidad de los datos de entrada sean precisos, la optimización a nivel horario no es exacta, pues el gasto que se optimiza en la función objetivo es el promedio diario.

3. Entonces, lo ideal sería poder tarifar a nivel horario (tipo C.T.C.), independizando cada período de tiempo dentro del día. Para ello habría que instalar medidores de agua potable que registren el consumo a nivel horario. Sería interesante en el futuro un trabajo que estudiara la factibilidad de instalar dichos medidores en una ciudad piloto, y hacer su análisis correspondiente.

4. Otra manera de acercarse más a la realidad, es discretizar el día en varios intervalos de tiempo pequeño, mediante el uso de un computador más veloz.

5. A través de la presente tesis se confirma la reciprocidad existente entre la ciencia económica y la ingeniería. Ambas son indispensables para solucionar problemas y realizar proyectos de este tipo.

6. En cuanto a la operación de corto plazo, de éste y otros estudios similares (ref. 5, 7) se desprende que ESVAL tarifa aproximadamente de manera óptima durante los meses de Marzo, Abril y Mayo. Durante el verano cobra bajo el óptimo, y en el resto del año sobre éste.

7. Las pérdidas en la red de distribución de agua potable de Quillota y La Cruz son excesivas (similares a Santiago) si se considera el tamaño de la ciudad, puesto que en un sistema pequeño debiera resultar más fácil controlar las pérdidas. Es fundamental tratar de mejorar la eficiencia del sistema, ya que al disminuir las pérdidas, el sistema converge al óptimo ideal, es decir, se produce una efectiva situación de utilización del recurso.

8. Salvo en sectores específicos y durante ciertas horas del día, en Quillota y La Cruz no existen problemas de presión.

9. Como los límites de presión son restricciones impuestas de manera externa, sería un gran aporte el poder revertir esta situación, de manera tal que la presión pase a ser una

variable a optimizar dentro de la función objetivo (por ejemplo asignándole una función de costo). Ello evitará tener que restringir artificialmente la óptima distribución de recursos mediante aquella imposición.

10. En el sistema de Quillota y La Cruz, no existe ningún tipo de problema de evacuación de aguas residuales, en ningún sector y a ninguna hora del día durante el año, de acuerdo con la modelación utilizada.

11. Sería interesante considerar en un futuro estudio la contaminación de las aguas residuales que son arrojadas al río Aconcagua. Ello no se consideró en esta memoria puesto que se supuso la existencia de una planta de tratamiento, pero en la realidad la mayoría de las ciudades evacúan las aguas servidas directamente a ríos. Por tanto, la calidad del agua residual debería considerarse en una futura optimización.

12. Debido a que las fuentes funcionan a máxima capacidad durante gran parte del día, se justifica realizar un análisis de largo plazo para aumentar la capacidad de producción del bien.

13. En cuanto al programa computacional utilizado (MINOS) para resolver el problema, éste conviene usarlo para la metodología propuesta, pero debe hallarse una solución inicial que se

encuentre bien cerca del óptimo, de lo contrario el tiempo perdido será bastante significativo.

14. La metodología planteada no funciona para el rango de consumos extremadamente pequeños, puesto que en esa situación la curva de demanda no representa adecuadamente el comportamiento de los consumidores.

15. Finalmente, se concluye que para optimizar la asignación de agua potable y recolección de aguas servidas, así como cualquier trabajo o estudio basado en la teoría marginalista acá vista, debe realizarse con extrema precaución y cuidado, sobre todo lo que dice relación con la sectorización y la adecuada asignación de parámetros a esos sectores para determinar la curva de demanda agregada, que representa en forma aproximada el comportamiento de los consumidores. Por ende, asignar de manera incorrecta parámetros para determinar una curva de un cierto tipo (isoelástica), podría acarrear a una respuesta poco verosímil del sistema.

A N E X O S

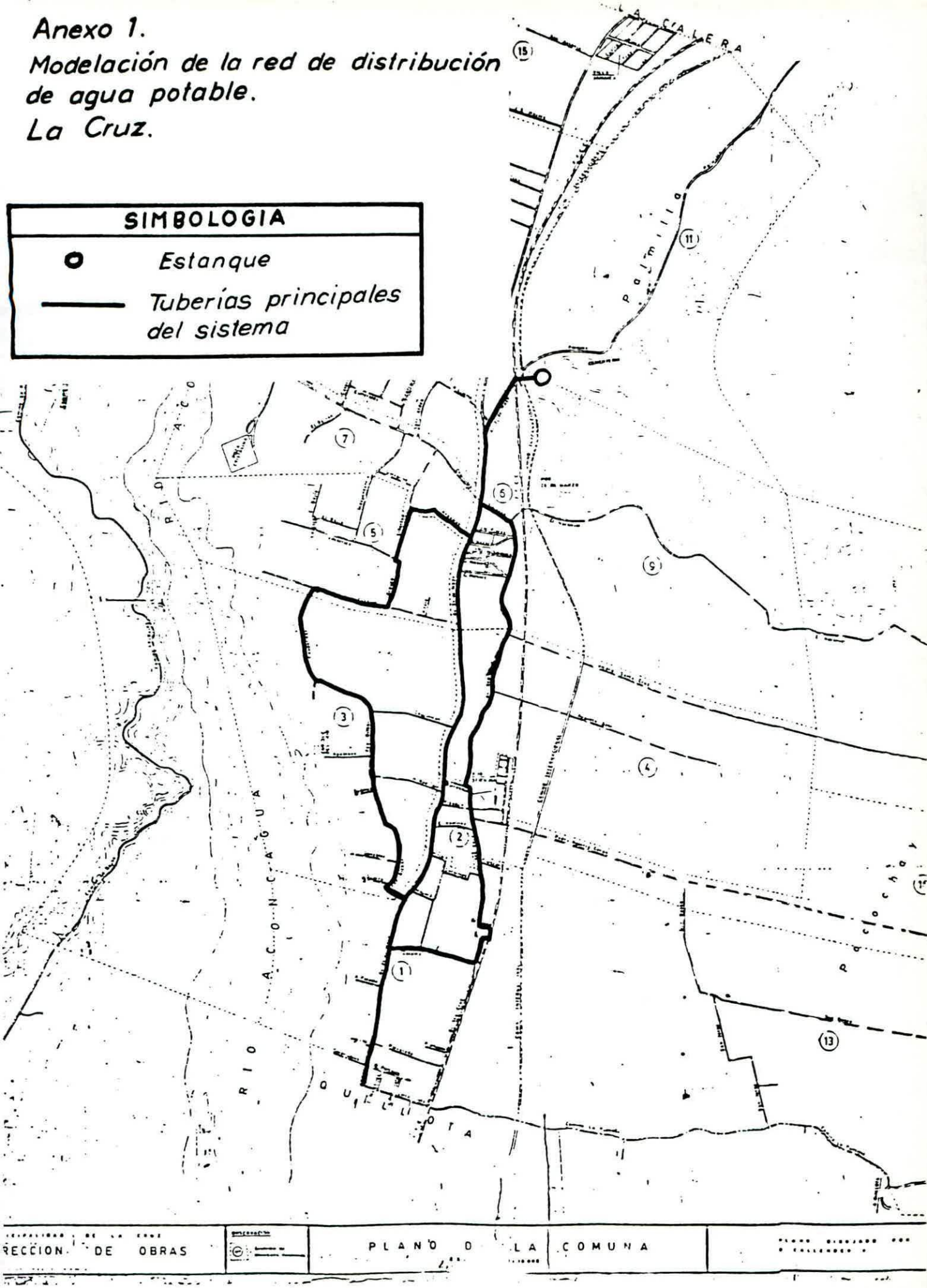
A N E X O 1

MODELACION DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE

Anexo 1.

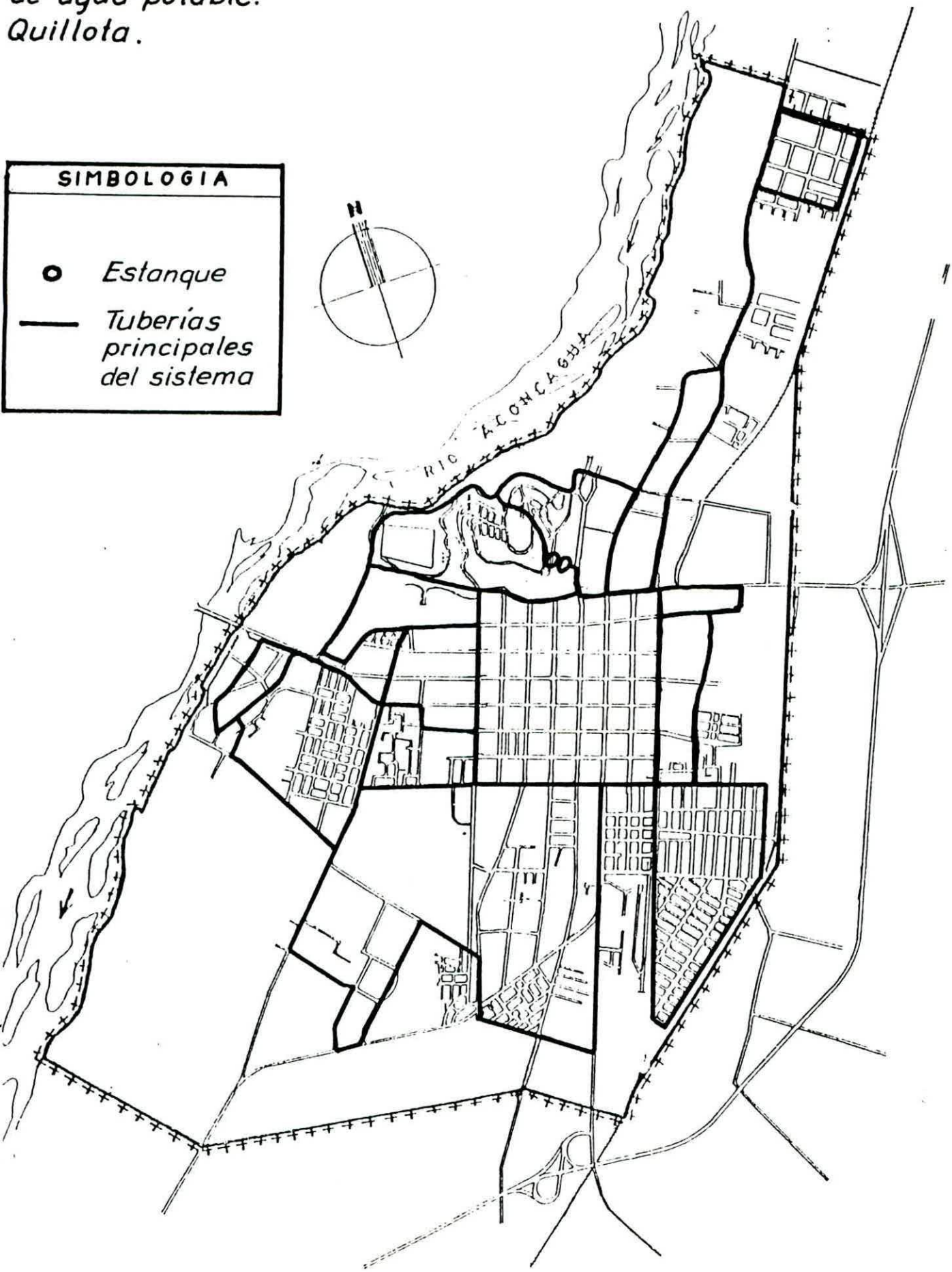
Modelación de la red de distribución de agua potable.

La Cruz.



Anexo 1.

Modelación de la red de distribución de agua potable. Quillota.



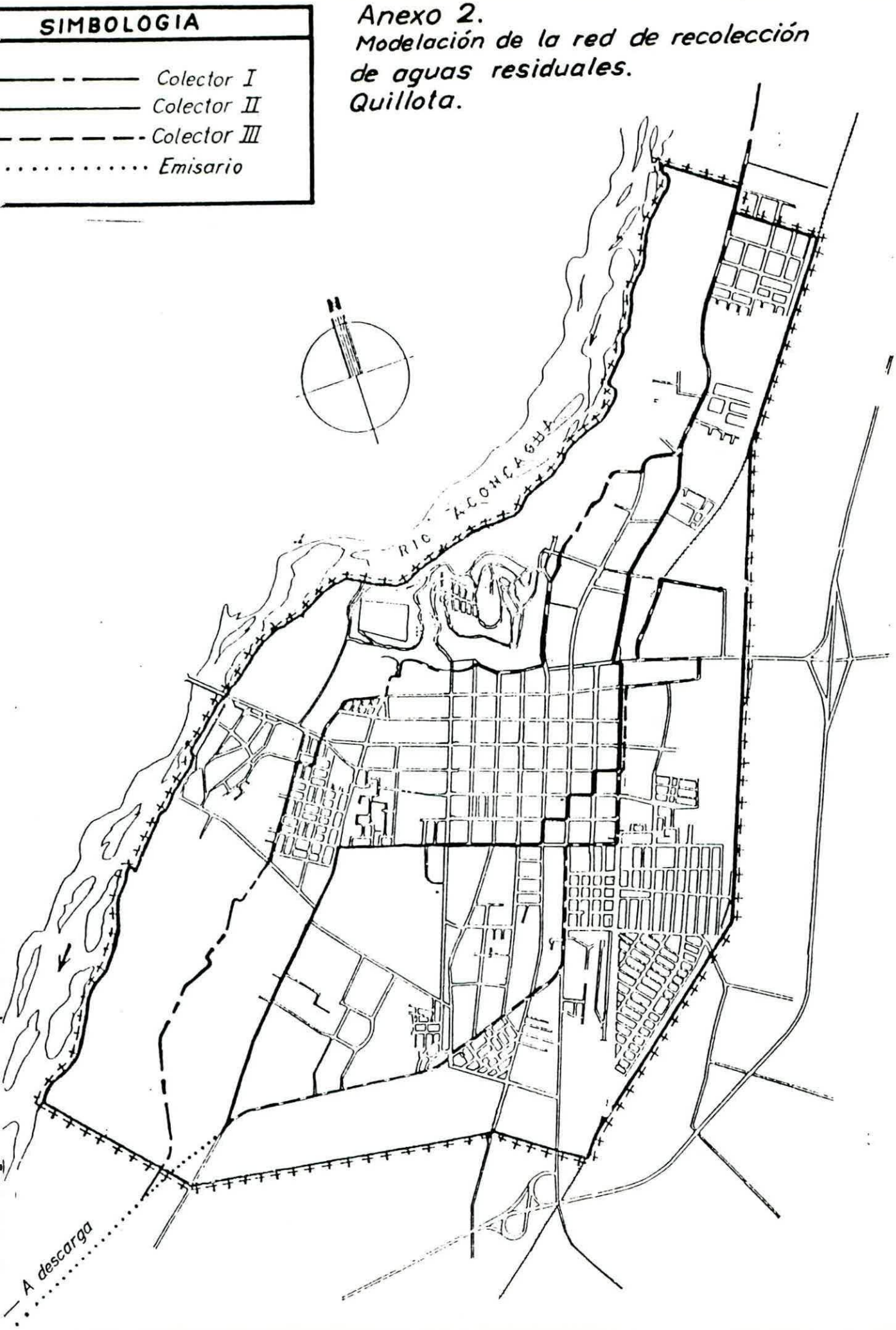
A N E X O 2

MODELACION DE LA RED DE RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES

Anexo 2.

Modelación de la red de recolección de aguas residuales. La Cruz.

Anexo 2.
Modelación de la red de recolección de aguas residuales. Quillota.



A N E X O 3

ARCHIVOS DEL PROGRAMA MINOS

PROGRAMA MAIN
SUBRUTINA FUNCON
SUBRUTINA FUNOBJ

```
                    ***************************
                    *   PROGRAMA PRINCIPAL    *
                    ***************************

 DOUBLE PRECISION   Z(700000)
 DOUBLE PRECISION P(14),E(14),POB(14,18),DOT(14,18),CM(14),JJ
 DOUBLE PRECISION AP(14,18)
 COMMON  /BIMEST/ JJ,AP,P,POB,CM,DOT,E


 PIDE BIMESTRE POR PANTALLA


 WRITE(9,*) 'INGRESE BIMESTRE: '
 READ(9,*) JJ
 DATA          NWCORE/700000/
 DO 5 I=1,14
   AP(I,JJ)=P(I)/(POB(I,JJ)*DOT(I,JJ)/86400)**(-1/E(I))
 CONTINUE


 LLAMA A LA SUBRUTINA PRINCIPAL


 CALL MINOS1( Z,NWCORE )
 STOP
 END


 BLOQUE DE LECTURA DE DATOS


 BLOCK DATA
 COMMON  /BIMEST/ JJ,AP,P,POB,CM,DOT,E
 DOUBLE PRECISION P(14),E(14),POB(14,18),DOT(14,18),CM(14),JJ
 DOUBLE PRECISION AP(14,18)

 PRECIOS ESVAL POR SECTOR

 DATA P/0.05545, 0.04534, 0.05545, 0.05545, 0.05545, 0.04534,
1       0.05545, 0.05545, 0.05545, 0.05545, 0.05545, 0.05545,
1       0.05545, 0.05545/

 ELASTICIDADES POR SECTOR

 DATA E/0.110, 0.070, 0.110, 0.110, 0.073, 0.060, 0.135, 0.161,
1       0.098, 0.073, 0.110, 0.110, 0.110, 0.073/

 POBLACION POR SECTOR Y POR BIMESTRE

 DATA POB/4338,3505,1940,2742,2204,2810,1139,10438,708,1046,16486,
A8505,1074,941,4338,3505,1940,2742,2204,2810,1139,10438,708,1046,
A16486,8505,1074,941,4338,3505,1940,2742,2204,2810,1139,10438,708,
A1046,16486,8505,1074,941,4338,3505,1940,2742,2204,2810,1139,10438,
```

```
     A708,1046,16486,8505,1074,941,4338,3505,1940,2742,2204,2810,1139,   QU
     A10438,708,1046,16486,8505,1074,941,4338,3505,1940,2742,2204,2810,  QU
     A1139,10438,708,1046,16486,8505,1074,941,4429,3578,1987,2808,2258,  QU
     A2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,962,4429,3578,1987,2808,  QU
     A2258,2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,962,4429,3578,1987,  QU
     A2808,2258,2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,962,4429,3578,  QU
     A1987,2808,2258,2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,962,4429,  QU
     A3578,1987,2808,2258,2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,962,  QU
     A4429,3578,1987,2808,2258,2879,1164,10438,723,1068,16841,8691,1097,QU
     A962,4519,3651,2034,2874,2313,2949,1189,10438,738,1090,17196,8877,  QU
     A1121,982,4519,3651,2034,2874,2313,2949,1189,10438,738,1090,17196,  QU
     A8877,1121,982,4519,3651,2034,2874,2313,2949,1189,10438,738,1090,17QU
     A196,8877,1121,982,4519, 3651, 2034, 2874, 2313, 2949, 1189,10438,  QU
     A738,1090,17196,8877,1121,982,4519,3651,2034,2874,2313,2949,1189,10QU
     A438,738,1090,17196,8877,1121,982,4519,3651,2034,2874,2313,2949,118QU
     A9,10438,738,1090,17196,8877,1121,982/                              QU
C                                                                        QU
C     DOTACIONES POR SECTOR Y POR BIMESTRE                               QU
C                                                                        QU
      DATA DOT/224,164,224,224,180,131,259,259,190,180,224,224,224,180,  QU
     1       207,146,207,207,168,122,249,249,172,168,207,207,207,168,    QU
     1       177,125,177,177,152,109,248,248,158,152,177,177,177,152,    QU
     1       161,109,161,161,143, 92,233,233,143,143,161,161,161,143,    QU
     1       168,125,168,168,138, 93,222,222,136,138,168,168,168,138,    QU
     1       189,143,189,189,166,107,247,247,170,166,189,189,189,166,    QU
     1       224,164,224,224,180,131,259,259,190,180,224,224,224,180,    QU
     1       207,146,207,207,168,122,249,249,172,168,207,207,207,168,    QU
     1       177,125,177,177,152,109,248,248,158,152,177,177,177,152,    QU
     1       161,109,161,161,143, 92,233,233,143,143,161,161,161,143,    QU
     1       168,125,168,168,138, 93,222,222,136,138,168,168,168,138,    QU
     1       189,143,189,189,166,107,247,247,170,166,189,189,189,166,    QU
     1       224,164,224,224,180,131,259,259,190,180,224,224,224,180,    QU
     1       207,146,207,207,168,122,249,249,172,168,207,207,207,168,    QU
     1       177,125,177,177,152,109,248,248,158,152,177,177,177,152,    QU
     1       161,109,161,161,143, 92,233,233,143,143,161,161,161,143,    QU
     1       168,125,168,168,138, 93,222,222,136,138,168,168,168,138,    QU
     1       189,143,189,189,166,107,247,247,170,166,189,189,189,166/    QU
C                                                                        QU
C     COSTO MARGINAL POR SECTOR                                          QU
C                                                                        QU
      DATA CM/0.01256,0.00759,0.01643,0.01643,0.01723,0.01225,0.01723,   QU
     1        0.01723,0.01723,0.01723,0.01723,0.01723,0.01723,0.01723/   QU
      END                                                                QU
      SUBROUTINE MATMOD                                                  QU
      RETURN                                                             QU
      END                                                                QU
C                                                                        QU
C           ***************************************************          QU
C           *    SUBRUTINA DE RESTRICCIONES NO LINEALES    *           QU
C           ***************************************************          QU
C                                                                        QU
      SUBROUTINE FUNCON( MODE,M,N,NJAC,X,F,G,NSTATE,NPROB,Z,NWCORE )     QU
      IMPLICIT            REAL*8(A-H,O-Z)                                QU
      DOUBLE PRECISION    X(N),F(M),G(M,N),Z(NWCORE),H                   QU
      DOUBLE PRECISION Q21,Q221,Q1,Q3,Q2,Q202,Q17,Q5,Q6,Q8,Q9,Q14,Q15,   QU
```

```
1018,QLCR,QALF,QCOV,QPAR                                                QUI01110
 DOUBLE PRECISION X12A,X26A,X29A,X76A,X87A,X98A,X79A,X613A              QUI01120
1,X1314A,X1413A,X1415A,X1517A,X1519A,X1918A,X1718A,X2019A,X2021A        QUI01130
1,X2129A,X1829A,X2420A,X2122A,X2223A,X2324A,X2524A,X2625A,X2926A        QUI01140
1,X2630A,X3031A,X2531A,X3034A,X3433A,X3133A,X3435A,X3536A,X3336A        QUI01150
1,X3637A,X3738A,X3839A,X3938A,X3933A,X4437A,X4535A,X4544A,X5045A        QUI01160
1,X5047A,X4947A,X4950A,X5250A,X5352A,X5349A,X1753A,X1752A,Y12A          QUI01170
1,Y26A,Y29A,Y76A,Y87A,Y98A,Y79A,Y613A,Y1314A,Y1413A,Y1415A,Y1517A        QUI01180
1,Y1519A,Y1918A,Y1718A,Y2019A,Y2021A,Y2129A,Y1829A,Y2420A,Y2122A         QUI01170
1,Y2223A,Y2324A,Y2524A,Y2625A,Y2926A,Y2630A,Y3031A,Y2531A,Y3034A         QUI01200
1,Y3433A,Y3133A,Y3435A,Y3536A,Y3336A,Y3637A,Y3738A,Y3839A,Y3938A         QUI01210
1,Y3933A,Y4437A,Y4535A,Y4544A,Y5045A,Y5047A,Y4947A,Y4950A,Y5250A         QUI01220
1,Y5352A,Y5349A,Y1753A,Y1752A,Q21A,Q221A,Q1A,Q3A,Q2A,Q202A,Q17A          QUI01230
1,Q5A,Q6A,Q8A,Q9A,Q14A,Q15A,Q18A,QLCRA,QALFA,QCOVA,QPARA,TC13A          QUI01240
1,TC15A,TC18A,TC17A,TC52A,TC30A,RE33A                                   QUI01250
 DOUBLE PRECISION X12B,X26B,X29B,X76B,X87B,X98B,X79B,X613B              QUI01260
1,X1314B,X1413B,X1415B,X1517B,X1519B,X1918B,X1718B,X2019B,X2021B        QUI01270
1,X2129B,X1829B,X2420B,X2122B,X2223B,X2324B,X2524B,X2625B,X2926B        QUI01280
1,X2630B,X3031B,X2531B,X3034B,X3433B,X3133B,X3435B,X3536B,X3336B        QUI01290
1,X3637B,X3738B,X3839B,X3938B,X3933B,X4437B,X4535B,X4544B,X5045B        QUI01300
1,X5047B,X4947B,X4950B,X5250B,X5352B,X5349B,X1753B,X1752B,Y12B          QUI01310
1,Y26B,Y29B,Y76B,Y87B,Y98B,Y79B,Y613B,Y1314B,Y1413B,Y1415B,Y1517B        QUI01320
1,Y1519B,Y1918B,Y1718B,Y2019B,Y2021B,Y2129B,Y1829B,Y2420B,Y2122B         QUI01330
1,Y2223B,Y2324B,Y2524B,Y2625B,Y2926B,Y2630B,Y3031B,Y2531B,Y3034B         QUI01340
1,Y3433B,Y3133B,Y3435B,Y3536B,Y3336B,Y3637B,Y3738B,Y3839B,Y3938B         QUI01350
1,Y3933B,Y4437B,Y4535B,Y4544B,Y5045B,Y5047B,Y4947B,Y4950B,Y5250B         QUI01360
1,Y5352B,Y5349B,Y1753B,Y1752B,Q21B,Q221B,Q1B,Q3B,Q2B,Q202B,Q17B          QUI01370
1,Q5B,Q6B,Q8B,Q9B,Q14B,Q15B,Q18B,QLCRB,QALFB,QCOVB,QPARB,TC13B          QUI01380
1,TC15B,TC18B,TC17B,TC52B,TC30B,RE33B                                   QUI01390
 DOUBLE PRECISION X12C,X26C,X29C,X76C,X87C,X98C,X79C,X613C              QUI01400
1,X1314C,X1413C,X1415C,X1517C,X1519C,X1918C,X1718C,X2019C,X2021C        QUI01410
1,X2129C,X1829C,X2420C,X2122C,X2223C,X2324C,X2524C,X2625C,X2926C        QUI01420
1,X2630C,X3031C,X2531C,X3034C,X3433C,X3133C,X3435C,X3536C,X3336C        QUI01430
1,X3637C,X3738C,X3839C,X3938C,X3933C,X4437C,X4535C,X4544C,X5045C        QUI01440
1,X5047C,X4947C,X4950C,X5250C,X5352C,X5349C,X1753C,X1752C,Y12C          QUI01450
1,Y26C,Y29C,Y76C,Y87C,Y98C,Y79C,Y613C,Y1314C,Y1413C,Y1415C,Y1517C        QUI01460
1,Y1519C,Y1918C,Y1718C,Y2019C,Y2021C,Y2129C,Y1829C,Y2420C,Y2122C         QUI01470
1,Y2223C,Y2324C,Y2524C,Y2625C,Y2926C,Y2630C,Y3031C,Y2531C,Y3034C         QUI01480
1,Y3433C,Y3133C,Y3435C,Y3536C,Y3336C,Y3637C,Y3738C,Y3839C,Y3938C         QUI01490
1,Y3933C,Y4437C,Y4535C,Y4544C,Y5045C,Y5047C,Y4947C,Y4950C,Y5250C         QUI01500
1,Y5352C,Y5349C,Y1753C,Y1752C,Q21C,Q221C,Q1C,Q3C,Q2C,Q202C,Q17C          QUI01510
1,Q5C,Q6C,Q8C,Q9C,Q14C,Q15C,Q18C,QLCRC,QALFC,QCOVC,QPARC,TC13C          QUI01520
1,TC15C,TC18C,TC17C,TC52C,TC30C,RE33C                                   QUI01530
 DOUBLE PRECISION X12D,X26D,X29D,X76D,X87D,X98D,X79D,X613D              QUI01540
1,X1314D,X1413D,X1415D,X1517D,X1519D,X1918D,X1718D,X2019D,X2021D        QUI01550
1,X2129D,X1829D,X2420D,X2122D,X2223D,X2324D,X2524D,X2625D,X2926D        QUI01560
1,X2630D,X3031D,X2531D,X3034D,X3433D,X3133D,X3435D,X3536D,X3336D        QUI01570
1,X3637D,X3738D,X3839D,X3938D,X3933D,X4437D,X4535D,X4544D,X5045D        QUI01580
1,X5047D,X4947D,X4950D,X5250D,X5352D,X5349D,X1753D,X1752D,Y12D          QUI01590
1,Y26D,Y29D,Y76D,Y87D,Y98D,Y79D,Y613D,Y1314D,Y1413D,Y1415D,Y1517D        QUI01600
1,Y1519D,Y1918D,Y1718D,Y2019D,Y2021D,Y2129D,Y1829D,Y2420D,Y2122D         QUI01610
1,Y2223D,Y2324D,Y2524D,Y2625D,Y2926D,Y2630D,Y3031D,Y2531D,Y3034D         QUI01620
1,Y3433D,Y3133D,Y3435D,Y3536D,Y3336D,Y3637D,Y3738D,Y3839D,Y3938D         QUI01630
1,Y3933D,Y4437D,Y4535D,Y4544D,Y5045D,Y5047D,Y4947D,Y4950D,Y5250D         QUI01640
1,Y5352D,Y5349D,Y1753D,Y1752D,Q21D,Q221D,Q1D,Q3D,Q2D,Q202D,Q17D          QUI01650
```

```
     1,Q5D,Q6D,Q8D,Q9D,Q14D,Q15D,Q16D,QLCRD,QALFD,QCOVD,QPARD,TC13D
     1,TC15D,TC18D,TC17D,TC52D,TC30D,RE33D
      COMMON  /BIMEST/ JJ,AP,P,POB,CM,DOT,E
      DOUBLE PRECISION P(14),E(14),POB(14,18),DOT(14,18),CM(14),JJ
      DOUBLE PRECISION AP(14,18)
C
C
C     IDENTIFICACION DE VARIABLES
C
C
      X12A= X(1)
      X26A= X(2)
      X29A= X(3)
      X76A= X(4)
      X87A= X(5)
      X98A= X(6)
      X79A= X(7)
      X613A=X(8)
      X1314A=X(9)
      X1413A=X(10)
      X1415A=X(11)
      X1517A=X(12)
      X1519A=X(13)
      X1918A=X(14)
      X1718A=X(15)
      X2019A=X(16)
      X2021A=X(17)
      X2129A=X(18)
      X1829A=X(19)
      X2420A=X(20)
      X2122A=X(21)
      X2223A=X(22)
      X2324A=X(23)
      X2524A=X(24)
      X2625A=X(25)
      X2926A=X(26)
      X2630A=X(27)
      X3031A=X(28)
      X2531A=X(29)
      X3034A=X(30)
      X3433A=X(31)
      X3133A=X(32)
      X3435A=X(33)
      X3536A=X(34)
      X3336A=X(35)
      X3637A=X(36)
      X3738A=X(37)
      X3839A=X(38)
      X3938A=X(39)
      X3933A=X(40)
      X4437A=X(41)
      X4535A=X(42)
      X4544A=X(43)
      X5045A=X(44)
      X5047A=X(45)
```

```
X4947A=X(46)                                                            @UI02210
X4950A=X(47)                                                            @UI02220
X5250A=X(48)                                                            @UI02230
X5352A=X(49)                                                            @UI02240
X5349A=X(50)                                                            @UI02250
X1753A=X(51)                                                            @UI02260
X1752A=X(52)                                                            @UI02270
Y12A= X(53)                                                             @UI02280
Y26A= X(54)                                                             @UI02290
Y29A= X(55)                                                             @UI02300
Y76A= X(56)                                                             @UI02310
Y87A= X(57)                                                             @UI02320
Y98A= X(58)                                                             @UI02330
Y79A= X(59)                                                             @UI02340
Y613A=X(60)                                                             @UI02350
Y1314A=X(61)                                                            @UI02360
Y1413A=X(62)                                                            @UI02370
Y1415A=X(63)                                                            @UI02380
Y1517A=X(64)                                                            @UI02390
Y1519A=X(65)                                                            @UI02400
Y1918A=X(66)                                                            @UI02410
Y1718A=X(67)                                                            @UI02420
Y2019A=X(68)                                                            @UI02430
Y2021A=X(69)                                                            @UI02440
Y2129A=X(70)                                                            @UI02450
Y1829A=X(71)                                                            @UI02460
Y2420A=X(72)                                                            @UI02470
Y2122A=X(73)                                                            @UI02480
Y2223A=X(74)                                                            @UI02490
Y2324A=X(75)                                                            @UI02500
Y2524A=X(76)                                                            @UI02510
Y2625A=X(77)                                                            @UI02520
Y2926A=X(78)                                                            @UI02530
Y2630A=X(79)                                                            @UI02540
Y3031A=X(80)                                                            @UI02550
Y2531A=X(81)                                                            @UI02560
Y3034A=X(82)                                                            @UI02570
Y3433A=X(83)                                                            @UI02580
Y3133A=X(84)                                                            @UI02590
Y3435A=X(85)                                                            @UI02600
Y3536A=X(86)                                                            @UI02610
Y3336A=X(87)                                                            @UI02620
Y3637A=X(88)                                                            @UI02630
Y3738A=X(89)                                                            @UI02640
Y3839A=X(90)                                                            @UI02650
Y3938A=X(91)                                                            @UI02660
Y3933A=X(92)                                                            @UI02670
Y4437A=X(93)                                                            @UI02680
Y4535A=X(94)                                                            @UI02690
Y4544A=X(95)                                                            @UI02700
Y5045A=X(96)                                                            @UI02710
Y5047A=X(97)                                                            @UI02720
Y4947A=X(98)                                                            @UI02730
Y4950A=X(99)                                                            @UI02740
Y5250A=X(100)                                                           @UI02750
```

```
      Y5352A=X(101)
      Y5349A=X(102)
      Y1753A=X(103)
      Y1752A=X(104)
      X12B= X(105)
      X26B= X(106)
      X29B= X(107)
      X76B= X(108)
      X87B= X(109)
      X98B= X(110)
      X79B= X(111)
      X613B=X(112)
      X1314B=X(113)
      X1413B=X(114)
      X1415B=X(115)
      X1517B=X(116)
      X1519B=X(117)
      X1918B=X(118)
      X1718B=X(119)
      X2019B=X(120)
      X2021B=X(121)
      X2129B=X(122)
      X1829B=X(123)
      X2420B=X(124)
      X2122B=X(125)
      X2223B=X(126)
      X2324B=X(127)
      X2524B=X(128)
      X2625B=X(129)
      X2926B=X(130)
      X2630B=X(131)
      X3031B=X(132)
      X2531B=X(133)
      X3034B=X(134)
      X3433B=X(135)
      X3133B=X(136)
      X3435B=X(137)
      X3536B=X(138)
      X3336B=X(139)
      X3637B=X(140)
      X3738B=X(141)
      X3839B=X(142)
      X3938B=X(143)
      X3933B=X(144)
      X4437B=X(145)
      X4535B=X(146)
      X4544B=X(147)
      X5045B=X(148)
      X5047B=X(149)
      X4947B=X(150)
      X4950B=X(151)
      X5250B=X(152)
      X5352B=X(153)
      X5349B=X(154)
      X1753B=X(155)
```

```
X1752B=X(156)                                                          QUI03310
Y12B= X(157)                                                           QUI03320
Y26B= X(158)                                                           QUI03330
Y29B= X(159)                                                           QUI03340
Y76B= X(160)                                                           QUI03350
Y87B= X(161)                                                           QUI03360
Y98B= X(162)                                                           QUI03370
Y79B= X(163)                                                           QUI03380
Y613B=X(164)                                                           QUI03390
Y1314B=X(165)                                                          QUI03400
Y1413B=X(166)                                                          QUI03410
Y1415B=X(167)                                                          QUI03420
Y1517B=X(168)                                                          QUI03430
Y1519B=X(169)                                                          QUI03440
Y1918B=X(170)                                                          QUI03450
Y1718B=X(171)                                                          QUI03460
Y2019B=X(172)                                                          QUI03470
Y2021B=X(173)                                                          QUI03480
Y2129B=X(174)                                                          QUI03490
Y1829B=X(175)                                                          QUI03500
Y2420B=X(176)                                                          QUI03510
Y2122B=X(177)                                                          QUI03520
Y2223B=X(178)                                                          QUI03530
Y2324B=X(179)                                                          QUI03540
Y2524B=X(180)                                                          QUI03550
Y2625B=X(181)                                                          QUI03560
Y2926B=X(182)                                                          QUI03570
Y2630B=X(183)                                                          QUI03580
Y3031B=X(184)                                                          QUI03590
Y2531B=X(185)                                                          QUI03600
Y3034B=X(186)                                                          QUI03610
Y3433B=X(187)                                                          QUI03620
Y3133B=X(188)                                                          QUI03630
Y3435B=X(189)                                                          QUI03640
Y3536B=X(190)                                                          QUI03650
Y3336B=X(191)                                                          QUI03660
Y3637B=X(192)                                                          QUI03670
Y3738B=X(193)                                                          QUI03680
Y3839B=X(194)                                                          QUI03690
Y3938B=X(195)                                                          QUI03700
Y3933B=X(196)                                                          QUI03710
Y4437B=X(197)                                                          QUI03720
Y4535B=X(198)                                                          QUI03730
Y4544B=X(199)                                                          QUI03740
Y5045B=X(200)                                                          QUI03750
Y5047B=X(201)                                                          QUI03760
Y4947B=X(202)                                                          QUI03770
Y4950B=X(203)                                                          QUI03780
Y5250B=X(204)                                                          QUI03790
Y5352B=X(205)                                                          QUI03800
Y5349B=X(206)                                                          QUI03810
Y1753B=X(207)                                                          QUI03820
Y1752B=X(208)                                                          QUI03830
X12C= X(209)                                                           QUI03840
X26C= X(210)                                                           QUI03850
```

```
      X29C= X(211)
      X76C= X(212)
      X87C= X(213)
      X98C= X(214)
      X79C= X(215)
      X613C=X(216)
      X1314C=X(217)
      X1413C=X(218)
      X1415C=X(219)
      X1517C=X(220)
      X1519C=X(221)
      X1918C=X(222)
      X1718C=X(223)
      X2019C=X(224)
      X2021C=X(225)
      X2129C=X(226)
      X1829C=X(227)
      X2420C=X(228)
      X2122C=X(229)
      X2223C=X(230)
      X2324C=X(231)
      X2524C=X(232)
      X2625C=X(233)
      X2926C=X(234)
      X2630C=X(235)
      X3031C=X(236)
      X2531C=X(237)
      X3034C=X(238)
      X3433C=X(239)
      X3133C=X(240)
      X3435C=X(241)
      X3536C=X(242)
      X3336C=X(243)
      X3637C=X(244)
      X3738C=X(245)
      X3839C=X(246)
      X3938C=X(247)
      X3933C=X(248)
      X4437C=X(249)
      X4535C=X(250)
      X4544C=X(251)
      X5045C=X(252)
      X5047C=X(253)
      X4947C=X(254)
      X4950C=X(255)
      X5250C=X(256)
      X5352C=X(257)
      X5349C=X(258)
      X1753C=X(259)
      X1752C=X(260)
      Y12C= X(261)
      Y26C= X(262)
      Y29C= X(263)
      Y76C= X(264)
      Y87C= X(265)
```

```
Y98C= X(266)                                                            QUI04410
Y79C= X(267)                                                            QUI04420
Y613C=X(268)                                                            QUI04430
Y1314C=X(269)                                                           QUI04440
Y1413C=X(270)                                                           QUI04450
Y1415C=X(271)                                                           QUI04460
Y1517C=X(272)                                                           QUI04470
Y1519C=X(273)                                                           QUI04480
Y1918C=X(274)                                                           QUI04490
Y1718C=X(275)                                                           QUI04500
Y2019C=X(276)                                                           QUI04510
Y2021C=X(277)                                                           QUI04520
Y2129C=X(278)                                                           QUI04530
Y1829C=X(279)                                                           QUI04540
Y2420C=X(280)                                                           QUI04550
Y2122C=X(281)                                                           QUI04560
Y2223C=X(282)                                                           QUI04570
Y2324C=X(283)                                                           QUI04580
Y2524C=X(284)                                                           QUI04590
Y2625C=X(285)                                                           QUI04600
Y2926C=X(286)                                                           QUI04610
Y2630C=X(287)                                                           QUI04620
Y3031C=X(288)                                                           QUI04630
Y2531C=X(289)                                                           QUI04640
Y3034C=X(290)                                                           QUI04650
Y3433C=X(291)                                                           QUI04660
Y3133C=X(292)                                                           QUI04670
Y3435C=X(293)                                                           QUI04680
Y3536C=X(294)                                                           QUI04690
Y3336C=X(295)                                                           QUI04700
Y3637C=X(296)                                                           QUI04710
Y3738C=X(297)                                                           QUI04720
Y3839C=X(298)                                                           QUI04730
Y3938C=X(299)                                                           QUI04740
Y3933C=X(300)                                                           QUI04750
Y4437C=X(301)                                                           QUI04760
Y4535C=X(302)                                                           QUI04770
Y4544C=X(303)                                                           QUI04780
Y5045C=X(304)                                                           QUI04790
Y5047C=X(305)                                                           QUI04800
Y4947C=X(306)                                                           QUI04810
Y4950C=X(307)                                                           QUI04820
Y5250C=X(308)                                                           QUI04830
Y5352C=X(309)                                                           QUI04840
Y5349C=X(310)                                                           QUI04850
Y1753C=X(311)                                                           QUI04860
Y1752C=X(312)                                                           QUI04870
X12D= X(313)                                                            QUI04880
X26D= X(314)                                                            QUI04890
X29D= X(315)                                                            QUI04900
X76D= X(316)                                                            QUI04910
X87D= X(317)                                                            QUI04920
X98D= X(318)                                                            QUI04930
X79D= X(319)                                                            QUI04940
X613D=X(320)                                                            QUI04950
```

```
      X1314D=X(321)
      X1413D=X(322)
      X1415D=X(323)
      X1517D=X(324)
      X1519D=X(325)
      X1918D=X(326)
      X1718D=X(327)
      X2019D=X(328)
      X2021D=X(329)
      X2129D=X(330)
      X1829D=X(331)
      X2420D=X(332)
      X2122D=X(333)
      X2223D=X(334)
      X2324D=X(335)
      X2524D=X(336)
      X2625D=X(337)
      X2926D=X(338)
      X2630D=X(339)
      X3031D=X(340)
      X2531D=X(341)
      X3034D=X(342)
      X3433D=X(343)
      X3133D=X(344)
      X3435D=X(345)
      X3536D=X(346)
      X3336D=X(347)
      X3637D=X(348)
      X3738D=X(349)
      X3839D=X(350)
      X3938D=X(351)
      X3933D=X(352)
      X4437D=X(353)
      X4535D=X(354)
      X4544D=X(355)
      X5045D=X(356)
      X5047D=X(357)
      X4947D=X(358)
      X4950D=X(359)
      X5250D=X(360)
      X5352D=X(361)
      X5349D=X(362)
      X1753D=X(363)
      X1752D=X(364)
      Y12D= X(365)
      Y26D= X(366)
      Y29D= X(367)
      Y76D= X(368)
      Y87D= X(369)
      Y98D= X(370)
      Y79D= X(371)
      Y613D=X(372)
      Y1314D=X(373)
      Y1413D=X(374)
      Y1415D=X(375)
```

```
Y1517D=X(376)                                                          QUI05510
Y1519D=X(377)                                                          QUI05520
Y1918D=X(378)                                                          QUI05530
Y1718D=X(379)                                                          QUI05540
Y2019D=X(380)                                                          QUI05550
Y2021D=X(381)                                                          QUI05560
Y2129D=X(382)                                                          QUI05570
Y1829D=X(383)                                                          QUI05580
Y2420D=X(384)                                                          QUI05590
Y2122D=X(385)                                                          QUI05600
Y2223D=X(386)                                                          QUI05610
Y2324D=X(387)                                                          QUI05620
Y2524D=X(388)                                                          QUI05630
Y2625D=X(389)                                                          QUI05640
Y2926D=X(390)                                                          QUI05650
Y2630D=X(391)                                                          QUI05660
Y3031D=X(392)                                                          QUI05670
Y2531D=X(393)                                                          QUI05680
Y3034D=X(394)                                                          QUI05690
Y3433D=X(395)                                                          QUI05700
Y3133D=X(396)                                                          QUI05710
Y3435D=X(397)                                                          QUI05720
Y3536D=X(398)                                                          QUI05730
Y3336D=X(399)                                                          QUI05740
Y3637D=X(400)                                                          QUI05750
Y3738D=X(401)                                                          QUI05760
Y3839D=X(402)                                                          QUI05770
Y3938D=X(403)                                                          QUI05780
Y3933D=X(404)                                                          QUI05790
Y4437D=X(405)                                                          QUI05800
Y4535D=X(406)                                                          QUI05810
Y4544D=X(407)                                                          QUI05820
Y5045D=X(408)                                                          QUI05830
Y5047D=X(409)                                                          QUI05840
Y4947D=X(410)                                                          QUI05850
Y4950D=X(411)                                                          QUI05860
Y5250D=X(412)                                                          QUI05870
Y5352D=X(413)                                                          QUI05880
Y5349D=X(414)                                                          QUI05890
Y1753D=X(415)                                                          QUI05900
Y1752D=X(416)                                                          QUI05910
Q21A=X(417)                                                            QUI05920
Q221A=X(418)                                                           QUI05930
Q1A=X(419)                                                             QUI05940
Q3A=X(420)                                                             QUI05950
Q2A=X(421)                                                             QUI05960
Q202A=X(422)                                                           QUI05970
Q17A=X(423)                                                            QUI05980
Q5A=X(424)                                                             QUI05990
Q6A=X(425)                                                             QUI06000
Q8A=X(426)                                                             QUI06010
Q9A=X(427)                                                             QUI06020
Q14A=X(428)                                                            QUI06030
Q15A=X(429)                                                            QUI06040
Q18A=X(430)                                                            QUI06050
```

```
      Q21B=X(431)                                                       QUI
      Q221B=X(432)                                                      QUI
      Q1B=X(433)                                                        QUI
      Q3B=X(434)                                                        QUI
      Q2B=X(435)                                                        QUI
      Q202B=X(436)                                                      QUI
      Q17B=X(437)                                                       QUI
      Q5B=X(438)                                                        QUI
      Q6B=X(439)                                                        QUI
      Q8B=X(440)                                                        QUI
      Q9B=X(441)                                                        QUI
      Q14B=X(442)                                                       QUI
      Q15B=X(443)                                                       QUI
      Q18B=X(444)                                                       QUI
      Q21C=X(445)                                                       QUI
      Q221C=X(446)                                                      QUI
      Q1C=X(447)                                                        QUI
      Q3C=X(448)                                                        QUI
      Q2C=X(449)                                                        QUI
      Q202C=X(450)                                                      QUI
      Q17C=X(451)                                                       QUI
      Q5C=X(452)                                                        QUI
      Q6C=X(453)                                                        QUI
      Q8C=X(454)                                                        QUI
      Q9C=X(455)                                                        QUI
      Q14C=X(456)                                                       QUI
      Q15C=X(457)                                                       QUI
      Q18C=X(458)                                                       QUI
      Q21D=X(459)                                                       QUI
      Q221D=X(460)                                                      QUI
      Q1D=X(461)                                                        QUI
      Q3D=X(462)                                                        QUI
      Q2D=X(463)                                                        QUI
      Q202D=X(464)                                                      QUI
      Q17D=X(465)                                                       QUI
      Q5D=X(466)                                                        QUI
      Q6D=X(467)                                                        QUI
      Q8D=X(468)                                                        QUI
      Q9D=X(469)                                                        QUI
      Q14D=X(470)                                                       QUI
      Q15D=X(471)                                                       QUI
      Q18D=X(472)                                                       QUI
      QLCRA=X(473)                                                      QUI
      QALFA=X(474)                                                      QUI
      QCOVA=X(475)                                                      QUI
      QPARA=X(476)                                                      QUI
      QLCRB=X(477)                                                      QUI
      QALFB=X(478)                                                      QUI
      QCOVB=X(479)                                                      QUI
      QPARB=X(480)                                                      QUI
      QLCRC=X(481)                                                      QUI
      QALFC=X(482)                                                      QUI
      QCOVC=X(483)                                                      QUI
      QPARC=X(484)                                                      QUI
      QLCRD=X(485)                                                      QUI
```

```
QALFD=X(486)
QCOVD=X(487)
QPARD=X(488)
Q21 =X(489)
Q221 =X(490)
Q1 =X(491)
Q3 =X(492)
Q2 =X(493)
Q202 =X(494)
Q17 =X(495)
Q5 =X(496)
Q6 =X(497)
Q8 =X(498)
Q9 =X(499)
Q14 =X(500)
Q15 =X(501)
Q18 =X(502)
QLCR =X(503)
QALF =X(504)
QCOV =X(505)
QPAR =X(506)


INICIALIZACION DE GRADIENTES


DO 100 I=1,188
  DO 100 J=1,472
    G(I,J)=0.0
CONTINUE


DEFINICION DE RESTRICCIONES Y GRADIENTES


F(1)=(4898977*(X26A**2-Y26A**2)+163*(Y76A**2-X76A**2)+869*
1(Y87A**2-X87A**2)+252*(Y98A**2-X98A**2)+109*(Y29A**2-X29A**2))/1E6
G(1,2)=9797953*X26A/1E6
G(1,3)=-218*X29A/1E6
G(1,4)=-326*X76A/1E6
G(1,5)=-1738*X87A/1E6
G(1,6)=-504*X98A/1E6
G(1,54)=-9797953*Y26A/1E6
G(1,55)=218*Y29A/1E6
G(1,56)=326*Y76A/1E6
G(1,57)=1738*Y87A/1E6
G(1,58)=504*Y98A/1E6
F(2)=(252*(X98A**2-Y98A**2)+869*(X87A**2-Y87A**2)+3713062*
1(X79A**2-Y79A**2))/1E6
G(2,5)=1738*X87A/1E6
G(2,6)=504*X98A/1E6
G(2,7)=7426124*X79A/1E6
G(2,57)=-1738*Y87A/1E6
G(2,58)=-504*Y98A/1E6
G(2,59)=-7426124*Y79A/1E6
```

```
      F(3)=(13440*(Y1413A**2-X1413A**2)+212*(Y1314A**2-X1314A**2))/1E6 QU
      G(3,9)=-424*X1314A/1E6                                           QU
      G(3,10)=-268800*X1413A/1E6                                       QU
      G(3,61)=424*Y1314A/1E6                                           QU
      G(3,62)=268800*Y1413A/1E6                                        QU
      F(4)=(356500*(X1517A**2-Y1517A**2)+975*(X1718A**2-Y1718A**2)     QU
     1+262*(Y1918A**2-X1918A**2)+390*(Y1519A**2-X1519A**2))/1E6        QU
      G(4,12)=713000*X1517A/1E6                                        QU
      G(4,13)=-780*X1519A/1E6                                          QU
      G(4,14)=-524*X1918A/1E6                                          QU
      G(4,15)=1950*X1718A/1E6                                          QU
      G(4,64)=-713000*Y1517A/1E6                                       QU
      G(4,65)=780*Y1519A/1E6                                           QU
      G(4,66)=524*Y1918A/1E6                                           QU
      G(4,67)=-1950*Y1718A/1E6                                         QU
      F(5)=(262*(X1918A**2-Y1918A**2)+54*(X1829A**2-Y1829A**2)         QU
     1+69*(Y2129A**2-X2129A**2)+7743*(Y2021A**2-X2021A**2)+106193*     QU
     1(X2019A**2-Y2019A**2))/1E6                                       QU
      G(5,14)=524*X1918A/1E6                                           QU
      G(5,16)=212386*X2019A/1E6                                        QU
      G(5,17)=-15486*X2021A/1E6                                        QU
      G(5,18)=-138*X2129A/1E6                                          QU
      G(5,19)=108*X1829A/1E6                                           QU
      G(5,66)=-524*Y1918A/1E6                                          QU
      G(5,68)=-212386*Y2019A/1E6                                       QU
      G(5,69)=15486*Y2021A/1E6                                         QU
      G(5,70)=138*Y2129A/1E6                                           QU
      G(5,71)=-108*Y1829A/1E6                                          QU
      F(6)=(7743*(X2021A**2-Y2021A**2)+59*(X2122A**2-Y2122A**2)        QU
     1+750*(X2223A**2-Y2223A**2)+5056*(X2324A**2-Y2324A**2)+63600*     QU
     1(X2420A**2-Y2420A**2))/1E6+4.0359E-4*X2223A**2.8062-75.64        QU
      G(6,17)=15486*X2021A/1E6                                         QU
      G(6,20)=127200*X2420A/1E6                                        QU
      G(6,21)=118*X2122A/1E6                                           QU
      G(6,22)=1500*X2223A/1E6+0.00113255*X2223A**1.8062                QU
      G(6,23)=10112*X2324A/1E6                                         QU
      G(6,69)=-15486*Y2021A/1E6                                        QU
      G(6,72)=-127200*Y2420A/1E6                                       QU
      G(6,73)=-118*Y2122A/1E6                                          QU
      G(6,74)=-1500*Y2223A/1E6                                         QU
      G(6,75)=-10112*Y2324A/1E6                                        QU
      F(7)=(281.00*(X2926A**2-Y2926A**2)+70800*(X2625A**2-Y2625A**2)   QU
     1+126000*(X2524A**2-Y2524A**2)+5056*(Y2324A**2-X2324A**2)         QU
     1+750*(Y2223A**2-X2223A**2)+59*(Y2122A**2-X2122A**2)+69*          QU
     1(X2129A**2-Y2129A**2))/1E6+75.64-4.0359E-4*X2223A**2.8062        QU
      G(7,18)=138*X2129A/1E6                                           QU
      G(7,21)=-118*X2122A/1E6                                          QU
      G(7,22)=-1500*X2223A/1E6-0.00113255*X2223A**1.8062               QU
      G(7,23)=-10112*X2324A/1E6                                        QU
      G(7,24)=252000*X2524A/1E6                                        QU
      G(7,25)=141600*X2625A/1E6                                        QU
      G(7,26)=563*X2926A/1E6                                           QU
      G(7,70)=-138*Y2129A/1E6                                          QU
      G(7,73)=118*Y2122A/1E6                                           QU
      G(7,74)=1500*Y2223A/1E6                                          QU
```

```
7,75)=10112*Y2324A/1E6                                                  @UI07710
7,76)=-252000*Y2524A/1E6                                                @UI07720
7,77)=-141600*Y2625A/1E6                                                @UI07730
7,78)=-563*Y2926A/1E6                                                   @UI07740
8)=(81600*(X1753A**2-Y1753A**2)+27600*(X5352A**2-Y5352A**2)             @UI07750
37*(Y1752A**2-X1752A**2))/1E6                                           @UI07760
8,49)=55200*X5352A/1E6                                                  @UI07770
8,51)=163200*X1753A/1E6                                                 @UI07780
8,52)=-1274*X1752A/1E6                                                  @UI07790
8,101)=-55200*Y5352A/1E6                                                @UI07800
8,103)=-163200*Y1753A/1E6                                               @UI07810
8,104)=1274*Y1752A/1E6                                                  @UI07820
9)=(45511*(X5349A**2-Y5349A**2)+21600*(X4950A**2-Y4950A**2)             @UI07830
459*(Y5250A**2-X5250A**2)+27600*(Y5352A**2-X5352A**2))/1E6              @UI07840
9,47)=43200*X4950A/1E6                                                  @UI07850
9,48)=-14918*X5250A/1E6                                                 @UI07860
9,49)=-55200*X5352A/1E6                                                 @UI07870
9,50)=910222*X5349A/1E6                                                 @UI07880
9,99)=-43200*Y4950A/1E6                                                 @UI07890
9,100)=14918*Y5250A/1E6                                                 @UI07900
9,101)=55200*Y5352A/1E6                                                 @UI07910
9,102)=-910222*Y5349A/1E6                                               @UI07920
10)=(178646*(X4947A**2-Y4947A**2)+18647*(Y5047A**2-X5047A**2)           @UI07930
1600*(Y4950A**2-X4950A**2))/1E6                                         @UI07940
10,45)=-37294*X5047A/1E6                                                @UI07950
10,46)=357292*X4947A/1E6                                                @UI07960
10,47)=-43200*X4950A/1E6                                                @UI07970
10,97)=37294*Y5047A/1E6                                                 @UI07980
10,98)=-357292*Y4947A/1E6                                               @UI07990
10,99)=43200*Y4950A/1E6                                                 @UI08000
11)=(233.0*(X2630A**2-Y2630A**2)+40800*(X3031A**2-Y3031A**2)            @UI08010
29600*(Y2531A**2-X2531A**2)+70800*(Y2625A**2-X2625A**2))/1E6            @UI08020
11,25)=-141600*X2625A/1E6                                               @UI08030
11,27)=467*X2630A/1E6                                                   @UI08040
11,28)=81600*X3031A/1E6                                                 @UI08050
11,29)=-259200*X2531A/1E6                                               @UI08060
11,77)=141600*Y2625A/1E6                                                @UI08070
11,79)=-467*Y2630A/1E6                                                  @UI08080
11,80)=-81600*Y3031A/1E6                                                @UI08090
11,81)=259200*Y2531A/1E6                                                @UI08100
12)=(637*(X1752A**2-Y1752A**2)+7459*(X5250A**2-Y5250A**2)               @UI08110
31200*(X5045A**2-Y5045A**2)+187190*(X4535A**2-Y4535A**2)                @UI08120
975*(Y3435A**2-X3435A**2)+1950.0*(Y3034A**2-X3034A**2)                  @UI08130
233.0*(Y2630A**2-X2630A**2)+281.0*(Y2926A**2-X2926A**2)                 @UI08140
34*(Y1829A**2-X1829A**2)+975*(Y1718A**2-X1718A**2))/1E6                 @UI08150
(12,15)=-1950*X1718A/1E6                                                @UI08160
(12,19)=-108*X1829A/1E6                                                 @UI08170
(12,26)=-563*X2926A/1E6                                                 @UI08180
(12,27)=-467*X2630A/1E6                                                 @UI08190
(12,30)=-3900*X3034A/1E6                                                @UI08200
(12,33)=-1950*X3435A/1E6                                                @UI08210
(12,42)=374380*X4535A/1E6                                               @UI08220
(12,44)=62400*X5045A/1E6                                                @UI08230
(12,48)=14918*X5250A/1E6                                                @UI08240
(12,52)=1274*X1752A/1E6                                                 @UI08250
```

```
      G(12,67)=1950*Y1718A/1E6
      G(12,71)=108*Y1829A/1E6
      G(12,78)=563*Y2926A/1E6
      G(12,79)=467*Y2630A/1E6
      G(12,82)=3900*Y3034A/1E6
      G(12,85)=1950*Y3435A/1E6
      G(12,94)=-374380*Y4535A/1E6
      G(12,96)=-62400*Y5045A/1E6
      G(12,100)=-14918*Y5250A/1E6
      G(12,104)=-1274*Y1752A/1E6
      F(13)=(1950*(X3034A**2-Y3034A**2)+ 2100*(X3433A**2-Y3433A**2)
     1+80232*(Y3133A**2-X3133A**2)+40800*(Y3031A**2-X3031A**2))/1E6
      G(13,28)=-81600*X3031A/1E6
      G(13,30)=3900*X3034A/1E6
      G(13,31)=4200*X3433A/1E6
      G(13,32)=-160464*X3133A/1E6
      G(13,80)=81600*Y3031A/1E6
      G(13,82)=-3900*Y3034A/1E6
      G(13,83)=-4200*Y3433A/1E6
      G(13,84)=160464*Y3133A/1E6
      F(14)=(50400*(X3938A**2-Y3938A**2)+93600*(X3839A**2-Y3839A**2))
     1/1E6
      G(14,38)=187200*X3839A/1E6
      G(14,39)=100800*X3938A/1E6
      G(14,90)=-187200*Y3839A/1E6
      G(14,91)=-100800*Y3938A/1E6
      F(15)=(1650*(X3336A**2-Y3336A**2)+5214*()X3637A**2-Y3637A**2)
     1+106800*(X3738A**2-Y3738A**2)+50400*(Y3938A**2-X3938A**2)
     1+60000*(X3933A**2-Y3933A**2))/1E6
      G(15,35)=3300*X3336A/1E6
      G(15,36)=10428*X3637A/1E6
      G(15,37)=213600*X3738A/1E6
      G(15,39)=-100800*X3938A/1E6
      G(15,40)=120000*X3933A/1E6
      G(15,87)=-3300*Y3336A/1E6
      G(15,88)=-10428*Y3637A/1E6
      G(15,89)=-213600*Y3738A/1E6
      G(15,91)=100800*Y3938A/1E6
      G(15,92)=-120000*Y3933A/1E6
      F(16)=(975*(X3435A**2-Y3435A**2)+293293*(X3536A**2-Y3536A**2)
     1+1650*(Y3336A**2-X3336A**2)+2100*(Y3433A**2-X3433A**2))/1E6
      G(16,31)=-4200*X3433A/1E6
      G(16,33)=1950*X3435A/1E6
      G(16,34)=586586*X3536A/1E6
      G(16,35)=-3300*X3336A/1E6
      G(16,83)=4200*Y3433A/1E6
      G(16,85)=-1950*Y3435A/1E6
      G(16,86)=-586586*Y3536A/1E6
      G(16,87)=3300*Y3336A/1E6
      F(17)= (20543*(X4544A**2-Y4544A**2)+512948*(X4437A**2-Y4437A**2)
     1+5214*(Y3637A**2-X3637A**2)+293293*(Y3536A**2-X3536A**2)
     1+187190*(Y4535A**2-X4535A**2))/1E6
      G(17,34)=-586586*X3536A/1E6
      G(17,36)=-10428*X3637A/1E6
      G(17,41)=1025896*X4437A/1E6
```

```
G(17,42)=-374380*X4535A/1E6                                             QUI08810
G(17,43)=41086*X4544A/1E6                                               QUI08820
G(17,86)=586586*Y3536A/1E6                                              QUI08830
G(17,88)=10428*Y3637A/1E6                                               QUI08840
G(17,93)=-1025896*Y4437A/1E6                                            QUI08850
G(17,94)=374380*Y4535A/1E6                                              QUI08860
G(17,95)=-41086*Y4544A/1E6                                              QUI08870
H=671846+                                                               QUI08880
F(18)=198+(-7.3503E-11*(X12A**2-Y12A**2)                                QUI08890
.-1.5199E-12*(X12A**2+Y12A**2))*H-171                                   QUI08900
G(18,1)=-1.5E-10*X12A*H                                                 QUI08910
G(18,53)=1.44E-10*Y12A*H                                                QUI08920
F(19)=198+(-7.3503E-11*(X12A**2-Y12A**2)                                QUI08930
-1.6171E-11*(X29A**2-Y29A**2)-1.5199E-12*(X29A**2+Y29A**2))*H-169       QUI08940
G(19,1)=-1.47E-10*X12A*H                                                QUI08950
G(19,3)=-3.54E-11*X29A*H                                                QUI08960
G(19,53)=1.47E-10*Y12A*H                                                QUI08970
G(19,55)=2.93E-11*Y29A*H                                                QUI08980
F(20)=198+(-7.3503E-11*(X12A**2-Y12A**2)                                QUI08990
.-1.6171E-11*(X29A**2-Y29A**2)-3.7487E-11*(X98A**2-Y98A**2)             QUI09000
.-1.2937E-10*(X87A**2-Y87A**2)-2.4256E-11*(X76A**2-Y76A**2)             QUI09010
.-5.8802E-11*(X613A**2-Y613A**2)-1.5199E-12*(X613A**2+Y613A**2))        QUI09020
1*H-140                                                                 QUI09030
G(20,1)=-1.47E-10*X12A*H                                                QUI09040
G(20,3)=-3.23E-11*X29A*H                                                QUI09050
G(20,4)=-4.85E-11*X76A*H                                                QUI09060
G(20,5)=-2.59E-10*X87A*H                                                QUI09070
G(20,6)=-7.5E-11*X98A*H                                                 QUI09080
G(20,8)=-1.21E-10*X613A*H                                               QUI09090
G(20,53)=1.47E-10*Y12A*H                                                QUI09100
G(20,55)=3.23E-11*Y29A*H                                                QUI09110
G(20,56)=4.85E-11*Y76A*H                                                QUI09120
G(20,57)=2.59E-10*Y87A*H                                                QUI09130
G(20,58)=7.5E-11*Y98A*H                                                 QUI09140
G(20,60)=1.15E-10*Y613A*H                                               QUI09150
TC13A=198+(-7.3503E-11*(X12A**2-Y12A**2)                                QUI09160
1-1.6171E-11*(X29A**2-Y29A**2)-3.7487E-11*(X98A**2-Y98A**2)             QUI09170
1-1.2937E-10*(X87A**2-Y87A**2)-2.4256E-11*(X76A**2-Y76A**2)             QUI09180
1-5.8802E-11*(X613A**2-Y613A**2))*H                                     QUI09190
F(21)=TC13A+(-3.1606E-11*(X1314A**2-Y1314A**2)-6.4683E-11*              QUI09200
1(X1415A**2-Y1415A**2)-1.5199E-12*(X1415A**2+Y1415A**2))*H-135          QUI09210
G(21,1)=G(20,1)                                                         QUI09220
G(21,3)=G(20,3)                                                         QUI09230
G(21,4)=G(20,4)                                                         QUI09240
G(21,5)=G(20,5)                                                         QUI09250
G(21,6)=G(20,6)                                                         QUI09260
G(21,8)=-1.18E-10*X613A*H                                               QUI09270
G(21,9)=-6.32E-11*X1314A*H                                              QUI09280
G(21,11)=-1.32E-10*X1415A*H                                             QUI09290
G(21,53)=G(20,53)                                                       QUI09300
G(21,55)=G(20,55)                                                       QUI09310
G(21,56)=G(20,56)                                                       QUI09320
G(21,57)=G(20,57)                                                       QUI09330
G(21,58)=G(20,58)                                                       QUI09340
G(21,60)=1.18E-10*Y613A*H                                               QUI09350
```

```
      G(21,61)=6.32E-11*Y1314A*H                                        QU
      G(21,63)=1.26E-10*Y1415A*H                                        QU
      TC15A=TC13A+(-3.1606E-11*(X1314A**2-Y1314A**2)-6.4683E-11         QU
     1*(X1415A**2-Y1415A**2))*H                                         QU
      F(22)=TC15A+(-5.8067E-11*(X1519A**2-Y1519A**2)-3.8957E-11*        QU
     1(X1918A**2-Y1918A**2)-1.5199E-12*(X1918A**2+Y1918A**2))*H-127     QU
      G(22,1)=G(20,1)                                                   QU
      G(22,3)=G(20,3)                                                   QU
      G(22,4)=G(20,4)                                                   QU
      G(22,5)=G(20,5)                                                   QU
      G(22,6)=G(20,6)                                                   QU
      G(22,8)=G(21,8)                                                   QU
      G(22,9)=G(21,9)                                                   QU
      G(22,11)=-1.29E-10*X1415A*H                                       QU
      G(22,13)=-1.16E-10*X1519A*H                                       QU
      G(22,14)=-8.09E-11*X1918A*H                                       QU
      G(22,53)=G(20,53)                                                 QU
      G(22,55)=G(20,55)                                                 QU
      G(22,56)=G(20,56)                                                 QU
      G(22,57)=G(20,57)                                                 QU
      G(22,58)=G(20,58)                                                 QU
      G(22,60)=G(21,60)                                                 QU
      G(22,61)=G(21,61)                                                 QU
      G(22,63)=1.29E-10*Y1415A*H                                        QU
      G(22,65)=1.16E-10*Y1519A*H                                        QU
      G(22,66)=7.49E-11*Y1918A*H                                        QU
      TC18A=TC15A+(-5.8067E-11*(X1519A**2-Y1519A**2)-3.8957E-11*        QU
     1(X1918A**2-Y1918A**2))*H                                          QU
      F(23)=TC18A+(-1.4512E-10*(Y1718A**2-X1718A**2)-7.6944E-12*        QU
     1(X1718A**2+Y1718A**2))*H-128                                      QU
      G(23,1)=G(20,1)                                                   QU
      G(23,3)=G(20,3)                                                   QU
      G(23,4)=G(20,4)                                                   QU
      G(23,5)=G(20,5)                                                   QU
      G(23,6)=G(20,6)                                                   QU
      G(23,8)=G(21,8)                                                   QU
      G(23,9)=G(21,9)                                                   QU
      G(23,11)=G(22,11)                                                 QU
      G(23,13)=G(22,13)                                                 QU
      G(23,14)=-7.79E-11*X1918A*H                                       QU
      G(23,15)=2.75E-10*X1718A*H                                        QU
      G(23,53)=G(20,53)                                                 QU
      G(23,55)=G(20,55)                                                 QU
      G(23,56)=G(20,56)                                                 QU
      G(23,57)=G(20,57)                                                 QU
      G(23,58)=G(20,58)                                                 QU
      G(23,60)=G(21,60)                                                 QU
      G(23,61)=G(21,61)                                                 QU
      G(23,63)=G(22,63)                                                 QU
      G(23,65)=G(22,65)                                                 QU
      G(23,66)=7.79E-11*Y1918A*H                                        QU
      G(23,67)=-3.06E-10*Y1718A*H                                       QU
      TC17A=TC18A-1.4512E-10*(Y1718A**2-X1718A**2)*H                    QU
      F(24)=TC17A+(-9.4888E-11*(X1752A**2-Y1752A**2)-7.6944E-12*        QU
     1(X1752A**2+Y1752A**2))*H-127                                      QU
```

```
      G(24,1)=G(20,1)                                                   @UI09910
      G(24,3)=G(20,3)                                                   @UI09920
      G(24,4)=G(20,4)                                                   @UI09930
      G(24,5)=G(20,5)                                                   @UI09940
      G(24,6)=G(20,6)                                                   @UI09950
      G(24,8)=G(21,8)                                                   @UI09960
      G(24,9)=G(21,9)                                                   @UI09970
      G(24,11)=G(22,11)                                                 @UI09980
      G(24,13)=G(22,13)                                                 @UI09990
      G(24,14)=G(23,14)                                                 @UI10000
      G(24,15)=2.90E-10*X1718A*H                                        @UI10010
      G(24,52)=-2.05E-10*X1752A*H                                       @UI10020
      G(24,53)=G(20,53)                                                 @UI10030
      G(24,55)=G(20,55)                                                 @UI10040
      G(24,56)=G(20,56)                                                 @UI10050
      G(24,57)=G(20,57)                                                 @UI10060
      G(24,58)=G(20,58)                                                 @UI10070
      G(24,60)=G(21,60)                                                 @UI10080
      G(24,61)=G(21,61)                                                 @UI10090
      G(24,63)=G(22,63)                                                 @UI10100
      G(24,65)=G(22,65)                                                 @UI10110
      G(24,66)=G(23,66)                                                 @UI10120
      G(24,67)=-2.9E-10*Y1718A*H                                        @UI10130
      G(24,104)=1.74E-10*Y1752A*H                                       @UI10140
      TC52A=TC17A-9.4888E-11*(X1752A**2-Y1752A**2)*H                    @UI10150
      F(25)=TC52A+(-1.1103E-9*(X5250A**2-Y5250A**2)-2.7755E-9*          @UI10160
     1(X5047A**2-Y5047A**2)-2.4318E-11*(X5047A**2+Y5047A**2))*H-113     @UI10170
      G(25,1)=G(20,1)                                                   @UI10180
      G(25,3)=G(20,3)                                                   @UI10190
      G(25,4)=G(20,4)                                                   @UI10200
      G(25,5)=G(20,5)                                                   @UI10210
      G(25,6)=G(20,6)                                                   @UI10220
      G(25,8)=G(21,8)                                                   @UI10230
      G(25,9)=G(21,9)                                                   @UI10240
      G(25,11)=G(22,11)                                                 @UI10250
      G(25,13)=G(22,13)                                                 @UI10260
      G(25,14)=G(23,14)                                                 @UI10270
      G(25,15)=G(24,15)                                                 @UI10280
      G(25,45)=-5.6E-9*X5047A*H                                         @UI10290
      G(25,48)=-2.22E-9*X5250A*H                                        @UI10300
      G(25,52)=-1.9E-10*X1752A*H                                        @UI10310
      G(25,53)=G(20,53)                                                 @UI10320
      G(25,55)=G(20,55)                                                 @UI10330
      G(25,56)=G(20,56)                                                 @UI10340
      G(25,57)=G(20,57)                                                 @UI10350
      G(25,58)=G(20,58)                                                 @UI10360
      G(25,60)=G(21,60)                                                 @UI10370
      G(25,61)=G(21,61)                                                 @UI10380
      G(25,63)=G(22,63)                                                 @UI10390
      G(25,65)=G(22,65)                                                 @UI10400
      G(25,66)=G(23,66)                                                 @UI10410
      G(25,67)=G(24,67)                                                 @UI10420
      G(25,97)=5.50E-9*Y5047A*H                                         @UI10430
      G(25,100)=2.22E-9*Y5250A*H                                        @UI10440
      G(25,104)=1.9E-10*Y1752A*H                                        @UI10450
```

```
 F(26)=TC52A+(-1.1103E-9*()X5250A**2-Y5250A**2)-4.6439E-9*
1()X5045A**2-Y5045A**2)-3.0577E-9*(X4544A**2-Y4544A**2)
1-2.4318E-11*()X4544A**2+Y4544A**2))*H-112
 G(26,1)=G(20,1)
 G(26,3)=G(20,3)
 G(26,4)=G(20,4)
 G(26,5)=G(20,5)
 G(26,6)=G(20,6)
 G(26,8)=G(21,8)
 G(26,9)=G(21,9)
 G(26,11)=G(22,11)
 G(26,13)=G(22,13)
 G(26,14)=G(23,14)
 G(26,15)=G(24,15)
 G(26,43)=-6.16E-9*X4544A*H
 G(26,44)=-9.29E-9*X5045A*H
 G(26,48)=G(25,48)
 G(26,52)=G(25,52)
 G(26,53)=G(20,53)
 G(26,55)=G(20,55)
 G(26,56)=G(20,56)
 G(26,57)=G(20,57)
 G(26,58)=G(20,58)
 G(26,60)=G(21,60)
 G(26,61)=G(21,61)
 G(26,63)=G(22,63)
 G(26,65)=G(22,65)
 G(26,66)=G(23,66)
 G(26,67)=G(24,67)
 G(26,95)=6.07E-9*Y4544A*H
 G(26,96)=9.29E-9*Y5045A*H
 G(26,100)=G(25,100)
 G(26,104)=G(25,104)
 TC30A=TC18A+(-8.0853E-12*(X1829A**2-Y1829A**2)-4.1897E-11*
1(X2926A**2-Y2926A**2)-3.4750E-11*(X2630A**2-Y2630A**2))*H
 F(27)=TC30A-3.1516E-12*(X2630A**2+Y2630A**2)*H-122
 G(27,1)=G(20,1)
 G(27,3)=G(20,3)
 G(27,4)=G(20,4)
 G(27,5)=G(20,5)
 G(27,6)=G(20,6)
 G(27,8)=G(21,8)
 G(27,9)=G(21,9)
 G(27,11)=G(22,11)
 G(27,13)=G(22,13)
 G(27,14)=G(23,14)
 G(27,19)=-1.62E-11*X1829A*H
 G(27,26)=-8.38E-11*X2926A*H
 G(27,27)=-7.58E-11*X2630A*H
 G(27,53)=G(20,53)
 G(27,55)=G(20,55)
 G(27,56)=G(20,56)
 G(27,57)=G(20,57)
 G(27,58)=G(20,58)
 G(27,60)=G(21,60)
```

```
      G(27,61)=G(21,61)                                                 @UI11010
      G(27,63)=G(22,63)                                                 @UI11020
      G(27,65)=G(22,65)                                                 @UI11030
      G(27,66)=G(23,66)                                                 @UI11040
      G(27,71)=1.62E-11*Y1829A*H                                        @UI11050
      G(27,78)=8.38E-11*Y2926A*H                                        @UI11060
      G(27,79)=6.32E-11*Y2630A*H                                        @UI11070
      F(28)=TC30A+(-2.9024E-10*()X3034A**2-Y3034A**2)-7.6944E-12*       @UI11080
     1(X3034A**2+Y3034A**2))*H-120                                      @UI11090
      G(28,1)=G(20,1)                                                   @UI11100
      G(28,3)=G(20,3)                                                   @UI11110
      G(28,4)=G(20,4)                                                   @UI11120
      G(28,5)=G(20,5)                                                   @UI11130
      G(28,6)=G(20,6)                                                   @UI11140
      G(28,8)=G(21,8)                                                   @UI11150
      G(28,9)=G(21,9)                                                   @UI11160
      G(28,11)=G(22,11)                                                 @UI11170
      G(28,13)=G(22,13)                                                 @UI11180
      G(28,14)=G(23,14)                                                 @UI11190
      G(28,19)=G(27,19)                                                 @UI11200
      G(28,26)=G(27,26)                                                 @UI11210
      G(28,27)=-6.95E-11*X2630A*H                                       @UI11220
      G(28,30)=-5.96E-10*X3034A*H                                       @UI11230
      G(28,53)=G(20,53)                                                 @UI11240
      G(28,55)=G(20,55)                                                 @UI11250
      G(28,56)=G(20,56)                                                 @UI11260
      G(28,57)=G(20,57)                                                 @UI11270
      G(28,58)=G(20,58)                                                 @UI11280
      G(28,60)=G(21,60)                                                 @UI11290
      G(28,61)=G(21,61)                                                 @UI11300
      G(28,63)=G(22,63)                                                 @UI11310
      G(28,65)=G(22,65)                                                 @UI11320
      G(28,66)=G(23,66)                                                 @UI11330
      G(28,71)=G(27,71)                                                 @UI11340
      G(28,78)=G(27,78)                                                 @UI11350
      G(28,79)=6.95E-11*Y2630A*H                                        @UI11360
      G(28,82)=5.65E-10*Y3034A*H                                        @UI11370
      F(29)=TC30A+(-2.9024E-10*(X3034A**2-Y3034A**2)-3.1257E-10*        @UI11380
     1(X3433A**2-Y3433A**2)-7.6944E-12*(X3433A**2+Y3433A**2))*H-120     @UI11390
      G(29,1)=G(20,1)                                                   @UI11400
      G(29,3)=G(20,3)                                                   @UI11410
      G(29,4)=G(20,4)                                                   @UI11420
      G(29,5)=G(20,5)                                                   @UI11430
      G(29,6)=G(20,6)                                                   @UI11440
      G(29,8)=G(21,8)                                                   @UI11450
      G(29,9)=G(21,9)                                                   @UI11460
      G(29,11)=G(22,11)                                                 @UI11470
      G(29,13)=G(22,13)                                                 @UI11480
      G(29,14)=G(23,14)                                                 @UI11490
      G(29,19)=G(27,19)                                                 @UI11500
      G(29,26)=G(27,26)                                                 @UI11510
      G(29,27)=G(28,27)                                                 @UI11520
      G(29,30)=-5.80E-10*X3034A*H                                       @UI11530
      G(29,31)=-6.41E-10*X3433A*H                                       @UI11540
      G(29,53)=G(20,53)                                                 @UI11550
```

```
      G(29,55)=G(20,55)                                                 QUI
      G(29,56)=G(20,56)                                                 QUI
      G(29,57)=G(20,57)                                                 QUI
      G(29,58)=G(20,58)                                                 QUI
      G(29,60)=G(21,60)                                                 QUI
      G(29,61)=G(21,61)                                                 QUI
      G(29,63)=G(22,63)                                                 QUI
      G(29,65)=G(22,65)                                                 QUI
      G(29,66)=G(23,66)                                                 QUI
      G(29,71)=G(27,71)                                                 QUI
      G(29,78)=G(27,78)                                                 QUI
      G(29,79)=G(28,79)                                                 QUI
      G(29,82)=5.80E-10*Y3034A**H                                       QUI
      G(29,83)=6.10E-10*Y3433A**H                                       QUI
      F(30)=TC30A+(-2.9024E-10*(X3034A**2-Y3034A**2)-3.1257E-10*        QUI
     1(X3433A**2-Y3433A**2)-8.9306E-9*(Y3933A**2-X3933A**2)-1.2311E-10* QUI
     1(X3933A**2+Y3933A**2))*H-118                                      QUI
      G(30,1)=G(20,1)                                                   QUI
      G(30,3)=G(20,3)                                                   QUI
      G(30,4)=G(20,4)                                                   QUI
      G(30,5)=G(20,5)                                                   QUI
      G(30,6)=G(20,6)                                                   QUI
      G(30,8)=G(21,8)                                                   QUI
      G(30,9)=G(21,9)                                                   QUI
      G(30,11)=G(22,11)                                                 QUI
      G(30,13)=G(22,13)                                                 QUI
      G(30,14)=G(23,14)                                                 QUI
      G(30,19)=G(27,19)                                                 QUI
      G(30,26)=G(27,26)                                                 QUI
      G(30,27)=G(28,27)                                                 QUI
      G(30,30)=G(29,30)                                                 QUI
      G(30,31)=-6.25E-10*X3433A*H                                       QUI
      G(30,40)=1.76E-8*X3933A*H                                         QUI
      G(30,53)=G(20,53)                                                 QUI
      G(30,55)=G(20,55)                                                 QUI
      G(30,56)=G(20,56)                                                 QUI
      G(30,57)=G(20,57)                                                 QUI
      G(30,58)=G(20,58)                                                 QUI
      G(30,60)=G(21,60)                                                 QUI
      G(30,61)=G(21,61)                                                 QUI
      G(30,63)=G(22,63)                                                 QUI
      G(30,65)=G(22,65)                                                 QUI
      G(30,66)=G(23,66)                                                 QUI
      G(30,71)=G(27,71)                                                 QUI
      G(30,78)=G(27,78)                                                 QUI
      G(30,79)=G(28,79)                                                 QUI
      G(30,82)=G(29,82)                                                 QUI
      G(30,83)=6.25E-10*Y3433A*H                                        QUI
      G(30,92)=-1.81E-8*Y3933A*H                                        QUI
      F(31)=TC15A+(-5.8067E-11*(X1519A**2-Y1519A**2)-1.5806E-8*         QUI
     1(Y2019A**2-X2019A**2)-3.8909E-10*(X2019A**2+Y2019A**2))*H-170     QUI
      G(31,1)=G(20,1)                                                   QUI
      G(31,3)=G(20,3)                                                   QUI
      G(31,4)=G(20,4)                                                   QUI
      G(31,5)=G(20,5)                                                   QUI
```

```
G(31,6)=G(20,6)
G(31,8)=G(21,8)
G(31,9)=G(21,9)
G(31,11)=G(22,11)
G(31,13)=G(22,13)
G(31,16)=3.08E-8*X2019A*H
G(31,53)=G(20,53)
G(31,55)=G(20,55)
G(31,56)=G(20,56)
G(31,57)=G(20,57)
G(31,58)=G(20,58)
G(31,60)=G(21,60)
G(31,61)=G(21,61)
G(31,63)=G(22,63)
G(31,65)=G(22,65)
G(31,68)=-3.24E-8*Y2019A*H
F(32)=TC15A+(-5.8067E-11*()X1519A**2-Y1519A**2)-1.5806E-8*
1(Y2019A**2-X2019A**2)-9.4664E-9*(Y2420A**2-X2420A**2)-1.2311E-10*
1()X2420A**2+Y2420A**2))*H-175
G(32,1)=G(20,1)
G(32,3)=G(20,3)
G(32,4)=G(20,4)
G(32,5)=G(20,5)
G(32,6)=G(20,6)
G(32,8)=G(21,8)
G(32,9)=G(21,9)
G(32,11)=G(22,11)
G(32,13)=G(22,13)
G(32,16)=3.16E-8*X2019A*H
G(32,20)=1.87E-8*X2420A*H
G(32,53)=G(20,53)
G(32,55)=G(20,55)
G(32,56)=G(20,56)
G(32,57)=G(20,57)
G(32,58)=G(20,58)
G(32,60)=G(21,60)
G(32,61)=G(21,61)
G(32,63)=G(22,63)
G(32,65)=G(22,65)
G(32,68)=-3.16E-8*Y2019A*H
G(32,72)=-1.92E-8*Y2420A*H
RE33A=0.0
DO 101 I=1,52
  RE33A=RE33A+X(I)*X(I+52)
)1 CONTINUE
F(33)=RE33A
DO 201 I=1,52
  G(33,I)=X(I+52)
)1 CONTINUE
DO 206 I=53,104
  G(33,I)=X(I-52)
06 CONTINUE
F(34)=(4898977*(X26B**2-Y26B**2)+163*(Y76B**2-X76B**2)+869*
1(Y87B**2-X87B**2)+252*(Y98B**2-X98B**2)+109*(Y29B**2-X29B**2))/1E6
G(34,106)=979795*X26B/1E6
```

Estas restricciones se repiten para los tres períodos restantes

```
      G(4*I+131,I+444)=1.0                                              QUI
      F(4*I+132)=X(I+458)-0.50*(CM(I)/AP(I,JJ))**(-E(I))                QUI
      G(4*I+132,I+458)=1.0                                              QUI
   11 CONTINUE                                                          QUI
      RETURN                                                            QUI
      END                                                               QUI
C                                                                       QUI
C                 ***********************************                   QUI
C                 *   SUBRUTINA DE FUNCION OBJETIVO   *                 QUI
C                 ***********************************                   QUI
C                                                                       QUI
      SUBROUTINE FUNOBJ( MODE,N,X,F,G,NSTATE,NPROB,Z,NWCORE )           QUI
      IMPLICIT            REAL*8(A-H,O-Z)                               QUI
      COMMON  /BIMEST/ JJ,AP,P,POB,CM,DOT,E                             QUI
      COMMON  /M1FILE/ IREAD,IPRINT,ISUMM                               QUI
      DOUBLE PRECISION P(14),E(14),POB(14,18),DOT(14,18),CM(14),JJ      QUI
      DOUBLE PRECISION AP(14,18),PR(14)                                 QUI
      DOUBLE PRECISION Q0(14,18),W(14,18)                               QUI
      DOUBLE PRECISION PB,P21,P221,P1,P3,P2,P202,P17,P5,P6,P8,P9,P14,P15QUI
     1,P18                                                              QUI
      DOUBLE PRECISION   X(N),F,G(N),Z(NWCORE),H                        QUI
      DOUBLE PRECISION Q21,Q221,Q1,Q3,Q2,Q202,Q17,Q5,Q6,Q8,Q9,Q14,Q15,  QUI
     1Q18,QLCR,QALF,QCOV,QPAR                                           QUI
      DOUBLE PRECISION X12A,X26A,X29A,X76A,X87A,X98A,X79A,X613A         QUI
     1,X1314A,X1413A,X1415A,X1517A,X1519A,X1918A,X1718A,X2019A,X2021A   QUI
     1,X2129A,X1829A,X2420A,X2122A,X2223A,X2324A,X2524A,X2625A,X2926A   QUI
     1,X2630A,X3031A,X2531A,X3034A,X3433A,X3133A,X3435A,X3536A,X3336A   QUI
     1,X3637A,X3738A,X3839A,X3938A,X3933A,X4437A,X4535A,X4544A,X5045A   QUI
     1,X5047A,X4947A,X4950A,X5250A,X5352A,X5349A,X1753A,X1752A,Y12A     QUI
     1,Y26A,Y29A,Y76A,Y87A,Y98A,Y79A,Y613A,Y1314A,Y1413A,Y1415A,Y1517A  QUI
     1,Y1519A,Y1918A,Y1718A,Y2019A,Y2021A,Y2129A,Y1829A,Y2420A,Y2122A   QUI
     1,Y2223A,Y2324A,Y2524A,Y2625A,Y2926A,Y2630A,Y3031A,Y2531A,Y3034A   QUI
     1,Y3433A,Y3133A,Y3435A,Y3536A,Y3336A,Y3637A,Y3738A,Y3839A,Y3938A   QUI
     1,Y3933A,Y4437A,Y4535A,Y4544A,Y5045A,Y5047A,Y4947A,Y4950A,Y5250A   QUI
     1,Y5352A,Y5349A,Y1753A,Y1752A,Q21A,Q221A,Q1A,Q3A,Q2A,Q202A,Q17A    QUI
     1,Q5A,Q6A,Q8A,Q9A,Q14A,Q15A,Q18A,QLCRA,QALFA,QCOVA,QPARA,TC13A    QUI
     1,TC15A,TC18A,TC17A,TC52A,TC30A,RE33A                              QUI
      DOUBLE PRECISION X12B,X26B,X29B,X76B,X87B,X98B,X79B,X613B         QUI
     1,X1314B,X1413B,X1415B,X1517B,X1519B,X1918B,X1718B,X2019B,X2021B   QUI
     1,X2129B,X1829B,X2420B,X2122B,X2223B,X2324B,X2524B,X2625B,X2926B   QUI
     1,X2630B,X3031B,X2531B,X3034B,X3433B,X3133B,X3435B,X3536B,X3336B   QUI
     1,X3637B,X3738B,X3839B,X3938B,X3933B,X4437B,X4535B,X4544B,X5045B   QUI
     1,X5047B,X4947B,X4950B,X5250B,X5352B,X5349B,X1753B,X1752B,Y12B     QUI
     1,Y26B,Y29B,Y76B,Y87B,Y98B,Y79B,Y613B,Y1314B,Y1413B,Y1415B,Y1517B  QUI
     1,Y1519B,Y1918B,Y1718B,Y2019B,Y2021B,Y2129B,Y1829B,Y2420B,Y2122B   QUI
     1,Y2223B,Y2324B,Y2524B,Y2625B,Y2926B,Y2630B,Y3031B,Y2531B,Y3034B   QUI
     1,Y3433B,Y3133B,Y3435B,Y3536B,Y3336B,Y3637B,Y3738B,Y3839B,Y3938B   QUI
     1,Y3933B,Y4437B,Y4535B,Y4544B,Y5045B,Y5047B,Y4947B,Y4950B,Y5250B   QUI
     1,Y5352B,Y5349B,Y1753B,Y1752B,Q21B,Q221B,Q1B,Q3B,Q2B,Q202B,Q17B    QUI
     1,Q5B,Q6B,Q8B,Q9B,Q14B,Q15B,Q18B,QLCRB,QALFB,QCOVB,QPARB,TC13B    QUI
     1,TC15B,TC18B,TC17B,TC52B,TC30B,RE33B                              QUI
      DOUBLE PRECISION X12C,X26C,X29C,X76C,X87C,X98C,X79C,X613C         QUI
     1,X1314C,X1413C,X1415C,X1517C,X1519C,X1918C,X1718C,X2019C,X2021C   QUI
     1,X2129C,X1829C,X2420C,X2122C,X2223C,X2324C,X2524C,X2625C,X2926C   QUI
     1,X2630C,X3031C,X2531C,X3034C,X3433C,X3133C,X3435C,X3536C,X3336C   QUI
```

```
Q6D=X(467)                                                              QUI35210
Q8D=X(468)                                                              QUI35220
Q9D=X(469)                                                              QUI35230
Q14D=X(470)                                                             QUI35240
Q15D=X(471)                                                             QUI35250
Q18D=X(472)                                                             QUI35260
QLCRA=X(473)                                                            QUI35270
QALFA=X(474)                                                            QUI35280
QCOVA=X(475)                                                            QUI35290
QPARA=X(476)                                                            QUI35300
QLCRB=X(477)                                                            QUI35310
QALFB=X(478)                                                            QUI35320
QCOVB=X(479)                                                            QUI35330
QPARB=X(480)                                                            QUI35340
QLCRC=X(481)                                                            QUI35350
QALFC=X(482)                                                            QUI35360
QCOVC=X(483)                                                            QUI35370
QPARC=X(484)                                                            QUI35380
QLCRD=X(485)                                                            QUI35390
QALFD=X(486)                                                            QUI35400
QCOVD=X(487)                                                            QUI35410
QPARD=X(488)                                                            QUI35420
Q21 =X(489)                                                             QUI35430
Q221 =X(490)                                                            QUI35440
Q1 =X(491)                                                              QUI35450
Q3 =X(492)                                                              QUI35460
Q2 =X(493)                                                              QUI35470
Q202 =X(494)                                                            QUI35480
Q17 =X(495)                                                             QUI35490
Q5 =X(496)                                                              QUI35500
Q6 =X(497)                                                              QUI35510
Q8 =X(498)                                                              QUI35520
Q9 =X(499)                                                              QUI35530
Q14 =X(500)                                                             QUI35540
Q15 =X(501)                                                             QUI35550
Q18 =X(502)                                                             QUI35560
QLCR =X(503)                                                            QUI35570
QALF =X(504)                                                            QUI35580
QCOV =X(505)                                                            QUI35590
QPAR =X(506)                                                            QUI35600
                                                                        QUI35610
                                                                        QUI35620
DEFINICION DE LA FUNCION OBJETIVO                                       QUI35630
                                                                        QUI35640
                                                                        QUI35650
F=0                                                                     QUI35660
DO 501 I=1,14                                                           QUI35670
   Q0(I,JJ)=POB(I,JJ)*DOT(I,JJ)/86400/(P(I)**(-E(I)))                   QUI35680
   IF (X(I+488).LE.Q0(I,JJ)) THEN                                       QUI35690
     W(I,JJ)=AP(I,JJ)*E(I)/(1-E(I))*Q0(I,JJ)**((E(I)-1)/E(I))-          QUI35700
1              AP(I,JJ)*Q0(I,JJ)**(-1/E(I))*(X(I+488)-Q0(I,JJ))         QUI35710
   ELSE                                                                 QUI35720
     W(I,JJ)=AP(I,JJ)*E(I)/(1-E(I))*X(I+488)**((E(I)-1)/E(I))           QUI35730
   ENDIF                                                                QUI35740
                                                                        QUI35750
```

```
C     FUNCION OBJETIVO                                                  QUI
C                                                                       QUI
      F=F+W(I,JJ)+CM(I)*X(I+488)                                        QUI
 501  CONTINUE                                                          QUI
C                                                                       QUI
C                                                                       QUI
C     DEFINICION DE GRADIENTES                                          QUI
C                                                                       QUI
C                                                                       QUI
      DO 301 I=1,506                                                    QUI
        G(I)=0.0                                                        QUI
 301  CONTINUE                                                          QUI
      DO 511 I=1,14                                                     QUI
        Q0(I,JJ)=POB(I,JJ)*DOT(I,JJ)/86400/(P(I)**(-E(I)))              QUI
        IF (X(I+488).LE.Q0(I,JJ)) THEN                                  QUI
          G(I+488)=CM(I)-1.0                                            QUI
        ELSE                                                            QUI
          G(I+488)=CM(I)-AP(I,JJ)*X(I+488)**(-1/E(I))                   QUI
        ENDIF                                                           QUI
 511  CONTINUE                                                          QUI
C                                                                       QUI
C                                                                       QUI
C     IMPRESION DE TARIFAS POR SECTOR                                   QUI
C                                                                       QUI
C                                                                       QUI
      IF (NSTATE.LT.2) GOTO 514                                         QUI
      DO 513 I=1,14                                                     QUI
        PR(I)=AP(I,JJ)*X(I+488)**(-1/E(I))                              QUI
        WRITE (IPRINT,512) I,PR(I)                                      QUI
        WRITE (ISUMM,512) I,PR(I)                                       QUI
 512    FORMAT (I5,F20.5)                                               QUI
 513  CONTINUE                                                          QUI
 514  RETURN                                                            QUI
      END                                                               QUI
```

ARCHIVO MPS

```
NAME          QUILLOLS
ROWS
 L  R1
 L  R2
 L  R3
 L  R4
 L  R5
 L  R6
 L  R7
 L  R8
 L  R9
 L  R10
 L  R11
 L  R12
 L  R13
 L  R14
 L  R15
 L  R16
 L  R17
 L  R18
 L  R19
 L  R20
 L  R21
 L  R22
 L  R23
 L  R24
 L  R25
 L  R26
 L  R27
 L  R28
 L  R29
 L  R30
 L  R31
 L  R32
 E  R33
 L  R34
 L  R35
 L  R36
 L  R37
 L  R38
 L  R39
 L  R40
 L  R41
 L  R42
 L  R43
 L  R44
 L  R45
 L  R46
 L  R47
 L  R48
 L  R49
 L  R50
 L  R51
 L  R52
 L  R53
```

```
L  R54
L  R55
L  R56
L  R57
L  R58
L  R59
L  R60
L  R61
L  R62
L  R63
L  R64
L  R65
E  R66
L  R67
L  R68
L  R69
L  R70
L  R71
L  R72
L  R73
L  R74
L  R75
L  R76
L  R77
L  R78
L  R79
L  R80
L  R81
L  R82
L  R83
L  R84
L  R85
L  R86
L  R87
L  R88
L  R89
L  R90
L  R91
L  R92
L  R93
L  R94
L  R95
L  R96
L  R97
L  R98
E  R99
L  R100
L  R101
L  R102
L  R103
L  R104
L  R105
L  R106
L  R107
L  R108
```

R109
R110
R111
R112
. R113
. R114
. R115
. R116
. R117
. R118
. R119
. R120
. R121
. R122
. R123
. R124
. R125
. R126
. R127
. R128
. R129
. R130
. R131
E R132
L R133
L R134
L R135
L R136
L R137
L R138
L R139
L R140
L R141
L R142
L R143
L R144
L R145
L R146
L R147
L R148
L R149
L R150
L R151
L R152
L R153
L R154
L R155
L R156
L R157
L R158
L R159
L R160
L R161
L R162
L R163

```
L  R164
L  R165
L  R166
L  R167
L  R168
L  R169
L  R170
L  R171
L  R172
L  R173
L  R174
L  R175
L  R176
L  R177
L  R178
L  R179
L  R180
L  R181
L  R182
L  R183
L  R184
L  R185
L  R186
L  R187
L  R188
E  R50A
E  R51A
E  R52A
E  R53A
E  R54A
E  R55A
E  R56A
E  R57A
E  R58A
E  R59A
E  R60A
E  R61A
E  R62A
E  R63A
E  R64A
E  R65A
E  R66A
E  R67A
E  R68A
E  R69A
E  R70A
E  R71A
E  R72A
E  R73A
E  R74A
E  R75A
E  R76A
E  R77A
E  R78A
E  R79A
```

R80A
R81A
R82A
R83A
R84A
R85A
R86A
R87A
R88A
R89A
R90A
R91A
R92A
R93A
R94A
R95A
R96A
R97A
R98A
R99A
R100A
R101A
R102A
R103A
R104A
R105A
R106A
R107A
R108A
R109A
R110A
R111A
R112A
R113A
R50B
R51B
R52B
R53B
R54B
R55B
R56B
R57B
R58B
R59B
R60B
R61B
R62B
R63B
R64B
R65B
R66B
R67B
R68B
R69B
R70B

E R71B
E R72B
E R73B
E R74B
E R75B
E R76B
E R77B
E R78B
E R79B
E R80B
E R81B
E R82B
E R83B
E R84B
E R85B
L R86B
L R87B
L R88B
L R89B
L R90B
L R91B
L R92B
L R93B
L R94B
L R95B
L R96B
L R97B
L R98B
L R99B
L R100B
L R101B
L R102B
L R103B
L R104B
L R105B
L R106B
L R107B
L R108B
L R109B
L R110B
L R111B
L R112B
L R113B
E R50C
E R51C
E R52C
E R53C
E R54C
E R55C
E R56C
E R57C
E R58C
E R59C
E R60C
E R61C

R62C
R63C
R64C
R65C
R66C
R67C
R68C
R69C
R70C
R71C
R72C
R73C
R74C
R75C
R76C
R77C
R78C
R79C
R80C
R81C
R82C
R83C
R84C
R85C
R86C
R87C
R88C
R89C
R90C
R91C
R92C
R93C
R94C
L R95C
L R96C
L R97C
L R98C
L R99C
L R100C
L R101C
L R102C
L R103C
L R104C
L R105C
L R106C
L R107C
L R108C
L R109C
L R110C
L R111C
L R112C
L R113C
E R50D
E R51D
E R52D

```
E  R53D
E  R54D
E  R55D
E  R56D
E  R57D
E  R58D
E  R59D
E  R60D
E  R61D
E  R62D
E  R63D
E  R64D
E  R65D
E  R66D
E  R67D
E  R68D
E  R69D
E  R70D
E  R71D
E  R72D
E  R73D
E  R74D
E  R75D
E  R76D
E  R77D
E  R78D
E  R79D
E  R80D
E  R81D
E  R82D
E  R83D
E  R84D
E  R85D
L  R86D
L  R87D
L  R88D
L  R89D
L  R90D
L  R91D
L  R92D
L  R93D
L  R94D
L  R95D
L  R96D
L  R97D
L  R98D
L  R99D
L  R100D
L  R101D
L  R102D
L  R103D
L  R104D
L  R105D
L  R106D
L  R107D
```

R108D
R109D
R110D
R111D
R112D
R113D
R206
R207
R208
R209
R210
R211
R212
R213
R214
R215
R216
R217
R218
R219

UMNS

X12A	R50A	-1.0	R51A	1.0
X26A	R51A	-1.0	R55A	1.0
X29A	R51A	-1.0	R52A	1.0
X76A	R54A	-1.0	R55A	1.0
X87A	R53A	-1.0	R54A	1.0
X98A	R52A	-1.0	R53A	1.0
X79A	R54A	-1.0	R52A	1.0
X613A	R55A	-1.0	R56A	1.0
X1314A	R56A	-1.0	R57A	1.0
X1413A	R57A	-1.0	R56A	1.0
X1415A	R57A	-1.0	R58A	1.0
X1517A	R58A	-1.0	R59A	1.0
X1519A	R58A	-1.0	R61A	1.0
X1918A	R61A	-1.0	R60A	1.0
X1718A	R59A	-1.0	R60A	1.0
X2019A	R62A	-1.0	R61A	1.0
X2021A	R62A	-1.0	R63A	1.0
X2129A	R63A	-1.0	R69A	1.0
X1829A	R60A	-1.0	R69A	1.0
X2420A	R66A	-1.0	R62A	1.0
X2122A	R63A	-1.0	R64A	1.0
X2223A	R64A	-1.0	R65A	1.0
X2324A	R65A	-1.0	R66A	1.0
X2524A	R67A	-1.0	R66A	1.0
X2625A	R68A	-1.0	R67A	1.0
X2926A	R69A	-1.0	R68A	1.0
X2630A	R68A	-1.0	R70A	1.0
X3031A	R70A	-1.0	R71A	1.0
X2531A	R67A	-1.0	R71A	1.0
X3034A	R70A	-1.0	R73A	1.0
X3433A	R73A	-1.0	R72A	1.0
X3133A	R71A	-1.0	R72A	1.0
X3435A	R73A	-1.0	R74A	1.0
X3536A	R74A	-1.0	R75A	1.0

X3336A	R72A	-1.0	R75A	1.0
X3637A	R75A	-1.0	R76A	1.0
X3738A	R76A	-1.0	R77A	1.0
X3839A	R77A	-1.0	R78A	1.0
X3938A	R78A	-1.0	R77A	1.0
X3933A	R78A	-1.0	R72A	1.0
X4437A	R79A	-1.0	R76A	1.0
X4535A	R80A	-1.0	R74A	1.0
X4544A	R80A	-1.0	R79A	1.0
X5045A	R83A	-1.0	R80A	1.0
X5047A	R83A	-1.0	R81A	1.0
X4947A	R82A	-1.0	R81A	1.0
X4950A	R82A	-1.0	R83A	1.0
X5250A	R84A	-1.0	R83A	1.0
X5352A	R85A	-1.0	R84A	1.0
X5349A	R85A	-1.0	R82A	1.0
X1753A	R59A	-1.0	R85A	1.0
X1752A	R59A	-1.0	R84A	1.0
Y12A	R50A	1.0	R51A	-1.0
Y26A	R51A	1.0	R55A	-1.0
Y29A	R51A	1.0	R52A	-1.0
Y76A	R54A	1.0	R55A	-1.0
Y87A	R53A	1.0	R54A	-1.0
Y98A	R52A	1.0	R53A	-1.0
Y79A	R54A	1.0	R52A	-1.0
Y613A	R55A	1.0	R56A	-1.0
Y1314A	R56A	1.0	R57A	-1.0
Y1413A	R57A	1.0	R56A	-1.0
Y1415A	R57A	1.0	R58A	-1.0
Y1517A	R58A	1.0	R59A	-1.0
Y1519A	R58A	1.0	R61A	-1.0
Y1918A	R61A	1.0	R60A	-1.0
Y1718A	R59A	1.0	R60A	-1.0
Y2019A	R62A	1.0	R61A	-1.0
Y2021A	R62A	1.0	R63A	-1.0
Y2129A	R63A	1.0	R69A	-1.0
Y1829A	R60A	1.0	R69A	-1.0
Y2420A	R66A	1.0	R62A	-1.0
Y2122A	R63A	1.0	R64A	-1.0
Y2223A	R64A	1.0	R65A	-1.0
Y2324A	R65A	1.0	R66A	-1.0
Y2524A	R67A	1.0	R66A	-1.0
Y2625A	R68A	1.0	R67A	-1.0
Y2926A	R69A	1.0	R68A	-1.0
Y2630A	R68A	1.0	R70A	-1.0
Y3031A	R70A	1.0	R71A	-1.0
Y2531A	R67A	1.0	R71A	-1.0
Y3034A	R70A	1.0	R73A	-1.0
Y3433A	R73A	1.0	R72A	-1.0
Y3133A	R71A	1.0	R72A	-1.0
Y3435A	R73A	1.0	R74A	-1.0
Y3536A	R74A	1.0	R75A	-1.0
Y3336A	R72A	1.0	R75A	-1.0
Y3637A	R75A	1.0	R76A	-1.0
Y3738A	R76A	1.0	R77A	-1.0

Y3839A	R77A	1.0	R78A	-1.0
Y3938A	R78A	1.0	R77A	-1.0
Y3933A	R78A	1.0	R72A	-1.0
Y4437A	R79A	1.0	R76A	-1.0
Y4535A	R80A	1.0	R74A	-1.0
Y4544A	R80A	1.0	R79A	-1.0
Y5045A	R83A	1.0	R80A	-1.0
Y5047A	R83A	1.0	R81A	-1.0
Y4947A	R82A	1.0	R81A	-1.0
Y4950A	R82A	1.0	R83A	-1.0
Y5250A	R84A	1.0	R83A	-1.0
Y5352A	R85A	1.0	R84A	-1.0
Y5349A	R85A	1.0	R82A	-1.0
Y1753A	R59A	1.0	R85A	-1.0
Y1752A	R59A	1.0	R84A	-1.0
X12B	R50B	-1.0	R51B	1.0
X26B	R51B	-1.0	R55B	1.0
X29B	R51B	-1.0	R52B	1.0
X76B	R54B	-1.0	R55B	1.0
X87B	R53B	-1.0	R54B	1.0
X98B	R52B	-1.0	R53B	1.0
X79B	R54B	-1.0	R52B	1.0
X613B	R55B	-1.0	R56B	1.0
X1314B	R56B	-1.0	R57B	1.0
X1413B	R57B	-1.0	R56B	1.0
X1415B	R57B	-1.0	R58B	1.0
X1517B	R58B	-1.0	R59B	1.0
X1519B	R58B	-1.0	R61B	1.0
X1918B	R61B	-1.0	R60B	1.0
X1718B	R59B	-1.0	R60B	1.0
X2019B	R62B	-1.0	R61B	1.0
X2021B	R62B	-1.0	R63B	1.0
X2129B	R63B	-1.0	R69B	1.0
X1829B	R60B	-1.0	R69B	1.0
X2420B	R66B	-1.0	R62B	1.0
X2122B	R63B	-1.0	R64B	1.0
X2223B	R64B	-1.0	R65B	1.0
X2324B	R65B	-1.0	R66B	1.0
X2524B	R67B	-1.0	R66B	1.0
X2625B	R68B	-1.0	R67B	1.0
X2926B	R69B	-1.0	R68B	1.0
X2630B	R68B	-1.0	R70B	1.0
X3031B	R70B	-1.0	R71B	1.0
X2531B	R67B	-1.0	R71B	1.0
X3034B	R70B	-1.0	R73B	1.0
X3433B	R73B	-1.0	R72B	1.0
X3133B	R71B	-1.0	R72B	1.0
X3435B	R73B	-1.0	R74B	1.0
X3536B	R74B	-1.0	R75B	1.0
X3336B	R72B	-1.0	R75B	1.0
X3637B	R75B	-1.0	R76B	1.0
X3738B	R76B	-1.0	R77B	1.0
X3839B	R77B	-1.0	R78B	1.0
X3938B	R78B	-1.0	R77B	1.0
X3933B	R78B	-1.0	R72B	1.0

Íd. para los períodos restantes

Y12D	R50D	1.0	R51D	-1.0
Y26D	R51D	1.0	R55D	-1.0
Y29D	R51D	1.0	R52D	-1.0
Y76D	R54D	1.0	R55D	-1.0
Y87D	R53D	1.0	R54D	-1.0
Y98D	R52D	1.0	R53D	-1.0
Y79D	R54D	1.0	R52D	-1.0
Y613D	R55D	1.0	R56D	-1.0
Y1314D	R56D	1.0	R57D	-1.0
Y1413D	R57D	1.0	R56D	-1.0
Y1415D	R57D	1.0	R58D	-1.0
Y1517D	R58D	1.0	R59D	-1.0
Y1519D	R58D	1.0	R61D	-1.0
Y1918D	R61D	1.0	R60D	-1.0
Y1718D	R59D	1.0	R60D	-1.0
Y2019D	R62D	1.0	R61D	-1.0
Y2021D	R62D	1.0	R63D	-1.0
Y2129D	R63D	1.0	R69D	-1.0
Y1829D	R60D	1.0	R69D	-1.0
Y2420D	R66D	1.0	R62D	-1.0
Y2122D	R63D	1.0	R64D	-1.0
Y2223D	R64D	1.0	R65D	-1.0
Y2324D	R65D	1.0	R66D	-1.0
Y2524D	R67D	1.0	R66D	-1.0
Y2625D	R68D	1.0	R67D	-1.0
Y2926D	R69D	1.0	R68D	-1.0
Y2630D	R68D	1.0	R70D	-1.0
Y3031D	R70D	1.0	R71D	-1.0
Y2531D	R67D	1.0	R71D	-1.0
Y3034D	R70D	1.0	R73D	-1.0
Y3433D	R73D	1.0	R72D	-1.0
Y3133D	R71D	1.0	R72D	-1.0
Y3435D	R73D	1.0	R74D	-1.0
Y3536D	R74D	1.0	R75D	-1.0
Y3336D	R72D	1.0	R75D	-1.0
Y3637D	R75D	1.0	R76D	-1.0
Y3738D	R76D	1.0	R77D	-1.0
Y3839D	R77D	1.0	R78D	-1.0
Y3938D	R78D	1.0	R77D	-1.0
Y3933D	R78D	1.0	R72D	-1.0
Y4437D	R79D	1.0	R76D	-1.0
Y4535D	R80D	1.0	R74D	-1.0
Y4544D	R80D	1.0	R79D	-1.0
Y5045D	R83D	1.0	R80D	-1.0
Y5047D	R83D	1.0	R81D	-1.0
Y4947D	R82D	1.0	R81D	-1.0
Y4950D	R82D	1.0	R83D	-1.0
Y5250D	R84D	1.0	R83D	-1.0
Y5352D	R85D	1.0	R84D	-1.0
Y5349D	R85D	1.0	R82D	-1.0
Y1753D	R59D	1.0	R85D	-1.0
Y1752D	R59D	1.0	R84D	-1.0
Q21A	R51A	-1.0	R86A	1.0
Q21A	R87A	1.0	R88A	1.0
Q21A	R89A	1.0	R95A	1.0

Q21A	R96A	1.0	R98A	1.0
Q21A	R109A	1.0		
Q21A	R206	-0.25		
Q221A	R52A	-1.0		
Q221A	R207	-0.25		
Q1A	R56A	-1.0	R109A	1.0
Q1A	R89A	1.0	R88A	1.0
Q1A	R98A	1.0	R96A	1.0
Q1A	R87A	1.0	R95A	1.0
Q1A	R208	-0.25		
Q3A	R58A	-1.0	R96A	1.0
Q3A	R95A	1.0	R89A	1.0
Q3A	R109A	1.0	R98A	1.0
Q3A	R88A	1.0	R209	-0.25
Q2A	R62A	-1.0	R98A	1.0
Q2A	R93A	0.5	R89A	0.5
Q2A	R96A	0.9	R95A	0.9
Q2A	R88A	0.5	R109A	1.0
Q2A	R94A	0.1	R210	-0.25
Q202A	R66A	-1.0		
Q202A	R211	-0.25		
Q17A	R70A	-1.0	R108A	0.9
Q17A	R98A	0.1	R97A	0.9
Q17A	R107A	0.9	R106A	0.9
Q17A	R96A	0.1	R109A	1.0
Q17A	R101A	0.9		
Q17A	R212	-0.25		
Q5A	R60A	-1.0	R106A	0.8
Q5A	R91A	0.8	R107A	0.8
Q5A	R96A	0.15	R90A	0.1
Q5A	R104A	0.05	R95A	0.05
Q5A	R89A	0.05	R101A	0.8
Q5A	R92A	0.05	R108A	0.85
Q5A	R98A	0.15	R109A	1.0
Q5A	R213	-0.25		
Q6A	R59A	-1.0	R108A	1.0
Q6A	R104A	1.0	R103A	1.0
Q6A	R102A	1.0	R109A	1.0
Q6A	R214	-0.25		
Q8A	R84A	-1.0	R103A	1.0
Q8A	R104A	1.0	R109A	1.0
Q8A	R108A	1.0		
Q8A	R215	-0.25		
Q9A	R79A	-0.667	R104A	0.95
Q9A	R105A	0.05	R108A	1.0
Q9A	R81A	-0.333	R109A	1.0
Q9A	R107A	0.05		
Q9A	R216	-0.25		
Q14A	R72A	-1.0	R99A	0.9
Q14A	R106A	0.9	R108A	0.9
Q14A	R98A	0.1	R109A	1.0
Q14A	R107A	0.9		
Q14A	R217	-0.25		
Q15A	R73A	-1.0	R108A	1.0
Q15A	R107A	1.0	R106A	1.0

Q15A	R101A	1.0	R109A	1.0
Q15A	R218	-0.25		
Q18A	R78A	-1.0	R98A	1.0
Q18A	R109A	1.0	R100A	1.0
Q18A	R219	-0.25		
Q21B	R51B	-1.0	R86B	1.0
Q21B	R87B	1.0	R88B	1.0
Q21B	R89B	1.0	R95B	1.0
Q21B	R96B	1.0	R98B	1.0
Q21B	R109B	1.0		
Q21B	R206	-0.3333		
Q221B	R52B	-1.0		
Q221B	R207	-0.3333		
Q1B	R56B	-1.0	R109B	1.0
Q1B	R89B	1.0	R88B	1.0
Q1B	R98B	1.0	R96B	1.0
Q1B	R87B	1.0	R95B	1.0
Q1B	R208	-0.3333		
Q3B	R58B	-1.0	R96B	1.0
Q3B	R95B	1.0	R89B	1.0
Q3B	R109B	1.0	R98B	1.0
Q3B	R88B	1.0		
Q3B	R209	-0.3333		
Q2B	R62B	-1.0	R98B	1.0
Q2B	R93B	0.5	R89B	0.5
Q2B	R96B	0.9	R95B	0.9
Q2B	R88B	0.5	R109B	1.0
Q2B	R94B	0.1		
Q2B	R210	-0.3333		
Q202B	R66B	-1.0		
Q202B	R211	-0.3333		
Q17B	R70B	-1.0	R108B	0.9
Q17B	R98B	0.1	R97B	0.9
Q17B	R107B	0.9	R106B	0.9
Q17B	R96B	0.1	R109B	1.0
Q17B	R101B	0.9		
Q17B	R212	-0.3333		
Q5B	R60B	-1.0	R106B	0.8
Q5B	R91B	0.8	R107B	0.8
Q5B	R96B	0.15	R90B	0.1
Q5B	R104B	0.05	R95B	0.05
Q5B	R89B	0.05	R101B	0.8
Q5B	R92B	0.05	R108B	0.85
Q5B	R98B	0.15	R109B	1.0
Q5B	R213	-0.3333		
Q6B	R59B	-1.0	R108B	1.0
Q6B	R104B	1.0	R103B	1.0
Q6B	R102B	1.0	R109B	1.0
Q6B	R214	-0.3333		
Q8B	R84B	-1.0	R103B	1.0
Q8B	R104B	1.0	R109B	1.0
Q8B	R108B	1.0		
Q8B	R215	-0.3333		
Q9B	R79B	-0.667	R104B	0.95
Q9B	R105B	0.05	R108B	1.0

Q9B	R81B	-0.333	R109B	1.0
Q9B	R107B	0.05		
Q9B	R216	-0.3333		
Q14B	R72B	-1.0	R99B	0.9
Q14B	R106B	0.9	R108B	0.9
Q14B	R98B	0.1	R109B	1.0
Q14B	R107B	0.9		
Q14B	R217	-0.3333		
Q15B	R73B	-1.0	R108B	1.0
Q15B	R107B	1.0	R106B	1.0
Q15B	R101B	1.0	R109B	1.0
Q15B	R218	-0.3333		
Q18B	R78B	-1.0	R98B	1.0
Q18B	R109B	1.0	R100B	1.0
Q18B	R219	-0.3333		
Q21C	R51C	-1.0	R86C	1.0
Q21C	R87C	1.0	R88C	1.0
Q21C	R89C	1.0	R95C	1.0
Q21C	R96C	1.0	R98C	1.0
Q21C	R109C	1.0		
Q21C	R206	-0.1667		
Q221C	R52C	-1.0		
Q221C	R207	-0.1667		
Q1C	R56C	-1.0	R109C	1.0
Q1C	R89C	1.0	R88C	1.0
Q1C	R98C	1.0	R96C	1.0
Q1C	R87C	1.0	R95C	1.0
Q1C	R208	-0.1667		
Q3C	R58C	-1.0	R96C	1.0
Q3C	R95C	1.0	R89C	1.0
Q3C	R109C	1.0	R98C	1.0
Q3C	R88C	1.0		
Q3C	R209	-0.1667		
Q2C	R62C	-1.0	R98C	1.0
Q2C	R93C	0.5	R89C	0.5
Q2C	R96C	0.9	R95C	0.9
Q2C	R88C	0.5	R109C	1.0
Q2C	R94C	0.1		
Q2C	R210	-0.1667		
Q202C	R66C	-1.0		
Q202C	R211	-0.1667		
Q17C	R70C	-1.0	R108C	0.9
Q17C	R98C	0.1	R97C	0.9
Q17C	R107C	0.9	R106C	0.9
Q17C	R96C	0.1	R109C	1.0
Q17C	R101C	0.9		
Q17C	R212	-0.1667		
Q5C	R60C	-1.0	R106C	0.8
Q5C	R91C	0.8	R107C	0.8
Q5C	R96C	0.15	R90C	0.1
Q5C	R104C	0.05	R95C	0.05
Q5C	R89C	0.05	R101C	0.8
Q5C	R92C	0.05	R108C	0.85
Q5C	R98C	0.15	R109C	1.0
Q5C	R213	-0.1667		

Q6C	R59C	-1.0	R108C	1.0
Q6C	R104C	1.0	R103C	1.0
Q6C	R102C	1.0	R109C	1.0
Q6C	R214	-0.1667		
Q8C	R84C	-1.0	R103C	1.0
Q8C	R104C	1.0	R109C	1.0
Q8C	R108C	1.0		
Q8C	R215	-0.1667		
Q9C	R79C	-0.667	R104C	0.95
Q9C	R105C	0.05	R108C	1.0
Q9C	R81C	-0.333	R109C	1.0
Q9C	R107C	0.05		
Q9C	R216	-0.1667		
Q14C	R72C	-1.0	R99C	0.9
Q14C	R106C	0.9	R108C	0.9
Q14C	R98C	0.1	R109C	1.0
Q14C	R107C	0.9		
Q14C	R217	-0.1667		
Q15C	R73C	-1.0	R108C	1.0
Q15C	R107C	1.0	R106C	1.0
Q15C	R101C	1.0	R109C	1.0
Q15C	R218	-0.1667		
Q18C	R78C	-1.0	R98C	1.0
Q18C	R109C	1.0	R100C	1.0
Q18C	R219	-0.1667		
Q21D	R51D	-1.0	R86D	1.0
Q21D	R87D	1.0	R88D	1.0
Q21D	R89D	1.0	R95D	1.0
Q21D	R96D	1.0	R98D	1.0
Q21D	R109D	1.0		
Q21D	R206	-0.25		
Q221D	R52D	-1.0		
Q221D	R207	-0.25		
Q1D	R56D	-1.0	R109D	1.0
Q1D	R89D	1.0	R88D	1.0
Q1D	R98D	1.0	R96D	1.0
Q1D	R87D	1.0	R95D	1.0
Q1D	R208	-0.25		
Q3D	R58D	-1.0	R96D	1.0
Q3D	R95D	1.0	R89D	1.0
Q3D	R109D	1.0	R98D	1.0
Q3D	R88D	1.0		
Q3D	R209	-0.25		
Q2D	R62D	-1.0	R98D	1.0
Q2D	R93D	0.5	R89D	0.5
Q2D	R96D	0.9	R95D	0.9
Q2D	R88D	0.5	R109D	1.0
Q2D	R94D	0.1		
Q2D	R210	-0.25		
Q202D	R66D	-1.0		
Q202D	R211	-0.25		
Q17D	R70D	-1.0	R108D	0.9
Q17D	R98D	0.1	R97D	0.9
Q17D	R107D	0.9	R106D	0.9
Q17D	R96D	0.1	R109D	1.0

Q17D	R101D	0.9		
Q17D	R212	-0.25		
Q5D	R60D	-1.0	R106D	0.8
Q5D	R91D	0.8	R107D	0.8
Q5D	R96D	0.15	R90D	0.1
Q5D	R104D	0.05	R95D	0.05
Q5D	R89D	0.05	R101D	0.8
Q5D	R92D	0.05	R108D	0.85
Q5D	R98D	0.15	R109D	1.0
Q5D	R213	-0.25		
Q6D	R59D	-1.0	R108D	1.0
Q6D	R104D	1.0	R103D	1.0
Q6D	R102D	1.0	R109D	1.0
Q6D	R214	-0.25		
Q8D	R84D	-1.0	R103D	1.0
Q8D	R104D	1.0	R109D	1.0
Q8D	R108D	1.0		
Q8D	R215	-0.25		
Q9D	R79D	-0.667	R104D	0.95
Q9D	R105D	0.05	R108D	1.0
Q9D	R81D	-0.333	R109D	1.0
Q9D	R107D	0.05		
Q9D	R216	-0.25		
Q14D	R72D	-1.0	R99D	0.9
Q14D	R106D	0.9	R108D	0.9
Q14D	R98D	0.1	R109D	1.0
Q14D	R107D	0.9		
Q14D	R217	-0.25		
Q15D	R73D	-1.0	R108D	1.0
Q15D	R107D	1.0	R106D	1.0
Q15D	R101D	1.0	R109D	1.0
Q15D	R218	-0.25		
Q18D	R78D	-1.0	R98D	1.0
Q18D	R109D	1.0	R100D	1.0
Q18D	R219	-0.25		
QLCRA	R50A	1.0	R110A	1.0
QALFA	R53A	1.0	R111A	1.0
QCOVA	R56A	1.0	R112A	1.0
QPARA	R64A	1.0	R113A	1.0
QLCRB	R50B	1.0	R110B	1.0
QALFB	R53B	1.0	R111B	1.0
QCOVB	R56B	1.0	R112B	1.0
QPARB	R64B	1.0	R113B	1.0
QLCRC	R50C	1.0	R110C	1.0
QALFC	R53C	1.0	R111C	1.0
QCOVC	R56C	1.0	R112C	1.0
QPARC	R64C	1.0	R113C	1.0
QLCRD	R50D	1.0	R110D	1.0
QALFD	R53D	1.0	R111D	1.0
QCOVD	R56D	1.0	R112D	1.0
QPARD	R64D	1.0	R113D	1.0
Q21	R206	1.0		
Q221	R207	1.0		
Q1	R208	1.0		
Q3	R209	1.0		

```
    Q2          R210          1.0
    Q202        R211          1.0
    Q17         R212          1.0
    Q5          R213          1.0
    Q6          R214          1.0
    Q8          R215          1.0
    Q9          R216          1.0
    Q14         R217          1.0
    Q15         R218          1.0
    Q18         R219          1.0
    QLCR
    QALF
    QCOV
    QPAR
RHS
    RHS         R1            0.01
    RHS         R2            0.01
    RHS         R3            0.01
    RHS         R4            0.01
    RHS         R5            0.01
    RHS         R6            0.01
    RHS         R7            0.01
    RHS         R8            0.01
    RHS         R9            0.01
    RHS         R10           0.01
    RHS         R11           0.01
    RHS         R12           0.01
    RHS         R13           0.01
    RHS         R14           0.01
    RHS         R15           0.01
    RHS         R16           0.01
    RHS         R17           0.01
    RHS         R18          70.0
    RHS         R19          70.0
    RHS         R20          70.0
    RHS         R21          70.0
    RHS         R22          70.0
    RHS         R23          70.0
    RHS         R24          70.0
    RHS         R25          70.0
    RHS         R26          70.0
    RHS         R27          70.0
    RHS         R28          70.0
    RHS         R29          70.0
    RHS         R30          70.0
    RHS         R31          70.0
    RHS         R32          70.0
    RHS         R34           0.01
    RHS         R35           0.01
    RHS         R36           0.01
    RHS         R37           0.01
    RHS         R38           0.01
    RHS         R39           0.01
    RHS         R40           0.01
    RHS         R41           0.01
```

RHS	R42	0.01
RHS	R43	0.01
RHS	R44	0.01
RHS	R45	0.01
RHS	R46	0.01
RHS	R47	0.01
RHS	R48	0.01
RHS	R49	0.01
RHS	R50	0.01
RHS	R51	70.0
RHS	R52	70.0
RHS	R53	70.0
RHS	R54	70.0
RHS	R55	70.0
RHS	R56	70.0
RHS	R57	70.0
RHS	R58	70.0
RHS	R59	70.0
RHS	R60	70.0
RHS	R61	70.0
RHS	R62	70.0
RHS	R63	70.0
RHS	R64	70.0
RHS	R65	70.0
RHS	R67	0.01
RHS	R68	0.01
RHS	R69	0.01
RHS	R70	0.01
RHS	R71	0.01
RHS	R72	0.01
RHS	R73	0.01
RHS	R74	0.01
RHS	R75	0.01
RHS	R76	0.01
RHS	R77	0.01
RHS	R78	0.01
RHS	R79	0.01
RHS	R80	0.01
RHS	R81	0.01
RHS	R82	0.01
RHS	R83	0.01
RHS	R84	70.0
RHS	R85	70.0
RHS	R86	70.0
RHS	R87	70.0
RHS	R88	70.0
RHS	R89	70.0
RHS	R90	70.0
RHS	R91	70.0
RHS	R92	70.0
RHS	R93	70.0
RHS	R94	70.0
RHS	R95	70.0
RHS	R96	70.0
RHS	R97	70.0

RHS	R98	70.0
RHS	R100	0.01
RHS	R101	0.01
RHS	R102	0.01
RHS	R103	0.01
RHS	R104	0.01
RHS	R105	0.01
RHS	R106	0.01
RHS	R107	0.01
RHS	R108	0.01
RHS	R109	0.01
RHS	R110	0.01
RHS	R111	0.01
RHS	R112	0.01
RHS	R113	0.01
RHS	R114	0.01
RHS	R115	0.01
RHS	R116	0.01
RHS	R117	70.0
RHS	R118	70.0
RHS	R119	70.0
RHS	R120	70.0
RHS	R121	70.0
RHS	R122	70.0
RHS	R123	70.0
RHS	R124	70.0
RHS	R125	70.0
RHS	R126	70.0
RHS	R127	70.0
RHS	R128	70.0
RHS	R129	70.0
RHS	R130	70.0
RHS	R131	70.0
RHS	R86A	181.7
RHS	R87A	183.9
RHS	R88A	786.4
RHS	R89A	259.9
RHS	R90A	17.2
RHS	R91A	128.5
RHS	R92A	84.9
RHS	R93A	94.1
RHS	R94A	42.3
RHS	R95A	391.8
RHS	R96A	460.9
RHS	R97A	38.7
RHS	R98A	426.1
RHS	R99A	222.1
RHS	R100A	17.9
RHS	R101A	166.7
RHS	R102A	26.3
RHS	R103A	169.6
RHS	R104A	245.5
RHS	R105A	24.1
RHS	R106A	268.7
RHS	R107A	284.3

RHS	R108A	459.7
RHS	R109A	513.2
RHS	R110A	53.0
RHS	R111A	20.0
RHS	R112A	17.0
RHS	R113A	77.0
RHS	R86B	181.7
RHS	R87B	183.9
RHS	R88B	786.4
RHS	R89B	259.9
RHS	R90B	17.2
RHS	R91B	128.5
RHS	R92B	84.9
RHS	R93B	94.1
RHS	R94B	42.3
RHS	R95B	391.8
RHS	R96B	460.9
RHS	R97B	38.7
RHS	R98B	426.1
RHS	R99B	222.1
RHS	R100B	17.9
RHS	R101B	166.7
RHS	R102B	26.3
RHS	R103B	169.6
RHS	R104B	245.5
RHS	R105B	24.1
RHS	R106B	268.7
RHS	R107B	284.3
RHS	R108B	459.7
RHS	R109B	513.2
RHS	R110B	53.0
RHS	R111B	20.0
RHS	R112B	17.0
RHS	R113B	77.0
RHS	R86C	181.7
RHS	R87C	183.9
RHS	R88C	786.4
RHS	R89C	259.9
RHS	R90C	17.2
RHS	R91C	128.5
RHS	R92C	84.9
RHS	R93C	94.1
RHS	R94C	42.3
RHS	R95C	391.8
RHS	R96C	460.9
RHS	R97C	38.7
RHS	R98C	426.1
RHS	R99C	222.1
RHS	R100C	17.9
RHS	R101C	166.7
RHS	R102C	26.3
RHS	R103C	169.6
RHS	R104C	245.5
RHS	R105C	24.1
RHS	R106C	268.7

RHS	R107C	284.3
RHS	R108C	459.7
RHS	R109C	513.2
RHS	R110C	53.0
RHS	R111C	20.0
RHS	R112C	17.0
RHS	R113C	77.0
RHS	R86D	181.7
RHS	R87D	183.9
RHS	R88D	786.4
RHS	R89D	259.9
RHS	R90D	17.2
RHS	R91D	128.5
RHS	R92D	84.9
RHS	R93D	94.1
RHS	R94D	42.3
RHS	R95D	391.8
RHS	R96D	460.9
RHS	R97D	38.7
RHS	R98D	426.1
RHS	R99D	222.1
RHS	R100D	17.9
RHS	R101D	166.7
RHS	R102D	26.3
RHS	R103D	169.6
RHS	R104D	245.5
RHS	R105D	24.1
RHS	R106D	268.7
RHS	R107D	284.3
RHS	R108D	459.7
RHS	R109D	513.2
RHS	R110D	53.0
RHS	R111D	20.0
RHS	R112D	17.0
RHS	R113D	77.0

RANGES

RANGE	R1	0.02
RANGE	R2	0.02
RANGE	R3	0.02
RANGE	R4	0.02
RANGE	R5	0.02
RANGE	R6	0.02
RANGE	R7	0.02
RANGE	R8	0.02
RANGE	R9	0.02
RANGE	R10	0.02
RANGE	R11	0.02
RANGE	R12	0.02
RANGE	R13	0.02
RANGE	R14	0.02
RANGE	R15	0.02
RANGE	R16	0.02
RANGE	R17	0.02
RANGE	R18	58.0
RANGE	R19	58.0

RANGE	R20	58.0
RANGE	R21	58.0
RANGE	R22	58.0
RANGE	R23	58.0
RANGE	R24	58.0
RANGE	R25	58.0
RANGE	R26	58.0
RANGE	R27	58.0
RANGE	R28	58.0
RANGE	R29	58.0
RANGE	R30	58.0
RANGE	R31	58.0
RANGE	R32	58.0
RANGE	R34	0.02
RANGE	R35	0.02
RANGE	R36	0.02
RANGE	R37	0.02
RANGE	R38	0.02
RANGE	R39	0.02
RANGE	R40	0.02
RANGE	R41	0.02
RANGE	R42	0.02
RANGE	R43	0.02
RANGE	R44	0.02
RANGE	R45	0.02
RANGE	R46	0.02
RANGE	R47	0.02
RANGE	R48	0.02
RANGE	R49	0.02
RANGE	R50	0.02
RANGE	R51	58.0
RANGE	R52	58.0
RANGE	R53	58.0
RANGE	R54	58.0
RANGE	R55	58.0
RANGE	R56	58.0
RANGE	R57	58.0
RANGE	R58	58.0
RANGE	R59	58.0
RANGE	R60	58.0
RANGE	R61	58.0
RANGE	R62	58.0
RANGE	R63	58.0
RANGE	R64	58.0
RANGE	R65	58.0
RANGE	R67	0.02
RANGE	R68	0.02
RANGE	R69	0.02
RANGE	R70	0.02
RANGE	R71	0.02
RANGE	R72	0.02
RANGE	R73	0.02
RANGE	R74	0.02
RANGE	R75	0.02
RANGE	R76	0.02

```
    RANGE      R77          0.02
    RANGE      R78          0.02
    RANGE      R79          0.02
    RANGE      R80          0.02
    RANGE      R81          0.02
    RANGE      R82          0.02
    RANGE      R83          0.02
    RANGE      R84            58.0
    RANGE      R85            58.0
    RANGE      R86            58.0
    RANGE      R87            58.0
    RANGE      R88            58.0
    RANGE      R89            58.0
    RANGE      R90            58.0
    RANGE      R91            58.0
    RANGE      R92            58.0
    RANGE      R93            58.0
    RANGE      R94            58.0
    RANGE      R95            58.0
    RANGE      R96            58.0
    RANGE      R97            58.0
    RANGE      R98            58.0
    RANGE      R100         0.02
    RANGE      R101         0.02
    RANGE      R102         0.02
    RANGE      R103         0.02
    RANGE      R104         0.02
    RANGE      R105         0.02
    RANGE      R106         0.02
    RANGE      R107         0.02
    RANGE      R108         0.02
    RANGE      R109         0.02
    RANGE      R110         0.02
    RANGE      R111         0.02
    RANGE      R112         0.02
    RANGE      R113         0.02
    RANGE      R114         0.02
    RANGE      R115         0.02
    RANGE      R116         0.02
    RANGE      R117           58.0
    RANGE      R118           58.0
    RANGE      R119           58.0
    RANGE      R120           58.0
    RANGE      R121           58.0
    RANGE      R122           58.0
    RANGE      R123           58.0
    RANGE      R124           58.0
    RANGE      R125           58.0
    RANGE      R126           58.0
    RANGE      R127           58.0
    RANGE      R128           58.0
    RANGE      R129           58.0
    RANGE      R130           58.0
    RANGE      R131           58.0
BOUNDS
```

ARCHIVO SPECS

```
EGIN    QUILLOTA
  MINIMIZE
  PROBLEM NUMBER                  1
  OBJECTIVE =                FUNOBJ
  NONLINEAR CONSTRAINTS        188
  NONLINEAR JACOBIAN VARS      472
  NONLINEAR OBJECTIV VARS      506
  SUPERBASICS LIMIT            507
  COLUMNS                     1500
  ROWS                         800
  ELEMENTS                    95000
  VERIFY LEVEL                   -1
  LAGRANGIAN                     NO
  DERIVATIVE LEVEL                3
  MPS FILE                        4
  PRINT LEVEL                     1
  PENALTY PARAMETER          2.0E-00
  SUMMARY FILE                    9
  LOWER BOUND                   0.0
  SUMMARY FREQUENCY               1
  SAVE FREQUENCY                 15
  ITERATIONS LIMIT           400000
  MAJOR ITERATIONS              200
  MINOR ITERATIONS             9500
  MAJOR DAMPING PARAMETER      10.0
  MINOR DAMPING PARAMETER      10.0
  NEW BASIS FILE                 10
  OLD BASIS FILE                 11
  BACKUP BASIS FILE              12
  DIFFERENCE INTERVAL          0.01
  CENTRAL DIFFCE INTERVAL      0.01
ND QUILLOTA
```

ARCHIVO QUILLOTA SALIDA 1

1

M I N O S --- VERSION 5.1 JUN 1987

```
*********************************************
*   PARAMETROS PARA LA EJECUCION DEL PROGRAMA   *
*********************************************
```

1

PARAMETERS

MPS INPUT DATA.					
ROW LIMIT.....	800	LIST LIMIT.....	0	LOWER BOUND DEFAULT....	0.00E+00
COLUMN LIMIT.....	1500	ERROR MESSAGE LIMIT....	10	UPPER BOUND DEFAULT....	1.00E+20
ELEMENTS LIMIT	95000	PHANTOM ELEMENTS.....	0	AIJ TOLERANCE.....	1.00E-10
FILES.					
MPS FILE	4	OLD BASIS FILE	11	(CARD READER).....	5
SOLUTION FILE.....	0	NEW BASIS FILE	10	(PRINTER).....	6
INSERT FILE.....	0	BACKUP BASIS FILE.....	12	(SCRATCH FILE).....	8
PUNCH FILE.....	0	LOAD FILE.....	0	DUMP FILE.....	0
FREQUENCIES.					
LOG FREQUENCY.....	1	CHECK ROW ERROR.....	30	SAVE NEW BASIS MAP.....	15
SUMMARY FREQUENCY.....	1	FACTORIZE BASIS.....	50	CYCLE LIMIT.....	1
LP PARAMETERS.					
SCALE TOLERANCE.....	0.900	FEASIBILITY TOLERANCE..	1.00E-06	ITERATION LIMIT.....	400000
SCALE OPTION.....	0	OPTIMALITY TOLERANCE...	1.00E-06	PARTIAL PRICE.....	1
CRASH TOLERANCE.....	0.100	PIVOT TOLERANCE.....	3.25E-11	MULTIPLE PRICE.....	1
CRASH OPTION.....	1	WEIGHT ON OBJECTIVE....	0.00E+00		
NONLINEAR PROBLEMS.					
NONLINEAR CONSTRAINTS..	188	HESSIAN DIMENSION.....	507	FUNCTION PRECISION.....	3.00E-13
NONLINEAR JACOBIAN VARS	472	SUPERBASICS LIMIT.....	507	DIFFERENCE INTERVAL....	5.48E-07
NONLINEAR OBJECTIV VARS	506	TRUNCATED CG METHOD....	1	CENTRAL DIFFCE INTERVAL	6.69E-05
PROBLEM NUMBER.....	1	LINESEARCH TOLERANCE...	0.10000	DERIVATIVE LEVEL.....	3
UNBOUNDED OBJECTV VALUE	1.00E+20	SUBSPACE TOLERANCE.....	0.50000	VERIFY LEVEL.....	-1
UNBOUNDED STEP SIZE....	1.00E+10				
AUGMENTED LAGRANGIAN.					
JACOBIAN.....	DENSE	MAJOR ITERATIONS LIMIT.	200	RADIUS OF CONVERGENCE..	1.00E-02
LAGRANGIAN.....	NO	MINOR ITERATIONS LIMIT.	9500	ROW TOLERANCE.....	1.00E-06
PENALTY PARAMETER.....	2.00E+00	COMPLETION.....	PART	PRINT LEVEL..(JFLXB)...	1
MAJOR DAMPING PARAMETER	2.00E+00	MINOR DAMPING PARAMETER	2.00E+00		
MISCELLANEOUS.					
LU FACTOR TOLERANCE....	10.00	WORKSPACE (USER).....	0	DEBUG LEVEL.....	0
LU UPDATE TOLERANCE....	10.00	WORKSPACE (TOTAL).....	700000	LINESEARCH DEBUG AFTER.	999999
EPS (MACHINE PRECISION)	2.22E-16	NWORDR, NWORDI, NWORDH.	2 2 4		

REASONABLE WORKSPACE LIMITS ARE 0 ... 679315
ACTUAL WORKSPACE LIMITS ARE 0 ... 700000 ... 700000 WORDS OF Z.

```
*********************************
*   IMPRESION DE LA SOLUCION    *
*********************************
```

1
EXIT -- OPTIMAL SOLUTION FOUND

NEW BASIS FILE SAVED ON FILE 10 ITN = 15

NO. OF ITERATIONS	15	OBJECTIVE VALUE	3.8251679494E+00
NO. OF MAJOR ITERATIONS	4	LINEAR OBJECTIVE	0.0000000000E+00
PENALTY PARAMETER	0.000000	NONLINEAR OBJECTIVE	3.8251679494E+00
NO. OF CALLS TO FUNOBJ	40	NO. OF CALLS TO FUNCON	4
NO. OF SUPERBASICS	20	NORM OF REDUCED GRADIENT	3.316E-08
NO. OF BASIC NONLINEARS	288	NORM RG / NORM PI	3.316E-08
NORM OF X	3.791E+02	NORM OF PI	1.000E+00
CONSTRAINT VIOLATION	6.347E-10	NORMALIZED	1.670E-12

1

NAME	QUILLOLS	OBJECTIVE VALUE	3.8251679494E+00		
STATUS	OPTIMAL SOLN	ITERATION	15	SUPERBASICS	20
OBJECTIVE	FUNOBJ (MIN)				
RHS	RHS				
RANGES	RANGE				
BOUNDS					

```
*********************
*   RESTRICCIONES   *
*********************
```

SECTION 1 - ROWS

NUMBER	...ROW..	STATE	...ACTIVITY...	SLACK ACTIVITY	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	.DUAL ACTIVITY	..I
507	R1	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	1
508	R2	A LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	2
509	R3	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	3
510	R4	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	4
511	R5	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	5
512	R6	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	6
513	R7	A UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	7

514	R8	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	8
515	R9	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	9
516	R10	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	10
517	R11	A	UL	0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	11
518	R12	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	12
519	R13	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	13
520	R14		BS	0.00166	0.00834	-0.01000	0.01000	0.00000	14
521	R15		SBS	0.00015	0.00985	-0.01000	0.01000	0.00000	15
522	R16	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	16
523	R17	A	LL	-0.01000	0.00000	-0.01000	0.01000	0.00000	17
524	R18		BS	25.58416	-13.58416	12.00000	70.00000	0.00000	18
525	R19		BS	27.46557	-15.46557	12.00000	70.00000	0.00000	19
526	R20		BS	52.84145	17.15855	12.00000	70.00000	0.00000	20
527	R21		BS	55.64759	14.35241	12.00000	70.00000	0.00000	21
*									
*									
*									
695	R50A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	189
696	R51A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	190
697	R52A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	191
698	R53A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	192
699	R54A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	193
700	R55A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	194
701	R56A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	195
702	R57A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	196
703	R58A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	197
704	R59A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	198
705	R60A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	199
706	R61A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	200
707	R62A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	201
708	R63A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	202
709	R64A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	203
710	R65A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	204
711	R66A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	205
712	R67A		EQ	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.01706	206

```
*******************
*    VARIABLES    *
*******************
```

1
SECTION 2 - COLUMNS

NUMBER	.COLUMN.	STATE		...ACTIVITY..	OBJ GRADIENT.	..LOWER LIMIT.	..UPPER LIMIT.	REDUCED GRADNT	M+J
1	X12A		BS	53.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	459
2	X26A		BS	0.75237	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	460
3	X29A		BS	35.20077	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	461
4	X76A		BS	49.13300	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	462
5	X87A		BS	48.35550	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	463
6	X98A		BS	28.35550	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	464
7	X79A	A	LL	0.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	465
8	X613A		BS	49.88537	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	466

9	X1314A	BS	56.57245	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	467
10	X1413A	A LL	0.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	468
11	X1415A	BS	58.83579	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	469
12	X1517A	BS	3.06118	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	470
13	X1519A	BS	49.76184	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	471
*								
*								
*								
483	QCOVC	BS	17.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	941
484	QPARC	BS	36.85179	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	942
485	QLCRD	BS	53.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	943
486	QALFD	BS	20.00000	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	944
487	QCOVD	BS	4.42478	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	945
488	QPARD	BS	7.14308	0.00000	0.00000	NONE	0.00000	946
489	Q21	BS	10.79013	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	947
490	Q221	BS	6.41764	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	948
491	Q1	BS	4.80070	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	949
492	Q3	BS	6.78532	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	950
493	Q2	BS	4.44883	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	951
494	Q202	BS	4.11626	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	952
495	Q17	BS	3.22054	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	953
496	Q5	BS	29.18330	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	954
497	Q6	BS	1.49227	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	955
498	Q8	BS	2.11138	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	956
499	Q9	BS	40.75388	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	957
500	Q14	BS	21.02461	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	958
501	Q15	BS	2.65496	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	959
502	Q18	BS	1.89943	-0.06826	0.00000	NONE	0.00000	960

FUNCON CALLED WITH NSTATE = 2

FUNOBJ CALLED WITH NSTATE = 2

```
***************************
*   TARIFAS POR SECTORES  *
***************************
```

SECTOR	TARIFA ($/LT)
1	0.08082
2	0.07585
3	0.08469
4	0.08469
5	0.08549
6	0.08051
7	0.08549
8	0.08549
9	0.08549
10	0.08549
11	0.08549
12	0.08549
13	0.08549
14	0.08549

REFERENCIAS

REFERENCIAS

1. "Análisis económico del precio del agua: tarificación de agua potable según criterios de costo marginal". Juan Antonio Zapata et. al. Santiago, PUC, 1981.

2. "Evaluación social en proyectos de agua potable". Carlos Miranda Vicencio. Valparaíso, UTFSM, 1987.

3. "Modelo de planificación interactiva para las tarifas a costos marginales de los sistemas de agua potable de ESVAL". Francisco Yuraszeck Bustos. Valparaíso, UTFSM, 1987.

4. "Metodología para la evaluación de proyectos de alcantarillado de aguas residuales". José Ignacio Ramírez D. Valparaíso, UTFSM, 1988.

5. "Revisión de los aspectos metodológicos en un sistema complejo de agua potable: operación de corto plazo, planificación de largo plazo, financiamiento". Gonzalo Bravo Alvarez, Jorge Castro Sierralta, Andrés Quezada Huguet. Valparaíso, UTFSM, 1989.

6. "Modelo piloto de optimización de recursos hídricos para agua potable, basados en las teorías marginalista y de programación lineal". Germán Urrutia Ruz. Valparaíso, UTFSM, 1990.

7. "Operación y planificación en un sistema complejo de agua potable, bajo criterios marginalista". Manuel Aguilera Zamora, Rodrigo Saavedra Riveros. Valparaíso, UTFSM, 1990.

8. "Sistema de abastecimiento de agua potable para la ciudad de Quillota". Julio Delpino Pegito, Oscar Hugel de la Fuente. Valparaíso, UTFSM, 1976.

9. "Mejoramiento del sistema de agua potable de Quillota". Enrique Becerra G., Raúl Galindo U., Valparaíso, ESVAL, 1987.

10. "Optimización del uso del recurso hidráulico en la V Región" Gastón Galleguillos Burgos y otros. Valparaíso, UTFSM, 1984.

11. "Estudio urbanístico y demográfico de la ciudad de Quillota". Norma Jimenez R., Santiago, PUC, 1986.

12. "Estudio de tarificación a costo marginal en agua potable y alcantarillado". ICC-INECON, 1987.

13. "Mejoramiento del alcantarillado río Aconcagua". ICSA. Valparaíso, ESVAL, 1989.

14. "Teoría de la economía estática". Michael J. Brennan. Madrid, Prentice Hall International, 1984.