

5157

DESCARTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DISEÑO DE LA RED FUTURA DE DISTRIBUCION
DE AGUA DEL DISTRITO FEDERAL BAJO CONDI
CIONES RESTRINGIDAS DE ENTRADA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

ALFREDO BRAVO DIOSDADO

MEXICO, D. F.

1973



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con cariño a mi Esposa:
Maricela Alcántara

Con ternura a mis hijos:

Maricela

Ricardo

y

Antonio

Con gratitud a mi Madre:
Francisca Diosdado

A la memoria de mi Padre:
Antonio Bravo

A mis inolvidables Hermanos:

Arnulfo y
Carmen

Al Ing. Ubaldo Bonilla D.

**en agradecimiento de su dirección
y corrección de esta tesis.**

A mis maestros

A mis compañeros



Universidad Nacional
Autónoma de
México

FACULTAD DE INGENIERÍA
Exámenes Profesionales
Núm. 40-211
Exp. Núm. 40/214.2/

Al Pasante señor Alfredo BRAVO DICEDADO,
P r e s e n t e .

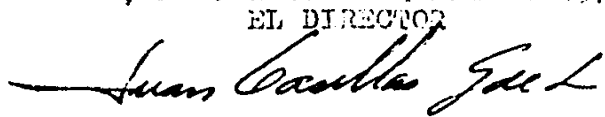
En atención a su solicitud relativa me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Ubaldo Bonilla Domínguez., para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"DISEÑO DE LA RED FUTURA DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA DEL DISTRITO FEDERAL BAJO CONDICIONES RESTRINGIDAS DE ENTRADA".

- I. Introducción.
- II. El area urbanizada del Distrito Federal.
- III. Proyectos de explotación de nuevas fuentes para abastecimiento futuro.
- IV. Distribución futura del agua potable en el area urbanizada del Distrito Federal.
- V. La red futura sin restricciones de gasto en los puntos de entrada.
- VI. Diseño de la red futura con restricciones de gasto en los puntos de entrada.
- VII. Apéndice. Programa de computadora.

Ruego a usted tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
México, D.F. a 16 de Abril de 1971
EL DIRECTOR


Dr. Juan Casillas G. de L.

JCGL'GPL'mrg.

I N D I C E

	Página.
I. INTRODUCCION	1
II. EL AREA URBANIZADA DEL DISTRITO FEDERAL	3
III. PROYECTOS DE EXPLOTACION DE NUEVAS FUENTES PARA ABASTECIMIENTO FUTURO.	7
1. Fuentes existentes	7
2. Fuentes futuras	8
a) Sistema Tepeji-Guadalupe	9
b) Sistema Aguas del Norte	10
c) Sistema Chalco-Xochimilco-Amecaca	11
d) Sistema Alto Balsas	12
IV. LA RED FUTURA SIN RESTRICCIONES DE GASTO EN LOS PUNTOS DE ENTRADA.	17
V. DISTRIBUCION FUTURA DEL AGUA POTABLE EN EL AREA URBANA DEL DISTRITO FEDERAL.	22
1. Areas de Consumo	22
2. Demanda global de agua	24
3. Población futura de las áreas de consumo	25
4. Demandas de agua en las áreas de consumo	26
5. Caudales disponibles en los puntos de entrada	27
VI. DISEÑO DE LA RED FUTURA CON RESTRICCIONES DE CARGA Y GASTO EN LOS PUNTOS DE ENTRADA.	29
1. Descripción	29
2. Procedimiento de diseño y revisión	30
3. Modificaciones y ampliaciones	32

VII.	APENDICE. PROGRAMA DE COMPUTADORA.	36
VIII.	CONCLUSIONES	40
IX.	TABLAS	41
X.	FIGURAS	43
XI.	REFERENCIAS	44

I. INTRODUCCION

El crecimiento explosivo de la Ciudad de México, ha obligado a las autoridades competentes a establecer y desarrollar programas de ampliación de los servicios de agua potable.

El Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, en colaboración con la Dirección General de Obras Hidráulicas - del Departamento del Distrito Federal, realizó dos estudios, uno en 1970 y otro en 1971, para planear el aprovechamiento de nuevas fuentes de agua y al mismo tiempo determinar las modificaciones y ampliaciones a la red primaria de la Ciudad de México.

La solución obtenida del primer estudio establece las fuentes - que deben explotarse, los gastos que pueden suministrar las obras a realizarse y el grado de aprovechamiento respectivo para que los costos totales resulten mínimos para el tiempo considerado; además las modificaciones necesarias a la red primaria de distribución de agua potable del Distrito Federal para satisfacer las demandas en los nodos y las especificaciones de funcionamiento y los gastos que deben ingresar por los diferentes puntos de entrada a la red. Bajo esta solución la interconexión de las fuentes - con la red primaria requiere del diseño y construcción de un circuito exterior a la propia red, que capte las aguas provenientes de las diversas ---

II. EL AREA URBANIZADA DEL DISTRITO FEDERAL

La Ciudad de México está localizada en la esquina suroeste del Valle del mismo nombre, que ocupa el borde sur de la mesa central. El meridiano $99^{\circ}8'W$ y el paralelo $19^{\circ}24'N$ cruzan la ciudad, la cual tiene una al itud media de 2240 m. sobre el nivel del mar.

La Ciudad de México está incluida dentro de la Zona Metropolitana na Ciudad de México (ZMCM).

Se define como Zona Metropolitana a una extensión territorial - que tiene una población mínima de 100,000 habitantes, que incluye por lo - menos una ciudad (o área urbana continua) de 50,000 habitantes o más, así - como unidades administrativas contiguas a la Ciudad Central, o bien a ---- otras unidades ya incluidas en la Zona Metropolitana, que presentan caracte - rísticas metropolitanas como sitios de trabajo o lugares de residencia - de trabajadores dedicados a actividades no agrícolas y una interrelación - socio-económica directa, constante y de cierta magnitud con la Ciudad Cen - tral (ref 1).

La determinación de los límites de la ZMCM en 1940, 1950 y 1960 se basó en la Metodología establecida por el Buró de Censos de los E.U.A.-

fuentes y las distribuya en los puntos de entrada de acuerdo a la demanda de los gastos de ingreso.

En el segundo estudio realizado por el Instituto de Ingeniería, en el cual tuve la oportunidad de colaborar, se determinó una alternativa para lograr el aprovechamiento de las fuentes de acuerdo con el programa de explotación estudiado anteriormente, considerando los estudios y modificaciones a la red de distribución de agua potable de la Ciudad de México, para los años 1980 y 1990, satisfaciendo las demandas en los nodos y las especificaciones de funcionamiento, bajo condiciones restringentes tanto de carga como de gasto en los puntos de entrada a la red. Bajo esta solución no existe necesidad de contar con un circuito exterior a la red primaria, ya que ésta deberá modificarse y ampliarse de manera que por cada punto de entrada ingrese a la red precisamente el gasto fijo que corresponda a la capacidad del acueducto más cercano. En esta tesis se presentan los trabajos realizados para este objeto.

y por el Instituto Internacional de Investigaciones Urbanas de la Universidad de California. Se establecieron tres contornos de unidades administrativas en torno a la Ciudad de México. Se consideró que una unidad administrativa de cualquiera de los contornos, perteneció en 1940, 1950 y 1960 a la ZMCM, por haber cumplido los requisitos enumerados a continuación:

- a) Estar en contacto con la Ciudad Central o con una unidad administrativa ya incluida en la ZMCM.
- b) Contar con dos tercios de su fuerza de trabajo dedicada a actividades no agrícolas.
- c) Encontrarse a una distancia de la Ciudad Central tal, que le permita participar directamente en la vida socio-económica de la Ciudad Central.
- d) Tener una densidad bruta de población equivalente a la mitad de la densidad demográfica del contorno anterior o bien el doble del contorno que le sigue.

De esta forma quedó delimitada la ZMCM, como se muestra en la tabla 1, transcrita de la ref 1.

El área urbana de la Ciudad de México incluida en la ZMCM, está compuesta (ref 4) por:

- a) La Ciudad de México, dividida en 12 cuarteles censales.
- b) Las zonas urbanizadas de las delegaciones del D.F. que son:

Coyoacán, Tlalpan, Ixtapalapa, Ixtacalco, Azcapotzalco, Gustavo A. Madero, Magdalena Contreras, Villa Obregón.

- c) La parte urbanizada conexas de los municipios de Ecatepec, - Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla y Netzahualcóyotl, del Estado de México.

Esta zona, constituye el principal complejo urbano industrial - del país y en especial de la cuenca del Valle de México, y además es un polo de atracción para inmigrantes de la misma cuenca y del interior del país.

En la tabla 2 se anotan para distintos tiempos las poblaciones del país, de la cuenca del Valle de México y del área urbana de la Ciudad de México, así como las tasas de crecimiento respectivas. En esta tabla se puede observar que la población del área urbana aumenta más rápidamente que la de las otras entidades anotadas, lo que significa una tendencia a la concentración de la población en el área urbana (ref 4).

En cuanto a la expansión del área urbana, en la tabla 2 se observa también que la población de la Ciudad de México ha crecido con tasas inferiores que en el Distrito Federal, de donde se infiere que la población se va desplazando hacia la periferia, haciendo crecer por lo tanto el área urbana.

Para efectos de abastecimiento de agua potable y de acuerdo con los programas de la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, se excluye del área urbana de la Ciudad de México al municipio de Netzahual

cóyotl, ya que éste contará con un sistema por separado (ref 3). En la -
fig. 4 se observa la traza del área para el año de 1980, según estimacio-
nes del Instituto de Ingeniería de la UNAM (ref 4).

III. PROYECTOS DE EXPLOTACION DE NUEVAS FUENTES PARA ABASTECIMIENTO FUTURO

1. FUENTES EXISTENTES

En la actualidad el área urbana de la Ciudad de México dispone de varias fuentes, que llegan a diversos tanques de regularización y almacenamiento, los cuales se conectan con la llamada red primaria de abastecimiento del Distrito Federal, que cubre la zona localizada abajo de la cota 2268 m. sobre el nivel del mar.

Las fuentes que abastecen a la red primaria son: Lerma, Alto -- Lerma, Xochimilco, Xotepingo, Chalco, Peñón, Chiconautla y varios pozos municipales dentro del área. Existen otras fuentes como los Ajolotes, El -- Ranchito, etc., que no se conectan a la red primaria de distribución y sirven para abastecer mediante sistemas independientes a poblados como: -- Tlalpan, Arenal, Topilejo, etc., además existen 868 pozos privados conectados a instalaciones del mismo tipo. La parte del área urbana de la Ciudad de México comprendida en el Estado de México, se abastece principalmente -- mediante pozos profundos conectados a sistemas independientes de la red -- principal del Distrito Federal.

En la fig. 1 aparecen en forma esquemática, las fuentes existentes de agua del área urbana del D.F. así como las líneas de conducción, -- gastos potenciales y los tanques de regulación y almacenamiento.

2. FUENTES FUTURAS

Para abastecer de agua potable al área urbana de la Ciudad de México y otras poblaciones del Valle del mismo nombre, se han elaborado varios proyectos (ref 5 a 8), dentro de los cuales se consideran dos tipos de obras:

- 1) Inmediatas, que permitan incrementar en un tiempo relativamente corto el abastecimiento del agua potable.
- 2) Mediatas o definitivas, que permitan asegurar la satisfacción de las necesidades de agua potable para un período de tiempo mucho mayor, aunque su ejecución, por su magnitud requiera por consiguiente más tiempo.

Dentro de la cuenca del Valle de México se encuentra la mayor parte de las obras de carácter inmediato, como son los proyectos "Tepeji-Guadalupe" que aprovechará las corrientes superficiales de la parte Noroeste de la cuenca y aguas subterráneas del Río Cuautitlán, "Aguas del Norte" que aprovechará los escurrimientos subterráneos que fluyen de Cuautitlán, México, hacia Tizayuca, Hidalgo y el "Chalco" que considera la explotación de aguas subterráneas localizadas dentro de la zona Xochimilco-Chalco.

Las obras de carácter definitivo, incluyen el proyecto denominado "Alto Balsas", el cual consiste en la explotación de diversas fuentes

superficiales y algunas subterráneas, localizadas fuera del Valle de México. Este proyecto considera dos ramales, el "Alto" que conducirá las --- aguas provenientes de las presas del Bosque, Colorines, Villa Victoria, Va lle de Bravo, Paso del Cobre y Texcaltitlán, siguiendo una trayectoria Es- te-Oeste y el ramal "Bajo" que conducirá aguas provenientes de las presas- Las Garzas, Chaucingo, Astillero y Alejandra, principalmente, siguiendo -- una trayectoria de Sur a Norte. Ambos ramales se unirán en un punto situado al sur de la cuenca del Valle de México, para continuar en la etapa de- un mayor aprovechamiento en dos túneles paralelos de 25 Km de largo hasta- llegar a la Ciudad de México.

A continuación se describe someramente cada uno de estos proyectos, cuya traza aparece en la figura 2.

a) SISTEMA TEPEJI-GUADALUPE

El sistema Tepeji-Guadalupe comprende el aprovechamiento de las fuentes de abastecimiento siguientes: Aguas de las corrientes superficia- les de los ríos Rosas, Tlautla, Tepeji, Tepotzotlán y Cuautitlán además de aguas subterráneas del Valle de Cuautitlán y las que se obtengan de los po zos del Emisor profundo (ref. 5).

Las aguas superficiales potabilizadas en una planta del Valle - del Tesoro, se bombearán junto con las aguas subterráneas a un tanque de - descarga, en el cual se bifurcarán para conducir una parte al tanque gene- ral de distribución situado en los terrenos del D.F. al Norte del Poblado- de San Miguel Chalma, Edo. de México, y otra, al Conjunto Urbano Indus--- trial N-Z-T.

Las obras principales que requiere este proyecto son las siguientes:

- a) Presa derivadora en el Río Rosas.
- b) Presa derivadora en el Río Tlautla.
- c) Presa Tepeji para los Ríos Tepeji, Rosas y Tlautla.
- d) Plantas de bombeo de aguas crudas y de agua potable.
- e) Planta potabilizadora en el Tesoro.
- f) Campo de pozos en Cuautitlán.
- g) Tanque general de Distribución con capacidad de 400,000 m³.
- h) Conducciones, tanto de las presas, de los pozos, de las plantas de bombeo, etc., hasta llegar a la red primaria del D.F.

En la tabla de la figura 3 aparecen las cantidades de agua aprovechables.

b) SISTEMA "AGUAS DEL NORTE"

Al norte de la sierra de Guadalupe, entre Cuautitlán, Méx. y Tizayuca, Hgo., existen suelos de tipo lacustre que contienen un volumen --- apreciable de agua, además de que reciben abundantes aportaciones, las cuales actualmente se pierden escurriendo rumbo al Mezquital, Hgo.

La utilización de este acuífero beneficiará al área urbana de la Ciudad de México, incluyendo las Unidades Urbano Industrial N-Z-T y de San Cristóbal Ecatepec, ambas del Estado de México (ref 6).

Los pozos se suponen de capacidad de 80 lts/seg., separados uno

del otro a una distancia de 1000 mts., situados a lo largo de caminos vecinales, para no dislocar vías importantes de comunicación, formando tres-ramales principales, con capacidad total de 9.0 m³/s.

Dentro de las obras principales que serán necesarias se cuentan:

- a) Perforación de pozos, incluyendo los de prueba y piezométricos.
- b) Construcción de caminos de acceso.
- c) Planta de bombeo para 9.0 m³/s.
- d) Planta de cloración para 9.0 m³/s.
- e) Construcción de túneles, ductos cerrados y ampliación a la red de distribución.
- f) Construcción de tanques de almacenamiento con capacidad total de 445,125 m³.
- c) SISTEMA CHALCO-XOCHIMILCO-AMECAMECA.

Dentro de la zona Xochimilco-Chalco, existe un acuífero de aguas subterráneas sobre la cota 2300, que vendrá a complementar el ya existente, para beneficiar el área y zonas circunvecinas de la Ciudad de México (ref-7).

Con este proyecto se trata de aprovechar:

- 1) Los pozos ya existentes, que suministran al área urbana de la Ciudad de México unos $5.00 \text{ m}^3/\text{s}$.
- 2) Del acuífero de aguas subterráneas que vendrán desde San - Antonio Tecomitl, siguiendo la cota 2300 hasta el Norte -- del Río de la Compañía, de los cuales se estima un gasto de $3.00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las obras principales a construirse serán:

- a) Plantas de bombas y cárcamo.
- b) Tuberías, y acueductos.
- c) Tanques.
- d) SISTEMA "ALTO BALSAS"

Se considera como cuenca alta del Río Balsas, la comprendida entre los paralelos $18^{\circ}30'$ y $19^{\circ}15'$ de latitud Norte y los meridianos $98^{\circ}40'$ $100^{\circ}00'$ W de G.

El esquema general del proyecto (fig 2) es:

- 1) Túnel de acceso al Valle de México.
- 2) Ramal "A" o Ramal Alto.
- 3) Ramal "B" o Ramal Bajo.

1) TUNEL DE ACCESO AL VALLE DE MEXICO

Se estudió el problema de introducir al Valle de México los volúmenes de agua que se aprovecharán del Alto Balsas, llegando a la conclusión de que lo más conveniente es construir dos túneles gemelos de unos 25 Kms. de longitud, atravesando la sierra del Ajusco, en una dirección N-S.

Es posible que durante la construcción de dichos túneles se capturen volúmenes de agua limpia, los cuales se incorporarán al abastecimiento de agua potable del área metropolitana.

Se ha supuesto que en el Km. 0 + 000 se construirán los tanques generales de distribución dentro del Valle de México, con una pendiente necesaria para que escurra el agua por gravedad desde el Km. 24 + 600 hasta el Km. 0 + 000.

En el Km. 24 + 600 la obra se subdivide en los ramales "A" y -- "B".

2) RAMAL "A" O ALTO.

Este ramal permitirá aprovechar, con el mínimo costo de bombeo, importantes recursos superficiales y algunos subterráneos, sin lesionar intereses locales, constando de una línea troncal que se inicia en la presa del Bosque y termina en el Túnel de acceso al Valle de México, así como varios tramos complementarios que permitan incorporar por gravedad las aguas de la presa Villa Victoria y por bombeo la del Valle de Bravo.

3. RAMAL "B" O BAJO

A diferencia del ramal Alto, el ramal "B" contempla la posibilidad de ofrecer al área Metropolitana Ciudad de México, volúmenes de agua - que para fines prácticos son innagotables y ésto mediante una conducción - que resulta corta, aunque con los bombeos indispensables, pudiéndose adelantarse que considerando tanto el gasto aprovechado como la distancia de -- conducción y la altura total de bombeo, la construcción de este ramal "B"- resulta muy atractivo.

El ramal "B" consta también de una línea troncal que parte de - la presa de las Garzas en el último puente del Río Mezcalapa en donde ya se han confluído los Ríos Mejaca, Atoyac, Mixteco y Tlapaneco, elevándose el agua a una cota de 1000 m. sobre el nivel del mar de modo que el agua - pueda llegar hasta un rincón del río Yautepec cercano al manantial de las Estacas, de donde se inicia un bombeo de tres escalones de poco más de - - 400 m. de altura cada uno y de 27 Km. de longitud que permite incorporar - el agua al túnel de acceso al Valle de México.

En el trayecto se incorporarán los gastos disponibles económicamente aprovechables del Río Amacuzac a la altura de la presa Chaucingo y - parte de los escurrimientos permanentes del Río Cuautla y del manantial - las Estacas.

En el río Balsas hay aprovechamientos de agua para fines de --- riego y eléctrico, como son el sistema hidroeléctrico Miguel Alemán y el - Infiernillo, por lo cual se ha considerado que se pueden tomar 20.0 m³/s -

sin afectar las obras instaladas; ésto reduce la capacidad del Ramal "B" - y para que el aprovechamiento total sea el mismo existen dos alternativas.

PRIMERA ALTERNATIVA:

Consiste en aprovechar al máximo las fuentes del ramal Alto, -- aun a expensas de dejar muy desprovisto el sistema hidroeléctrico Miguel - Alemán, para después bombear la misma cantidad de agua en las presas Chau- cingo y las Garzas, teniendo en cuenta un coeficiente de rendimiento en -- los equipos de bombeo.

SEGUNDA ALTERNATIVA:

Esta alternativa consiste en tomar únicamente 20.0 m³/s del sis- tema hidroeléctrico Miguel Alemán y tomar los 10.5 m³/s faltantes de las presas Chaucingo y las Garzas hasta completar la capacidad total de diseño de 164.00 m³/s.

Las principales obras que en ambas alternativas se necesitan -- son:

- a) Presas nuevas
- b) Plantas de bombeo
- c) Plantas potabilizadoras
- d) Túneles, acueductos y caminos
- e) Tanques de regulación

En la figura 3 aparecen las fuentes futuras con sus gastos potenciales.

IV. LA RED FUTURA SIN RESTRICCIONES DE GASTO EN LOS PUNTOS DE ENTRADA

En la actualidad se han explotado principalmente las aguas subterráneas de la cuenca del Valle de México y algunas de regiones cercanas. - Para satisfacer las demandas futuras de agua del área urbana de la Ciudad de México se han elaborado diversos proyectos, mencionados en el capítulo anterior, que consideran la captación de algunas fuentes subterráneas superficiales de la cuenca, aun no explotadas, así como la explotación de aguas de fuentes externas a la cuenca.

En el diseño de la red futura se consideró un sistema constituido por dos subsistemas interconectados: el interno, o sea las redes de distribución de agua del Distrito Federal y de las entidades del Estado de México que forman el área urbana, y el externo, constituido por las fuentes, conducciones, plantas potabilizadoras, plantas de bombeo y tanques de regulación y almacenamiento.

Primeramente se determinaron las necesidades de agua en los distintos puntos de las redes de distribución, para distintos tiempos, considerando los incrementos en la densidad de población, superficie y dotación per cápita en los distintos sectores del área urbana. Con estos datos fue

posible obtener la distribución del flujo en las tuberías, las pérdidas de carga y los gastos que deben ingresar a las redes por los puntos de entrada.

Seguidamente se estableció un programa de aprovechamiento de las fuentes, de tal manera que se satisfagan las demandas en el Valle de México a costo mínimo, considerando también los costos resultantes de las interconexiones necesarias para satisfacer las demandas en los puntos de entrada a la red, en distintos períodos de tiempo.

Para poder obtener los gastos en los puntos de entrada se procedió de la manera siguiente (ref 4):

- 1) Se delimitó el área urbana de la Ciudad de México.
- 2) Se dividió el área urbana en diferentes zonas censales.
- 3) Se obtuvo el crecimiento superficial del área urbana extrapolando gráficamente las superficies correspondientes a los años 1930, 40, 53, 60, y 70, hasta llegar al límite de saturación, que es la superficie total de la entidad.
- 4) Se Determinó el crecimiento de la población en las diferentes entidades del área urbana basándose en los datos censales de cada uno de los cuarteles, delegaciones y municipios que la constituyen.
- 5) Se obtuvo la densidad de población en las entidades censales, dividiendo las poblaciones urbanas de las entidades, entre las superficies urbanizadas correspondientes. La densidad -

de población por zona se realizó mediante la obtención del promedio pesado de las densidades de población de las áreas censales que constituyen una zona específica.

- 6) Se determinó el consumo de agua potable en las distintas zonas del área urbana de la Ciudad de México, tomando áreas de muestreo seleccionadas al azar dentro de cada zona. Para el año 1970, considerando la disponibilidad anual de agua potable, resultó una dotación media de 380 lt/hab-día.
- 7) Se determinó la demanda de agua en cada nodo de la red primaria de distribución mediante el consumo por habitante y densidad de población en el área de influencia del nodo. Se consideró un coeficiente de 1.5 para el día de máximo consumo.
- 8) Se hicieron modificaciones a la red, para su correcto funcionamiento en 1970.
- 9) La red corregida para 1970 sirvió de base para determinar las modificaciones necesarias para el funcionamiento correcto de la red en 1980, y ésta a su vez para determinar las modificaciones correspondientes a la red de 1990.

Los resultados de estos estudios aparecen en la referencia 4.

En los planes de aprovechamiento futuro de las nuevas fuentes de abastecimiento de agua, se consideraron las necesidades de las poblaciones situadas dentro de la Cuenca del Valle de México, para lo cual se consideraron los proyectos propuestos por la Dirección de Obras Hidráulicas del

Departamento del Distrito Federal como son: Tepeji-Guadalupe, Aguas del Norte, Chalco y Alto Balsas en sus dos alternativas.

Para determinar el programa óptimo de inversiones en la explotación de las fuentes propuestas, se efectuó una reclasificación de las partes constructivas de los proyectos, tratando de seguir "etapas", en las cuales se trató de mantener hasta donde fuera posible, la independencia en la construcción de obras y explotación de las nuevas fuentes, con lo que evidentemente se disminuyen los costos de la explotación de un cierto volumen en un momento dado.

Debido a que el programa de explotación de las nuevas fuentes de abastecimiento de agua se ha considerado la demanda de toda la población urbana de la Cuenca del Valle de México, las conexiones de las fuentes a los puntos periféricos de entrada a la red primaria del Distrito Federal, resultan dependientes del programa de conexiones que se adopte para satisfacer las necesidades de los demás sistemas de abastecimiento de agua del Valle de México en 1980 y 1990.

Bajo esta solución se requiere la construcción de un circuito exterior que capte las aguas provenientes de las diversas fuentes y las distribuya en los puntos de entrada de acuerdo con los gastos de ingreso demandado, provocando dicho circuito un costo considerable.

El análisis de esta solución dió lugar al estudio de una segunda alternativa, mediante la cual se evite la necesidad de construir el circuito exterior, basada en tratar que por cada punto de entrada a la red ingrese se precisamente el gasto fijo que corresponda a la capacidad disponible en

el acueducto más cercano. Esta alternativa se describe en los siguientes-
capítulos.

V. DISTRIBUCION FUTURA DEL AGUA POTABLE EN EL AREA URBANA DEL DISTRITO FEDERAL

1. AREAS DE CONSUMO.

La Comisión Hidrológica de la cuenca del Valle de México establece, en sus Lineamientos Generales para el Plan Hidráulico de la Cuenca del Valle de México (ref 3) que:

"Serán servidas con aguas originarias de la cuenca por derivaciones de los acueductos cercanos, de preferencia:

- a) Las localidades con una población entre 5,000 y 100,000, habitantes.
- b) Las unidades urbano-industriales y las localidades con población entre 100,000 y 1 000,000 de habitantes.
- c) El área urbana de la Ciudad de México.
- d) Para suministrar el volumen de agua faltante en área urbana-se aprovecharán las aguas complementarias provenientes de las fuentes externas."

Para localizar las poblaciones fuera del área urbana de la Ciu-

dad de México, se utilizó el plano VP-15977, correspondiente a las fuentes existentes de abastecimiento de agua de la Ciudad de México, producido por la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito Federal; y los planos 14 Q- III al 14Q-VI, correspondientes a la región de la República Mexicana comprendida entre los paralelos 18° y 22' N y meridianos 96° a 102° W, producidos por la Dirección General de Geografía de la Secretaría de Agricultura.

Para determinar las zonas de consumo del área urbana de la Ciudad de México localizadas fuera de la cota 2268, se utilizaron los planos, denominados figuras 7 y 8 de la referencia 4, correspondientes al área urbana de la Ciudad de México para 1980 y 1990, producidos por el Instituto de Ingeniería.

Sobre estos planos, se trazaron los sistemas de acueductos de las fuentes existentes y futuras, y se marcaron todas las localidades situadas a una distancia máxima de 2 Km. al acueducto más cercano. Por otro lado, la parte del área urbana de la Ciudad de México, situada arriba de la cota 2268 se dividió en zonas de consumo, las que se delimitaron considerando las áreas de influencia de los acueductos correspondientes, con base en la topografía específica de cada zona, para lograr en todo caso, el abastecimiento de agua por gravedad.

Debe anotarse que según los "Lineamientos Generales", la Ciudad de Toluca, Edo. de México, será abastecida, a partir de 1980, por el sistema Lerma.

Las figuras 4 y 5 muestran para los años de 1980 y 1990 respecti

vamente, a la escala indicada, el área cubierta por la red primaria de -- abastecimiento de agua de la Ciudad de México, la zonificación por áreas - de consumo dentro de la traza urbana arriba de la cota 2268 msnm y los tra mos de acueducto que las abastecen y en forma esquemática los sistemas de- acueductos y poblaciones más importantes cercanos a ellos.

2. DEMANDA GLOBAL DE AGUA.

Para obtener la demanda de agua en la Cuenca del Valle de Méxi-- co, se tomaron las dotaciones establecidas por la Comisión Hidrológica de- la Cuenca del Valle de México (ref 3) que son las siguientes:

Año	Dotación, lt/hab-día.	
	Area Urbana	Otras poblaciones en la cuenca
1970	378	205
1980	395	250
1990	415	312

Se consideraron también las estimaciones de población realizadas por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (ref 4) para el área urbana de - la Ciudad de México, y las del Banco de México (ref 2) para otras poblacio nes dentro de la cuenca.

La demanda global resultó de la combinación de las estimaciones- de población y de las dotaciones establecidas, la cual se corrige por el - retiro, en el período de 1971-75 de $7.3 \text{ m}^3/\text{seg}$ correspondientes a la ex-

plotación actual de los pozos situados en el Distrito Federal.

DEMANDAS DE AGUA POTABLE. M³/S.

Año	Area Urbana	Otras Poblaciones	Total	Total corregido
1970	36.75	3.15	39.90	39.90
1980	61.14	5.68	66.82	74.12
1990	92.50	9.74	102.24	109.14

3. POBLACION FUTURA DE LAS AREAS DE CONSUMO.

Se determinó la población futura de 118 localidades, situadas fuera del área urbana de la Ciudad de México, factibles de ser abastecidas debido a su cercanía a los acueductos, las estimaciones se hicieron con base en los censos (ref:10) de 1921 a 1960, utilizando el método de extrapolación gráfica, ya que para la mayoría de las localidades existen 4 ó menos datos censales. En la tabla 3 se muestran los resultados, excluyendo las localidades que de acuerdo con su población futura y los "Lineamientos Generales" no serán abastecidas por los acueductos.

La población futura de cada una de las zonas de consumo del área urbana de la Ciudad de México localizadas arriba de la cota 2268 se determinó, midiendo con planímetro sobre las figuras 4 y 5 las superficies de cada zona de consumo y multiplicándolas por las densidades específicas de población (ref 4), y las partes de cada una de éstas cuando la zona se localiza en dos o más entidades censales con distinta densidad de población; en todo caso, la población de la zona se obtuvo mediante la fórmula:

$$P_i = \sum_j d_{ij} A_{ij}$$

P_i Población de la zona de consumo en el año i ; hab.

d_{ij} Densidad de población en el año i , en la entidad j ;
hab/Km²

A_{ij} Superficie de la zona de consumo localizada en la entidad-
censal j , año i , Km²

Los cálculos y resultados se presentan en las tablas 4 y 5 correspondientes a los años 1980 y 1990 respectivamente.

4. DEMANDAS DE AGUA EN LAS AREAS DE CONSUMO.

Se determinaron las demandas de agua en cada una de las áreas de consumo, multiplicando éstas por las dotaciones establecidas por la Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (ref 3).

Los resultados aparecen en la tabla 3 para las localidades fuera del área urbana y en las tablas 4 y 5 para las zonas de consumo del área urbana fuera de la red primaria.

La demanda en la red primaria de abastecimiento de agua queda determinada por la suma de las demandas medias en cada uno de los nodos de la red (ref 4); esta demanda se multiplica por el factor 1.5, que es la relación entre las demandas máxima horaria y media horaria en la Ciudad de México. La demanda total media resultó de 35.1 m³/seg para 1980 y

49.3 m³/seg para 1990.

5. CAUDALES DISPONIBLES EN LOS PUNTOS DE ENTRADA.

Para determinar los caudales medios que pueden ingresar a la red primaria por cada uno de los puntos de entrada se realizó un balance de caudales y consumos, principiando por las fuentes y siguiendo la trayectoria de cada uno de los acueductos hasta llegar a los puntos de entrada a la red; al gasto disponible en cada tramo de acueducto se le restó la demanda de las localidades servidas por él, o en su caso, la de las zonas de consumo correspondientes (ref 12).

El sistema Lerma tiene bifurcaciones, de un acueducto principal, que alimentan a los puntos de entrada E-1 a E-5 (figs 4 y 5) de la red primaria, por lo cual la distribución de los gastos disponibles en los acueductos secundarios se hizo procurando que los gastos en éstos puntos de entrada a la red resultaran iguales, para tratar de balancear el funcionamiento, ya que este sistema permite gran flexibilidad en la distribución de su caudal disponible.

En las tablas 6 y 7 aparece el balance en forma de resumen de los gastos medios disponibles para la red primaria y otros usos (industrial, etc.) y poblaciones (localizadas a más de 2 Km de los acueductos), y zonas del área urbana fuera de la red primaria, para los años 1980 y 1990 respectivamente. Las figuras 6 y 7 presentan las terminales de los acueductos y los gastos disponibles en los puntos de entrada a la red primaria para los años 1980 y 1990 respectivamente.

Los gastos anotados para el año 1980 (fig 6) en los puntos de entrada E-10 y E-11, corresponden al caso extremo en que por el punto E-10 - entre a la red todo el caudal disponible de los sistemas Tepeji-Guadalupe y Aguas del Norte, sin embargo, debe considerarse que para este año es posible disponer, de acuerdo con el balance de gastos y demandas, de casi cualquier caudal proveniente del sistema Alto Balsas, que sustituya al caudal de los sistemas que abastecen al punto de entrada E-10.

VI. DISEÑO DE LA RED FUTURA CON RESTRICCIONES DE CARGA Y GASTO EN LOS PUNTOS DE ENTRADA

1. DESCRIPCION

Los puntos de entrada a la red, donde es factible conectar las líneas de conducción que provienen de las fuentes, quedan determinados por su cercanía a tales líneas, su elevación, y el espacio disponible para almacenamiento. Consecuentemente, a cada punto de entrada corresponden un gasto y una carga fijos, los cuales deben ser satisfechos simultáneamente a las demandas de agua en los nodos de la red, a las restricciones de carga en los nodos (20 m mínimo) y a las de velocidad en las tuberías (0.40 a 3.0 m/seg).

En todos los casos la solución se basó en la configuración de la red existente, tratando de modificar un mínimo de tuberías y localizando las modificaciones hacia la periferia de la red, para evitar la ruptura de calles de tráfico intenso o movimiento comercial importante (ref. 12).

El mismo criterio se siguió para establecer los nuevos circuitos en los años 1980 y 1990, a las zonas de crecimiento de la Ciudad de México, los que fueron trazados considerando la topografía de la Ciudad y la alineación de las calles existentes. Las demandas consideradas en los nodos de la red primaria corresponden a las demandas medias diarias multipli

cadras por el factor 1.5, o sea a las demandas máximas horarias en el día - de máximo consumo (ref 4), por lo que los casos estudiados se refieren al funcionamiento de la red bajo las condiciones más adversas.

2. PROCEDIMIENTO DE DISEÑO Y REVISION

Para establecer las modificaciones que deben hacerse a la actual red primaria de distribución para su correcto funcionamiento en los años - de 1980 y 1990 se utilizaron como base los planos VR-16440 y APR-71736 de - la Dirección General de Obras Hidráulicas del Departamento del Distrito -- Federal, con los que se prepararon las figuras 8 y 9 en donde aparecen las capacidades teóricas de conducción de cada una de las tuberías de la red - de 1970 y de las ampliaciones previstas para 1980 y 1990 respectivamente, - en cuya estimación se usó la fórmula:

$$Q = d^{2.63}$$

Q = capacidad teórica de conducción, m³/seg

d = diámetro del tramo del tubo, m

que corresponde a un coeficiente C = 100 y a una pendiente hidráulica ---- S = 0.002 en la fórmula de Hazen-Williams:

$$h = LQ^{1.85}/472d^{4.87}$$

h = pérdida de carga, m

L = longitud del tramo de tubería, m

La distribución de gastos se realizó considerando la morfología de la red, las demandas en los nodos, la capacidad de las tuberías existentes y la topografía de la ciudad, procurando obtener recorridos mínimos -- del agua en la red para evitar acumulación de grandes pérdidas de carga en los puntos de equilibrio (ref 12).

El procedimiento se repitió recalculando diámetros y gastos hasta llegar a soluciones satisfactorias: los resultados indican la necesidad de conducir el agua a través de la periferia de la red para derivarla radialmente hacia los nodos de consumo. La tabla 8 presenta un ejemplo de la forma en que se realizaron estas operaciones.

Con los gastos y diámetros equivalentes a la primera distribución, y con los datos de longitud de tramos de tuberías y elevaciones de los nodos (ref 12), se alimentó el programa de computadora para análisis de sistemas de abastecimiento de agua (ref 11), del que se obtienen como resultado las cargas sobre los nodos, los gastos, pérdidas de carga, velocidades y sentidos de escurrimiento en los tramos de tubería, y los gastos en los puntos de entrada a la red, con base en la fórmula de Hazen-Williams con $C = 100$. El rediseño de la red se realizó de la periferia hacia el -- centro de la ciudad, incrementando o reduciendo los diámetros equivalentes originalmente supuestos, para obligar a que por los puntos de entrada ingresen los gastos deseados y simultáneamente se satisfagan las condiciones de funcionamiento de la red. Las correcciones se obtuvieron mediante la fórmula:

$$d_{i+1} = d_i \left(\frac{Q_s}{Q_i} \right)^{0.38}$$

d_{i+1} diámetro corregido, m
 Q_s gasto supuesto en la primera distribución, $m^3/\text{seg.}$
 Q_i gasto obtenido en la corrida i de computadora, m^3/seg
 d_i diámetro considerado en la corrida i de computadora, -
 m.

que se obtuvo aplicando la fórmula de Hazen-Williams a la relación de los diámetros de las tuberías de igual diámetro, longitud y pérdida de carga - (ref 12).

Tras de cada corrección a la red se corrió el programa de computadora hasta lograr la satisfacción de las restricciones de funcionamiento. El máximo de corridas necesarias fue de 5 y el mínimo de 2 para diferentes alternativas.

En las tablas 8 y 9 se presenta un ejemplo de las operaciones realizadas para este propósito. En las figuras 8 y 9 aparece el funcionamiento de la red para una alternativa correspondiente a 1980 y otra para 1990 respectivamente.

3. MODIFICACIONES Y AMPLIACIONES A LA RED.

En los casos en que el funcionamiento de la red requiere, en un tramo de tubería- un diámetro efectivo mayor al instalado en 1970, y en los casos en que los diámetros de las nuevas tuberías resultaron mayores a 1.52 m, se determinaron los diámetros comerciales de los grupos de tuberías paralelas necesarias para conducir el gasto obtenido mediante el programa-

de computadora, conservando tanto la velocidad como la pérdida de carga en el tramo. Para esto se utilizó la fórmula:

$$De_j^{2.83} = d_{oj}^{2.63} + \sum_j d_{pij}^{2.63}$$

d_{ej} diámetro efectivo reportado por el tramo j en el programa de computadora, m

d_{oj} diámetro instalado para el tramo j en 1970, m

d_{pij} diámetro de la tubería paralela i correspondiente al tramo j , m.

que se satisface para tuberías que corresponden a un mismo valor de C en la fórmula de Hazen-Williams (ref. 12).

Los diámetros de las tuberías paralelas correspondientes a --- otros valores de C diferentes a 100, que corresponden a los diámetros instalados en 1970 y a los diámetros equivalentes, se obtuvieron aplicando la relación:

$$(d_{pij})_c = d_{pij} \left(\frac{100}{c} \right)^{0.38}$$

de donde resulta:

$$\sum_j (d_{pij})_c^{2.63} = \frac{100}{c} (d_{ej}^{2.63} - d_j^{2.63})$$

Debido a que los caudales disponibles en algunos nodos de entrada a la red, en especial los alimentados por el sistema Lerma, son substancialmente menores en 1980 y 1990 que en 1970, las tuberías conectadas y cercanas a tales nodos resultan de diámetro mayor al necesario para el funcionamiento adecuado de la red en el futuro, como obviamente estas tuberías no son económicamente sustituibles por tuberías de diámetro menor, la reducción de sus diámetros efectivos se debe realizar mediante la inclusión de un obstáculo (válvula, orificio, etc.), tal que produzca una pérdida de carga que asegure el gasto deseado en el tramo considerado:

$$h_o = h_e \left[1 - \left(\frac{d_e}{d_o} \right)^{4.87} \right]$$

h_o pérdida de carga que debe ser producida por un obstáculo en el tramo de tubería instalada en 1970, m

h_e pérdida de carga para el tramo, reportada en el programa de computadora, m.

d_e diámetro efectivo del tramo, reportado en el programa de computadora, m

d_o diámetro de la tubería instalada en 1970, m

La relación de nuevas tuberías paralelas a las existentes, que deben ser instaladas para satisfacer los gastos de entrada a la red anotadas en la tabla 10, aparecen en las tablas 11 y 12, que se refieren a las alternativas consideradas para 1980 y 1990. En estas tablas se anota, para cada tramo de tubería afectado, el diámetro efectivo, la longitud, el diámetro instalado y las combinaciones de diámetros comerciales que de

ben instalarse en los años estudiados, para valores del coeficiente C de -
escorrimento de 100 y 140. La tabla 13 presenta las pérdidas de carga --
que deben ser producidas por obstáculos instalados en las tuberías indica-
das.

En las figuras 8 y 9 aparece la identificación de los nodos de-
la red primaria, la carga sobre los nodos y los gastos y dirección de escu-
rrimiento en cada uno de los tramos de tubería de la red para la solución-
de las alternativas correspondientes a 1980 y 1990.

VII. APENDICE. PROGRAMA DE COMPUTADORA

Este programa fue elaborado por el Instituto de Ingeniería UNAM- (ref 11) para la ayuda en la solución del problema de planeación de abastecimiento de agua potable en la Ciudad de México, y resuelve el sistema de ecuaciones de continuidad de cada nodo de la red:

$$\sum_{j \in i} Q_{ij} + Q_i = 0 \quad 1, \dots, n$$

Q_{ij} gasto que va del nodo j al i

Q_i gasto extraído del nodo i

n número de nodos

$j \in i$ significa "todo nodo j conectado al nodo i "

Para el cálculo del gasto Q_{ij} se utilizó la fórmula de Hazen-

Williams:

$$Q = C D^{2.63} S^{0.54}$$

Para un tramo dado, la longitud y diámetro son constantes, por lo tanto, la fórmula queda:

$$Q_{ij} = C_{ij} (H_i - H_j)^{0.54}$$

Se escogió una convención de signos, el gasto es positivo cuando va de j a i :

$$Q_{ij} = C_{ij} \frac{H_j - H_i}{(H_j - H_i)^{0.46}}$$

El sistema de ecuaciones quedará:

$$\sum_{j \in i} C_{ij} \frac{H_j - H_i}{(H_j - H_i)^{0.46}} + Q_i = 0 \quad i=1, \dots, n$$

n número de ecuaciones con las incógnitas

H_1, \dots, H_n

j número de nodos conectados a i

Se utilizó el método iterativo de Newton-Raphson modificando, quedando el sistema de ecuaciones:

$$f_1(H_1, \dots, H_n) = 0$$

$$f_2(H_1, \dots, H_n) = 0$$

.....

$$f_n(H_1, \dots, H_n) = 0$$

el cual puede simbolizarse como:

$$[f]_0 + [J]_0 [\Delta x] = 0$$

donde: $[J]$ jacobiano del sistema

$[\Delta x]$ vector de incrementos

sin embargo este método conduce frecuentemente a una convergencia muy lenta, por lo cual se introdujo una modificación para corregir los valores -

H_i en cada iteración:

$$[H_i]_{k+1} = [H_i]_k + \alpha [\Delta H_i]_k$$

donde α se escoge de tal manera que la función F, suma de los cuadrados de los errores sea mínima:

$$F = \sum_{j=1}^n f_{k+1}^2$$

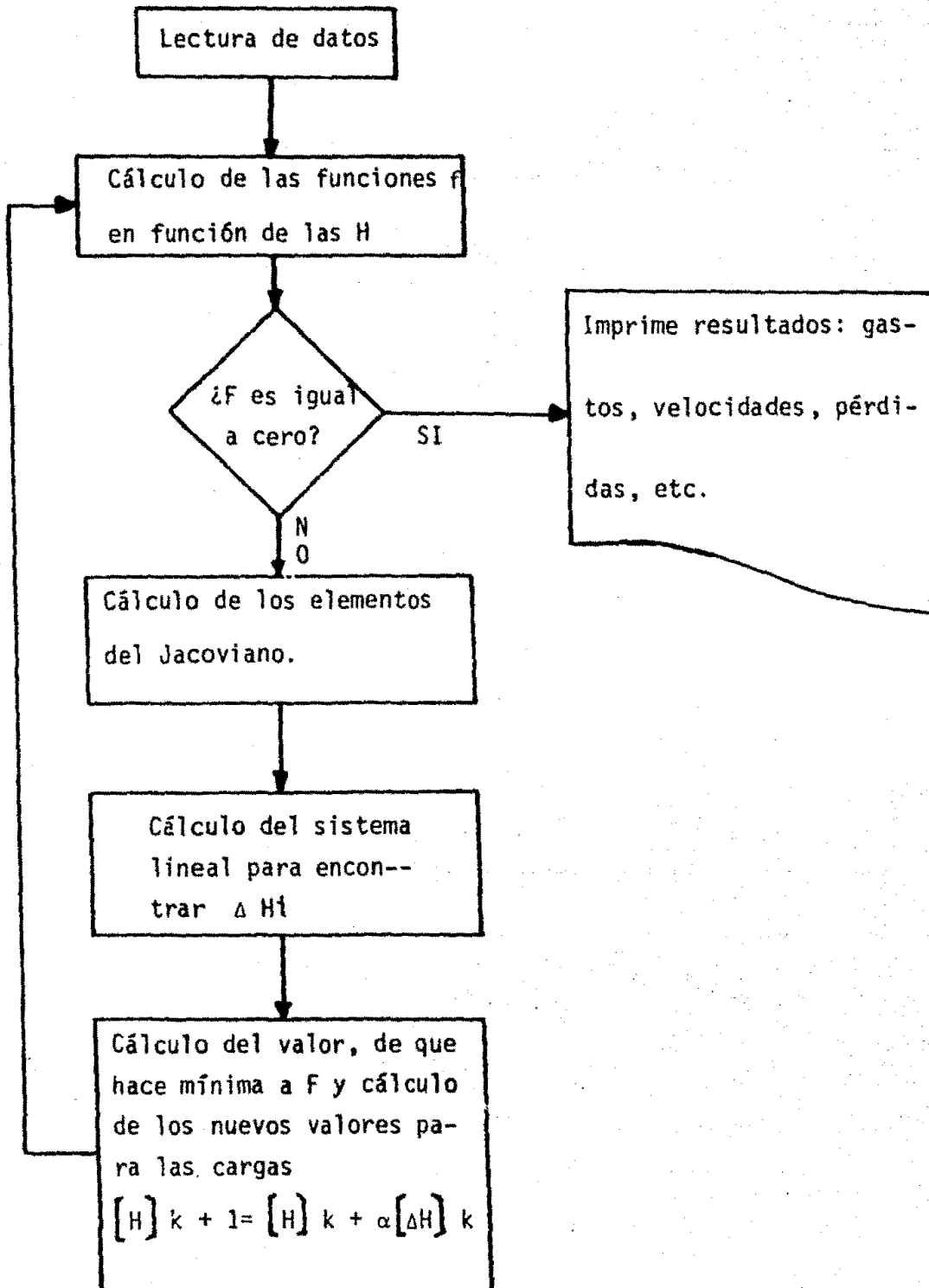
n número de ecuaciones igual al N° de incógnitas.

K número de iteración.

De esta forma en cada valor encontrado de H va decreciendo hasta valer cero, implicando que las F_j valgan cero y así el sistema de ecuaciones será resuelto.

A continuación se muestra el diagrama de flujo, en forma sintética, del programa.

DIAGRAMA DE FLUJO SIMPLIFICADO



VIII. CONCLUSIONES

Queda establecida la metodología de ampliaciones y modificaciones a la red de distribución de agua potable en la ciudad de México, bajo condiciones restringentes tanto de gasto como de carga en los puntos de entrada a la red, pudiendo establecerse que si hubiera cambios en el programa y método de explotación de las fuentes futuras, podrán determinarse en tiempo razonable las modificaciones necesarias a la red.

El programa y métodos encontrados permite la comparación de los costos resultantes para diversas alternativas de modificaciones y ampliaciones a la red. El programa de costos existe y a la fecha se han realizado ya algunas aplicaciones (ref 13).

Sería de gran interés realizar estudios más completos, considerando además de las mencionadas, todas las posibles fuentes futuras, y analizar varias alternativas de modificaciones y ampliaciones, para que comparándolas, se pueda seleccionar la óptima.

IX. TABLAS

1. Delimitación del área metropolitana de la Ciudad de México para 1940-1950-1960.
2. Tasas de crecimiento de población en la República Mexicana, Valle de México, Distrito Federal y Ciudad de México.
3. Valle de México. Localidades, población y demandas de agua por tramo de acueducto.
4. Población y demandas en el área urbana fuera de la red primaria 1980.
5. Población y demandas en el área urbana fuera de la red primaria 1990.
6. Valle de México. Resumen de gastos medios disponibles 1980.
7. Valle de México. Resumen de gastos medios disponibles 1990.
8. Red primaria. Hoja de cálculos de distribución de gastos. Alternativa 1980.
9. Red primaria. Hoja de cálculos para corrección de diámetros. - Alternativa 1980.
10. Gastos en los puntos de entrada a la red primaria de distribución de agua potable de la Ciudad de México.
- 11.1 Red primaria. Alternativa 1980. Nuevas tuberías.

11.2. Red primaria. Tuberías paralelas. 1980

12. Red primaria. Nuevas tuberías y tuberías paralelas 1990.

13. Red primaria. Tuberías en que es necesario producir pérdida de carga.

TABLA 1.- DELIMITACION DEL AREA METROPOLITANA DE LA
CIUDAD DE MEXICO PARA 1940 - 1950 - 1960

UNIDADES ADMINISTRATIVAS DEL AREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO	ENTIDAD FEDERATIVA	P O B L A C I O N		
		1 9 4 0	1 9 5 0	1 9 6 0
CIUDAD DE MEXICO	D.F.	1 448 422	2 234 795	2 832 133
ATZCAPOTZALCO	D.F.	63 000	187 864	370 724
COYOACAN	D.F.	35 248	70 005	169 811
GUSTAVO A. MADERO	D.F.	41 567	204 833	579 180
MAGDALENA CONTRERAS	D.F.	13 159	21 955	40 724
OBREGON	D.F.	32 313	93 176	220 011
A.M.C.M. (1940)		1 633 709		
UNIDADES ANTERIORES, ADEMAS				
IXTACALCO	D.F.		33 945	198 904
IXTAPALAPA	D.F.		76 621	254 355
NAUCALPAN	EDO. DE MEX.		29 876	85 828
TLALNEPANTLA	EDO. DE MEX.		29 005	105 447
A.M.C.M. (1950)		2 982 075		
UNIDADES DE A.M.C.M. (1940), A.M.C.M. (1950), ADEMAS:				
CUAJIMALPA	D.F.			19 199
CHIMALHUACAN	EDO. DE MEX.			76 740
ECATEPEC	EDO. DE MEX.			40 815
LA PAZ	EDO. DE MEX.			7 880
TLALPAN	D.F.			61 195
A.M.C.M. (1960)		5 062 946		

TABLA 2.- TASAS DE CRECIMIENTO DE POBLACION EN LA
 REPUBLICA MEXICANA, VALLE DE MEXICO,
 DISTRITO FEDERAL Y CIUDAD DE MEXICO

AÑO	POBLACION DEL PAIS		POBLACION DE LA CUENCA DEL VALLE DE MEXICO		POBLACION DEL AREA URBANA DE LA CIUDAD DE MEXICO	
	MILES DE HABITANTES	TASA MEDIA ANUAL (%)	MILES DE HABITANTES	TASA MEDIA ANUAL (%)	MILES DE HABITANTES	TASA MEDIA ANUAL (%)
1930	16 553	1.73	1 623	3.18	1 701	5.51
1940	19 654	2.75	2 225	5.03	2 955	4.91
1950	25 791	2.08	3 633	4.80	4 944	
1960	34 623		5 807			

AÑO	POBLACION DE DISTRITO FEDERAL		POBLACION DE LA CIUDAD DE MEXICO	
	Nº DE HABITANTES	TASA MEDIA ANUAL (%)	Nº DE HABITANTES	TASA MEDIA ANUAL (%)
1930	1 229 576	3.63	1 029 068	3.84
1940	1 757 530	5.67	1 448 422	4.45
1950	3 050 442	4.78	2 234 795	2.40
1960	4 870 876		2 832 133	

TABLA 3. VALLE DE MEXICO. LOCALIDADES, POBLACION Y DEMANDAS DE AGUA POR TRAMO DE ACUEDUCTO

Acueducto	Tramo	POBLACION NOMBRE	Estado	Municipio	H A B I T A N T E S									DEMANDAS (m ³ /s)			
					1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	1970	1980	1990	
AGUAS DEL NORTE	N-3	Coyotepec	E. de M.	Coyotepec		3463	4159	4471	5967	7200	8700	10500	12400	0.017	0.025	0.038	
		Teoloyucan	E. de M.	Teoloyucan		992	1167	1993	2239	2840	3400	3920	4500	0.007	0.010	0.014	
	N-4	Tepetzotlán	E. de M.	Tepetzotlán		1454	1378	1625	2648	3600	4800	6000	7300	0.009	0.014	0.022	
	N-5	Sta. Bárbara	E. de M.	Cuautitlán		498	516	558	842	1275	1900	2600	3500	4500	0.005	0.008	0.013
		Cuevas	E. de M.	Zumpango		1087	1136	1453	1619	1844	2090	2340	2590	2840	0.005	0.007	0.039
	N-8	San Juan Zitlaltepec	E. de M.	Zumpango		2367	3115	3821	4453	5680	6700	8000	9350	10750	0.016	0.023	0.034
		Zumpango	E. de M.	Zumpango			4484	5583	6539	8371	9700	11400	13100	14900	0.023	0.033	0.047
	N-9	San Sebastián	E. de M.	Zumpango			778	719	841	1002	1200	1320	1670	1980	0.003	0.004	0.006
	N-10	San Andrés Jalisco	E. de M.	Jalisco			1203	1464	1727	1965	2250	2500	2760	3020	0.005	0.007	0.010
	N-11	Sta. Ana Nextlalpan	E. de M.	Nextlalpan			1524	1556	1670	2329	2760	3360	4080	4800	0.007	0.010	0.015
		Visitación	E. de M.	Melchor O.		781	1016	1019	1398	1867	2550	3300	4200	5150	0.006	0.010	0.015
	N-12	Melchor Ocampo	E. de M.	Melchor O.			2252	2548	3018	3958	5250	6700	8100	9500	0.012	0.019	0.029
	N-13	Tultepec	E. de M.	Tultepec			2769	2566	4058	5601	7600	10000	12900	16300	0.018	0.029	0.047
		Cuautitlán	E. de M.	Cuautitlán			2360	3816	4830	8378	12300	17200	22000	27500	0.029	0.050	0.079
	N-15	Tultitlán	E. de M.	Tultitlán			2553	2730	3710	5900	9200	13600	19400	26600	0.022	0.039	0.070
	N-16	Tizayuca	Hidalgo	Tizayuca			2512	3033	3252	4692	6150	8100	10050	12000	0.015	0.023	0.036
		San Martín de las Pirámides	E. de M.	S. M. de las P.			1660	2243	2632	3197	3720	4240	4760	5260	0.009	0.012	0.017
	N-17	San Juan Teotihuacán	E. de M.	Teotihuacán			1347	1353	1764	2294	2960	3860	4760	5700	0.007	0.011	0.017
		Santiago Atlatongo	E. de M.	Teotihuacán			-	888	1091	1145	1230	1290	1350	1390	0.003	0.004	0.005
		Tecámac	E. de M.	Tecámac			774	831	1058	1754	2800	3900	5350	6900	0.007	0.011	0.019
	N-19	Gpe. Victoria	E. de M.	Ecatepec		240	305	773	838	1345	1700	2150	2700	3250	0.004	0.006	0.010
N-20	Coacalco	E. de M.	Coacalco			916	1152	1467	2676	4300	6100	7800	9500	0.010	0.018	0.023	
N-21	San Fco. Chilpan	E. de M.	Tultitlán		477	526	693	1346	3149	6100	9100	12200	15200	0.014	0.026	0.044	
	Barrientos	E. de M.	Tlalnepantla		-	-	-	-	1407	-	-	-	-	0.253	0.399	0.62	
Tepeji Guadalupe	Tepeji del río	Hidalgo	Tepeji del río			4799	5815	7614	9251	10000	11900	13200	14600	0.024	0.034	0.048	
CHICONAUTLA		Ecatepec de Morelos	E. de M.	Ecatepec			1116	1422	2112	4632	8800	14200	19600	26600			
	CH-1	Sto Tomás Chiconautla	E. de M.	Ecatepec		460	597	648	773	2821	3400	5100	7000	9000	0.008	0.015	0.025
		Sta. Ma. Chiconautla	E. de M.	Ecatepec		503	606	957	832	1331	1700	2200	2700	3200	0.004	0.006	0.010
	CH-3	Sta. Clara	E. de M.	Ecatepec		2060	2323	2596	4089	7567	11000	15000	19000	23000	0.026	0.043	0.069
														0.038	0.064	0.104	

TABLA 3. (Continuación)

Acueducto	Tramo	POBLACION NOMBRE	Estado	Municipio	H A B I T A N T E S									DEMANDAS (m ³ /s)		
					1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	1970	1980	1990
L E R M A	L-1	Toluca	E. de M.	Toluca		41234	43429	52983	77124	108000	140000	171000	202000	0.256	0.405	0.617
	L-2	Techuchulco de Allende	E. de M.	Jocuicingo	1053	1271	1306	1547	1797	2100	2400	2750	3100	0.005	0.007	0.010
	L-2	Almoloya del río	E. de M.	Almoloya	726	733	2702	2985	3387	3700	4100	4300	4500	0.009	0.012	0.016
	L-2	S. Pedro Cholula	E. de M.	Ocoyoácac	458	516	1379	1776	2230	2700	3000	3450	3800	0.006	0.009	0.012
	L-2	Ocoyoácac	E. de M.	Ocoyoácac	2430	2153	3133	3483	4135	5000	6000	7100	8200	0.012	0.017	0.026
	L-2	S. Miguel Ameyalco	E. de M.	Lerma	1539	1578	1564	2007	1939	2200	2350	2500	2600	0.005	0.007	0.009
	L-2	S. Mateo Texcalyacac	E. de M.	Texcalyacac	1122	1209	1417	1343	1216	-	-	-	-	-	-	-
	L-3	S. Fco. Xochicuautla	E. de M.	Lerma	1105	1094	1152	1382	2260	4000	5600	7600	9400	0.009	0.016	0.027
	L-3	Huixquilucan	E. de M.	Huixquilucan		1022	1666	1813	2434	2900	3400	3900	4350	0.007	0.010	0.014
													0.309	0.483	0.731	
C H A L C O	C-1	Chalco	E. de M.	Chalco	2209	3208	3609	5213	7595	10500	13600	16000	20500	0.025	0.039	0.058
	C-1	Cocotitlán	E. de M.	Cocotitlán	1514	1834	2369	2699	3211	3700	4100	4600	5100	0.009	0.012	0.017
	C-1	Temamatla	E. de M.	Temamatla	-	-	-	-	836	-	-	-	-	-	-	-
	C-1	S. Pablo Atlazalpan	E. de M.	Chalco	787	778	1837	1749	2686	3250	3850	4400	5000	0.008	0.011	0.016
	C-1	San Mateo Huitzilzingo	E. de M.	Chalco	-	-	-	1216	1621	2050	2450	2850	3250	0.005	0.007	0.010
	C-2	Mixquic	D. F.	Tláhuac	1832	2147	2552	3364	4285	5400	6600	7900	9300	0.013	0.019	0.029
	C-2	S. Lorenzo Tezonco	D. F.	Ixtapalapa	1502	1645	1934	3208	7364	13500	19500	25500	31500	0.032	0.056	0.092
	C-2	Tetelco	D. F.	Tláhuac	408	520	683	902	1340	2000	2800	3700	4700	0.005	0.008	0.013
	C-2	S. Antonio Tecómitl	D. F.	Milpa Alta	1160	1482	-	2452	3652	4500	5600	6800	8000	0.011	0.016	0.025
	C-2	S. Juan Ixtayopan	D. F.	Tláhuac	1047	1507	1913	2595	3620	4800	6300	7900	9600	0.011	0.018	0.029
	C-2	Tulyehualco	D. F.	Xochimilco	1910	2605	-	4089	4628	5500	6200	6900	7600	0.013	0.018	0.025
	C-3	S. Gregorio Atlapulco	D. F.	Xochimilco	2756	3300	-	5555	7745	10800	13700	17000	20200	0.026	0.040	0.061
	C-4	Tláhuac	D. F.	Tláhuac	2017	2793	3296	4818	5936	7000	8000	9000	10000	0.017	0.026	0.032
	C-4	Tlaltemco	D. F.	Tláhuac	1998	2313	2711	3934	5743	8200	11100	14100	17000	0.019	0.032	0.051
X O C H I M I L C O														0.194	0.299	0.458
		Xochimilco	D. F.	Xochimilco	8936	11628	13605	20685	30031	42500	56000	69000	83500	0.101	0.162	0.249
		Huipulco	D. F.	Tlalpan	301	711	815	2536	5596	9400	13400	18100	22500	0.022	0.039	0.065
		Tepepan	D. F.	Xochimilco	1354	1703	-	3165	6792	13000	20500	28000	35500	0.031	0.059	0.101
									18500	27000	38000	51000				

TABLA 3. (Continuación)

Acueducto	Tramo	POBLACION NOMBRE	Estado	Municipio	H A B I T A N T E S									DEMANDAS (m ³ /s)			
					1921	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	1970	1980	1990	
LOS LEONES	Ojo de agua Saucedá	Contadero	D.F.	Cuajimalpa	17	23	530	950	1686	2550	3450	4400	5350	0.006	0.010	0.016	
		Cuajimalpa	D.F.	Cuajimalpa	2353	4377	2156	3505	9111	14600	20800	27400	34600	0.035	0.060	0.099	
		S. Mateo Tlaltenango	D.F.	Cuajimalpa	516	661	641	1039	1896	3100	4300	5500	6700	0.007	0.012	0.020	
		Sta. Rosa (Parada de)	D.F.	Cuajimalpa	-	-	43	-	647	800	1050	1300	1550				
		S. Bartolo Ameyalco	D.F.	A. Obregón	939	1140	1181	1651	2634	3900	5400	7000	8600	0.009	0.016	0.025	
		Sta. Rosa Xochiac	D.F.	A. Obregón	1075	1235	1370	1864	2368	2650	3000	3400	3750	0.006	0.009	0.012	
		Chimalpa	D.F.	Cuajimalpa	994	883	925	1087	1380	1800	2250	2700	3200	0.004	0.007	0.010	
		Las Cruces	D.F.	Cuajimalpa	18	-	23	34	1686	2550	3700	5000	6200	0.006	0.011	0.018	
MONTE ALEGRE	Ojo de agua Saucedá	Ajusco	D.F.	Tlalpan	635	1282	1123	2032	2751	3550	4350	5200	600	0.008	0.013	0.019	
		La Magdalena Petlatlaco	D.F.	Tlalpan	233	387	518	641	1059	1400	1750	2150	2550				
		S. Mateo Xicalco	D.F.	Tlalpan	-	-	-	-	854	-	-	-	-				
		S. Mateo Xalpa	D.F.	Xochimilco	755	836	965	1253	1892	2700	3600	4600	5600	0.006	0.010	0.017	
		Sta. Cecilia Tepatlapa	D.F.	Xochimilco	253	324	454	589	953	1350	1800	2300	2750				
		Sn. Lorenzo Tlacoyucan	D.F.	Milpa Alta	364	483	537	824	1089	1350	1650	1950	2250				
		Sn. Salvador Cuauhtenco	D.F.	Milpa Alta	-	-	885	1052	1473	1900	2400	2900	3400	0.005	0.007	0.010	
		Milpa Alta	D.F.	Milpa Alta	3070	3720	4084	5299	7118	9500	12200	15000	17700	0.023	0.035	0.054	
		Sn. Lucas Xochimanco	D.F.	Xochimilco	404	596	864	1115	1779	2400	3100	3850	4600	0.006	0.009	0.014	
		Sn. Luis Tlaxiátenalco	D.F.	Xochimilco	432	574	781	1016	1378	1750	2200	2600	3000	0.004	0.006	0.009	
		Ahuayucan	D.F.	Xochimilco	-	-	-	-	899								
		Tlalpan	D.F.	Tlalpan	6372	8179	10436	18140	22957	28500	35000	42000	49000				
		Sn. Miguel Topilejo	D.F.	Tlalpan	1111	1516	2129	2368	3274	4100	5000	5900	6800	0.010	0.014	0.021	
		Santiago Tepalcatlalpan	D.F.	Xochimilco	1537	2069	-	2766	4174	5800	7800	10000	12600	0.014	0.023	0.036	
Sn Pedro Atocpan	D.F.	Milpa Alta	696	1058	1700	1990	2544	3100	3700	4400	5000	0.007	0.011	0.016			
Sta. Ana Tlacotenco	D.F.	Milpa Alta	681	1244	1895	2481	3067	3600	4100	4500	5000	0.009	0.012	0.016			

TABLA 4. POBLACION Y DEMANDAS EN EL AREA URBANA FUERA DE LA RED PRIMARIA
1980

(Dotación 395 lts/hab/día)

Acueducto	Zona	ENTIDAD CENSAL	Superficie		Densidad Hab/km ²	Población Habs	Demanda m ³ /seg	Ramal
			Planímetro cm ²	km ²				
Lerma	1	Naucalpan	26.4	11.73	3 410.89	40,010	0.183	L-4
	2	Cuartel IX	12.5	5.56	41 762.24	232,198	1.061	L-6
Lerma	3	Cuartel XI	31.6	14.04	41 762.24	586,342	2.680	L-7
		V. A. Obregón	27.2	12.09	11 860.31	143,391	0.655	L-9
Lerma	4	Cuartel X	3.3	1.47	30 355.57	44,623	0.204	L-11
		V. A. Obregón	38.0	16.89	11 860.31	200,321	0.916	L-11
Lerma	5	V. A. Obregón	30.4	13.51	11 860.31	160,233	0.732	L-13
		Contreras	8.5	3.78	3 855.98	14,576	0.067	L-13
		Coyoacán	49.0	21.78	7 639.18	166,381	0.761	L-13
Lerma	6	Contreras	29.6	13.17	3 855.98	50,783	0.232	L-14
Túnel Galer.1	7	Tlalpan	15.4	6.84	20 572.48	140,716	0.643	
Chiconau- tla	10	Ecatepec de M.	96.9	43.08	2 718.15	117,098	0.535	CH-3
	11	Tlalnepantla	51.0	22.66	4 839.81	109,670	0.501	CH-3
Tepeji-Gua- dalupe	12	Tlalnepantla	47.4	21.06	4 839.81	101,926	0.466	
Lerma	13	Tlalnepantla	45.2	20.08	4 839.81	97,183	0.444	L-15
	14	Naucalpan	80.2	35.63	3 410.89	121,530	0.556	L-15

TABLA 5. POBLACION Y DEMANDAS EN EL AREA URBANA FUERA DE LA RED PRIMARIA.
1990.

(Dotación:410 lts/hab/día)

Acueducto	Zona	ENTIDAD CENSAL	Superficie		Densidad Hab./km ²	Población Habs.	Demanda m ³ /seg	Ramal
			Planímetro cm ²	km ²				
L E R M A	1	Naucalpan	29.0	12.89	3 947.99	50,890	0.241	L-14
	2	Cuartel IX	12.5	5.56	55 153.82	306,655	1.455	L-6
	3	Cuartel XI	31.6	14.04	55 153.82	774,360	3.674	L-7
		V. A. Obregón	36.3	16.13	10 991.24	177,289	0.841	L-9
	4	Cuartel X	3.3	1.47	38 859.33	57,123	0.271	L-11
		V. A. Obregón	55.5	24.67	10 991.24	271,154	1.287	L-11
	5	V. A. Obregón	55.0	24.44	10 991.24	268,626	1.275	L-13
Contreras		8.5	3.78	5 535.92	20,926	0.099	L-13	
Coyoacán		49.0	21.78	12 151.39	264,657	1.256	L-13	
6	Contreras	29.6	13.17	5 535.92	72,008	0.346	L-14	
Túnel Galer.1	7	Tlalpan	18.9	8.41	27 609.35	232,195	1.102	
Chiconautla	10	Ecatepec	113.6	50.51	3 862.93	195,117	0.926	CH-3
	11	Tlalnepantla	51.0	22.66	9 230.50	209,163	0.992	CH-3
Tepeji-Guadalupe	12	Tlalnepantla	81.0	35.98	9 230.50	332,113	1.576	
Lerma	13	Tlalnepantla	11.6	5.16	9 230.50	47,629	0.226	L-15
	14	Naucalpan	93.0	41.34	3 947.99	163,210	0.774	L-15
					3 444,015	16.341		

TABLA 6. VALLE DE MEXICO. RESUMEN DE GASTOS MEDIOS DISPONIBLES 1980

	FUENTES	Capacidad m ³ /seg	Demanda m ³ /seg	Sobrante m ³ /seg	Zona de la demanda fuera de la red primaria
EXISTENTES	Lerma	14.300	8.960	5.340	Poblaciones cerca del Acueducto y zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13 y 14
	Chiconautla	3.300	1.094	2.206	Poblaciones cerca del Acueducto y zonas 10 y 11
	Xotepingo	1.500	--	1.500	
	Chalco	2.500	0.292	2.208	Poblaciones cerca del Acueducto
	Xochimilco	2.800	0.260	2.540	Poblaciones cerca del Acueducto
	Peñón	0.500	--	0.500	
	Manantiales	0.400	0.400	--	Poblaciones cerca del Acueducto
FUTURAS Alternativa 1 Alto balsas	J-0 Chalco*	3.000	--	3.000	Netzahualcóyotl
	J-1 Guadalupe	2.400	--	2.400	
	J-2 Tepeji	6.600	0.500	6.100	Tepeji del río y Z-12
	J-3 Aguas del Norte	9.000	0.378	8.622	Poblaciones cerca del Acueducto
	J-4 Túnel Galería 1	1.500	0.643	0.857	Z-7 (Tlalpan)
	J-5 Túneles 2 y 3	2.000	--	2.000	
	J-6 Texcaltitlán	3.000	--	3.000	
	J-9 Villa Victoria	4.000	--	4.000	
	J-10 Valle de Bravo en operación	10.020	--	10.020	
	SUMAS	66.820	12.527	54.293	
			35.055		Red Primaria
			19.238		Otros usos y poblaciones
SUMA TOTAL	66.820	66.820	0.000		

* De esta fuente se explotará independientemente 1 m³/seg más para el abastecimiento de ciudad Netzahualcóyotl.

TABLA 7. VALLE DE MEXICO. RESUMEN DE GASTOS MEDIOS DISPONIBLES 1990

FUENTES		Capacidad m ³ /seg	Demanda m ³ /seg	Sobrante	Zona de la demanda fuera de la red primaria
EXISTENTES	Lerma	14.300	12.476	1.824	Poblaciones cerca del Acueducto y zonas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 13 y 14
	Chiconautla	3.300	2.022	1.278	Poblaciones cerca del Acueducto y zonas 10 y 11
	Xotepingo	1.500	-	1.500	
	Chalco*	2.500	0.458	2.042	Poblaciones cerca del Acueducto
	Xochimilco	2.800	0.415	2.385	Poblaciones cerca del Acueducto
	Peñón	0.500	-	0.500	
	Manantiales	0.400	0.400	-	Poblaciones cerca del Acueducto
FUTURAS ALTERNATIVA 1 ALTO BALSAS	J= 0 Chalco	3.000	-	3.000	
	J= 1 Guadalupe	2.400	-	2.400	
	J= 2 Tepeji	6.600	1.624	4.976	Tepeji del Río y Z-12
	J= 3 Aguas del Norte	9.000	0.613	8.387	Poblaciones cerca del Acueducto
	J= 4 Túnel Galería 1	1.500	1.102	0.398	Z-7 (Tlalpan)
	J= 5 Túneles 2 y 3	2.000	-	2.000	
	J= 6 Texcaltitlán	3.000	-	3.000	
	J= 7 Paso del Cobre	6.500	-	6.500	
	J= 8 Túnel 5	0.000	-	0.000	
	J= 9 Villa Victoria	4.000	-	4.000	
	J= 10 Valle de Bravo	17.000	-	17.000	
	J= 11 Colorines	9.500	-	9.500	
	J= 12 Alejandra	4.000	-	4.000	
	J= 13 Astilleros (operación)	6.000	-	6.000	
SUMAS		99.800	19.110	80.690	
			49.331		RED PRIMARIA
			31.359		OTROS USOS Y POBLACIONES
SUMA TOTAL		99.800	99.800	00.000	

* De esta fuente se explotará independientemente 1 m³/seg para el abastecimiento de ciudad Netzahualcóyotl.

TABLA 8. RED PRIMARIA. HOJA DE CALCULOS DE DISTRIBUCION DE GASTOS.
ALTERNATIVA 1980 .

Nodo	Gastos m ³ /seg				Tubería nodo-nodo	Tubería original		Llevará gasto (m ³ /seg)	Diámetro equivalen- te (m)	Nuevo Diámetro (m)
	Entra	Procede	Consumo	Sale		Diámetro (m)	Capacidad (m ³ /seg)			
99	14.00	Entrada	1.47	12.53	99-100	—	—	4.33	1.80	2.00
					99-85	—	—	8.20	2.20	2.50
85	8.20	99	1.51	6.69	85-10	1.22	1.69	6.19	2.00	2.40
					85-100	1.22	1.69	0.50	—	1.22
100	4.33 0.50 <u>4.83</u>	99 85	0.72	4.11	100-61	1.22	1.69	4.11	1.75	1.80
61	4.11	100	0.49	3.62	61-93	1.22	1.69	1.03	—	1.22
					61-55	0.51	0.17	2.25	1.35	1.35
					61-75	0.51	0.17	0.34	0.67	0.70
9	3.31	Entrada	0.18	3.13	9-10	1.22	1.69	2.90	—	1.22
					9-11	0.51	0.17	0.23	—	0.51
10	6.19 2.90 <u>9.09</u>	85 9	0.94	8.15	10-16	1.22	1.69	2.20	—	1.22
					10-11	1.22	1.69	5.95	1.95	2.00
11	5.95 0.23 <u>6.18</u>	10 9	0.20	5.98	11-12	0.51	0.17	0.13	0.51	0.51
					11-19	1.22	1.69	5.85	2.00	2.00
19	5.85	11	0.68	5.17	19-86	—	—	3.67	1.60	1.80
					19-21	1.22	1.69	1.50	1.22	1.22
86	3.67	19	0.62	3.05	86-24	—	—	2.02	1.32	1.52
					86-87	—	—	1.86	1.26	1.52

TABLA 9. RED PRIMARIA. HOJA DE CALCULOS PARA CORRECCION DE DIAMETROS. ALTERNATIVA 1980

Nodo	Tuberia	Diámetro instalado (m)	$Q_{supuesto}$ (m ³ /seg)	d_2	Q_2	$\left(\frac{Q_s}{Q_2}\right)^{0.38}$	$\left(\frac{Q_s}{Q_2}\right)^{0.38} d_2$	d_3
1	1-81	1.07	2.29	1.37	3.48	0.852	1.16	1.07
2	2-38	0.51	2.29	1.15	2.15	1.022	1.17	1.15
3	3-56	1.52	1.40	1.13	2.74	0.775	0.87	0.80
	3-40	0.76	0.45	0.76	0.93	0.761	0.58	0.60
4	4-68	1.22	0.16	0.51	0.21	0.901	0.46	0.46
5	5-83	1.22	0.56	0.63	0.51	1.037	0.65	0.63
6	6-94	1.22	1.00	1.22	0.62	1.166	1.42	1.22
	6-96	no hay	recibe 3.00	1.52	corrección en el 96-6			1.52
	6-82	1.22	3.00	1.60	2.52	1.068	1.71	1.75
	6-77	1.58	4.81	1.85	3.76	1.098	2.03	2.10
7	7-84	1.82	7.81	2.20	9.80	0.919	2.01	1.82
8	8-25	0.51	0.06	0.20	0.06	1.000	0.20	0.20
	8-46	0.51	0.06	0.23	0.06	1.000	0.23	0.23
9	9-10	1.22	2.90	1.22	4.19	0.872	1.06	1.06
	9-11	0.51	0.23	0.51	0.50	0.742	0.38	0.38
99	98-85	no hay	8.20	2.50	6.39	1.102	2.75	2.60
	99-100	no hay	4.33	2.00	3.64	1.068	2.14	2.20
101	101-96	no hay	12.50	2.80	10.44	1.068	2.98	2.80
10	10-9	1.22	recibe	1.22	corrección en el 9-10			1.06
	10-11	1.22	5.95	2.00	5.30	1.044	2.07	2.00
	10-16	1.22	2.20	1.22	2.40	no modificar		1.22
	10-85	1.22	recibe	2.40	corrección en el 85-10			2.50
11	11-9	0.51	recibe	0.51	corrección en el 9-11			0.38
	11-10	1.22	recibe	2.00	corrección en el 10-11			2.00

**TABLA 10.- GASTOS EN LOS PUNTOS DE ENTRADA A LA RED
PRIMARIA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE
DE LA CIUDAD DE MEXICO**

Nodo	Gasto de entrada m ³ /seg	
	1980	1990
1	2.27	0.91
2	2.48	0.98
3	2.25	0.97
4	0.57	0.00
5	0.52	0.00
6	5.66	6.31
7	7.75	7.35
8	0.75	0.90
9	3.46	1.86
99	14.07	23.50
101	12.63	31.15
SUMA	52.41	73.93

TABLA 11.1. RED PRIMARIA. ALTERNATIVA 1980. NUEVAS TUBERIAS.

Tramo	Longitud (m)	Diámetro (m)													
		C = 100						C = 140							
		Diám. efet.	No.	Diám.	No.	Diám.	No.	Diám.	Diám. efet.	No.	Diám.	No.	Diám.	No.	Diám.
19-86	4 200	1.80	1	1.52	1	1.22			1.58	2	1.22				
48-103	1 100	1.07	1	1.07					0.94	1	0.91				
74-102	1 320	1.52	1	1.52					1.34	1	1.22	1	0.76		
84-98	4 170	1.52	1	1.52					1.34	1	1.22	1	0.76		
86-87	2 440	1.52	1	1.52					1.34	1	1.52				
87-88	333	1.52	1	1.52					1.34	2	1.07				
88-89	6 530	0.51	1	0.51					0.45	1	0.51				
91-92	4 000	0.91	1	0.91					0.80	1	0.91				
93-76	2 260	1.07	1	1.07					0.94	1	0.91				
95-84	2 800	2.60	4	1.52					2.28	3	1.52				
96-6	4 350	1.52	1	1.52					1.34	2	1.07				
96-97	5 660	3.00	6	1.52					2.64	4	1.52	1	1.07		
97-94	2 800	1.22	1	1.22					1.07	1	1.07				
97-95	800	2.65	4	1.52	1	1.07			2.34	2	1.52	1	1.22	1	0.91
98-91	8 130	1.52	1	1.52					1.34	1	1.22	1	0.76		
99-85	4 480	2.60	4	1.52	1	0.76			2.29	3	1.52				
99-100	4 800	2.20	2	1.52	1	1.22	1	0.51	1.94	2	1.52				
101-06	2 160	2.80	5	1.52					2.46	3	1.52	1	1.22		

TABLA 11.2. RED PRIMARIA. TUBERIAS PARALELAS. 1980.

Tramo	Longitud (m)	Diámetro instalado C = 100 (m)	C = 100				C = 140						
			Diám elect.	No	Diám	No	Diám	0.715 (de ^{7.63} - di ^{2.63})	No	Diám	No	Diám	
2-38	4 000	0.51	1.15	1	1.07				0.93	1	1.07		
6-82	1 134	1.22	1.75	1	1.22	1	1.07		1.90	1	1.22	1	0.61
6-77	1 320	1.58	2.10	1	1.58	1	1.07		2.70	1	1.22	1	1.07
10-11	940	1.22	2.00	1	1.52	1	1.22		3.30	1	1.52	1	0.61
11-19	900	1.22	2.00	1	1.52	1	1.22		3.30	1	1.52	1	0.61
24-23	2 300	0.51	0.76	1	0.61				0.23	1	0.61		
40-54	2 600	0.51	0.91	1	0.76				0.43	1	0.76		
47-46	1 000	0.51	0.91	1	0.76				0.43	1	0.76		
49-47	740	0.51	2.00	2	1.52				4.38	1	1.52	1	1.22
50-49	800	1.22	2.30	2	1.52	1	1.07		5.20	1	1.52	2	1.07
58-48	2 120	1.22	1.55	1	1.22				1.06	1	1.07		
61-55	640	0.51	1.50	1	1.22	1	1.07		1.88	1	1.22	1	0.61
65-50	3 700	0.91	1.50	2	1.07				1.45	1	1.22		
66-58	2 620	1.22	1.50	1	1.07				0.80	1	0.91		
67-62	2 100	1.22	1.35	1	0.76				0.36	1	0.76		
68-79	1 750	0.91	1.22	1	1.07				0.65	1	0.91		
69-64	3 020	1.58	1.65	1	0.76				0.30	1	0.61		
71-67	1 100	1.22	1.40	1	0.91				0.51	1	0.76		
72-65	3 500	0.91	1.60	1	1.52				1.95	1	1.22	1	0.61
73-74	1 660	1.22	1.65	1	1.22	1	0.76		1.50	1	1.22		
77-69	2 220	1.58	1.80	1	1.22				1.00	1	1.07		
80-72	680	1.82	1.90	1	0.91				0.50	1	0.76		
80-91	8 225	1.22	2.00	1	1.52	1	1.22		3.30	1	1.52	1	0.61
83-68	1 930	1.22	1.45	1	1.07				0.55	1	0.91		
84-80	800	1.82	2.60	2	1.52	1	1.22		5.50	2	1.52		
85-10	2 300	1.22	2.50	3	1.52				6.80	2	1.52	1	0.91
86-24	1 865	0.51	1.00	1	0.91				0.58	1	0.91		
88-25	2 665	0.51	0.91	1	0.91				0.43	1	0.76		
89-50	1 665	1.22	2.30	2	1.52	1	1.07		5.40	1	1.52	2	1.07

TABLA 11.2. (Continuación)

90-99	.3795	1.22	2.10	2	1.52			3.80	1	1.52	1	0.91
91-90	2065	1.22	2.10	2	1.52			3.80	1	1.52	1	0.91
94-73	674	1.22	1.55	1	1.22			1.08	1	1.07		
100-61	666	1.22	2.00	1	1.52	1	1.22	3.30	1	1.52	1	0.61
102-66	2170	1.22	1.45	1	1.07			0.71	1	0.91		

TABLA 12. RED PRIMARIA. NUEVAS TUBERIAS Y TUBERIAS PARALELAS. 1990.

(Cálculos con base en la segunda alternativa de 1980)

Tramo	Longitud (m)	Diámetro efectivo en 1980 C = 100 (m)	C = 100				C = 140					
			Diám efect.	No	Diám	No	Diám	0.715 (de $d_e^{2.63} - d_i^{2.63}$)	No	Diám	No	Diám
6-94	1030	1.22	2.30	2	1.52	1	1.07	5.15	1	1.52	2	1.07
6-82	1134	1.75	2.10	1	1.22	1	1.07	1.89	1	1.22	1	0.61
6-77	1320	2.10	3.18	4	1.52	2	1.07	10.15	3	1.52	1	1.07
10-11	940	2.00	3.00	4	1.52			8.5	2	1.52	2	1.07
11-19	900	2.00	2.88	3	1.52	1	1.07	7.18	2	1.52	1	1.07
19-86	4200	1.80	2.72	3	1.52			6.50	2	1.52	1	0.76
22-29	440	1.22	1.52	1	1.22			0.94	1	1.07		
23-27	1200	1.22	1.40	1	0.91			0.51	1	0.76		
24-23	2300	0.76	1.59	1	1.52			2.06	1	1.22	1	0.76
26-20	800	0.91	1.45	1	1.22	1	0.51	1.32	1	1.22		
40-38	960	0.76	1.10	1	0.91			0.57	1	0.91		
47-46	1000	0.91	1.12	1	0.91			0.41	1	0.76		
47-31	2300	1.22	1.40	1	0.91			0.52	1	0.76		
49-47	740	2.00	2.50	3	1.22			3.60	1	1.52	1	0.91
50-49	800	2.30	2.70	1	1.52	1	1.22	3.33	1	1.52	1	0.76
51-56	1580	1.52	2.05	1	1.52	1	0.91	2.53	1	1.52		
53-54	220	1.22	1.40	1	0.91			0.52	1	0.76		
56-53	1500	0.91	1.55	1	1.22	1	0.91	1.71	1	1.22		
59-51	980	1.52	2.15	1	1.52	1	1.22	3.18	1	1.52	1	0.51
61-55	640	1.50	1.60	1	0.91			0.39	1	0.76		
62-64	2860	0.91	1.43	1	1.22	1	0.51	1.28	1	1.07		
63-59	600	1.52	2.23	1	1.52	2	1.07	3.72	1	1.52	1	0.91
64-63	320	1.52	2.20	1	1.52	2	1.07	3.56	1	1.52	1	0.91
65-50	3700	1.50	1.95	1	1.52			2.00	1	1.22	1	0.61
67-62	2100	1.35	1.75	1	1.22	1	0.76	1.54	1	1.22		
68-79	1750	1.22	1.38	1	0.91			0.46	1	0.76		
69-64	3020	1.65	2.10	1	1.52	1	0.61	2.34	2	1.07		
70-71	220	1.22	1.80	1	1.52			2.14	1	1.22	1	0.76
71-67	1100	1.40	2.05	1	1.52	1	1.07	2.95	1	1.52		

TABLA 12. (Continuación)

Tramo	Longitud (m)	Diámetro efectivo en 1950 C=100 (m)	C=100					C=140				
			Diám. efct.	No	Diám.	No	Diám.	0.715 $(\frac{2d_1^2 - d_2^2}{d_1^2 - d_2^2})$	No	Diám.	No	Diám.
72-65	3 500	1.60	1.90	1	1.22	1	0.61	1.39	1	1.22		
73-74	1 600	1.65	2.50	2	1.52	1	1.22	5.33	2	1.52		
74-71	900	1.22	1.48	1	1.07			0.79	1	0.91		
74-104*	2 620	1.52	1.87	1	1.22	1	0.91	1.61	1	1.22		
76-26	2 660	0.91	1.30	1	1.07			0.87	1	1.07		
77-69	2 700	1.80	2.40	1	1.52	2	1.07	3.79	1	1.52	1	0.91
77-78	3 230	1.22	2.00	1	1.52	1	1.22	3.19	1	1.52	1	0.61
78-83	660	1.22	1.50	1	1.07			0.86	1	1.07		
79-63	1 140	0.91	0.99	1	0.61			0.14	1	0.51		
80-91	8 225	2.00	2.65	2	1.52	1	0.91	4.90	3	1.22		
82-70	1 960	1.22	2.32	2	1.52	1	1.22	5.39	2	1.52		
84-60	800	2.60	2.70	1	1.07			0.93	1	0.91		
84-98	4 170	1.52	2.45	2	1.52	1	1.22	5.35	2	1.52		
85-10	2 300	2.50	3.00	2	1.52	1	0.91	4.85	1	1.52	1	1.22
86-87	2 440	1.52	2.30	2	1.52			4.25	1	1.52	1	1.07
86-24	1 865	1.00	1.70	1	1.52			2.17	1	1.22	1	0.76
87-88	333	1.52	2.29	2	1.52			4.95	3	1.22		
88-25	2 665	0.91	1.30	1	1.07			0.87	1	1.07		
91-90	2 065	2.10	2.30	1	1.22	1	0.61	1.39	1	1.07	1	0.51
93-76	2 260	1.07	1.40	1	1.07			0.86	1	1.07		
94-73	674	1.55	3.00	5	1.52			10.60	3	1.52	1	1.22
95-84	2 800	2.60	2.85	1	1.52	1	0.61	7.36	2	1.07		
96-6	4 350	1.52	2.82	4	1.52			8.59	3	1.52		
96-97	5 600	3.00	3.24	1	1.52	1	1.07	2.85	1	1.52		
97-94	2 800	1.22	2.07	3	1.22			3.65	1	1.52	1	0.91
97-95	800	2.65	2.95	1	1.52	1	1.07	2.93	1	1.52		
98-103	4 930	Nueva	1.22	1	1.22			1.21	1	1.07		
99-85	4 400	2.60	3.10	2	1.52	1	1.07	5.22	1	1.52	2	1.07
99-100	4 600	2.20	2.70	2	1.52			4.00	1	1.52	1	1.07
101-96	2 160	2.80	3.50	7	1.52			15.00	5	1.52		
104-66	1 170	1.45	1.50	1	1.22	1	0.76	1.47	1	1.22		

* El nodo "104" en 1950 es el nodo "102" en 1969, el nodo "105" en 1999 y el nodo "103" en 1980

TABLA 13. RED PRIMARIA. TUBERIAS EN QUE ES NECESARIO PRODUCIR PERDIDA DE CARGA

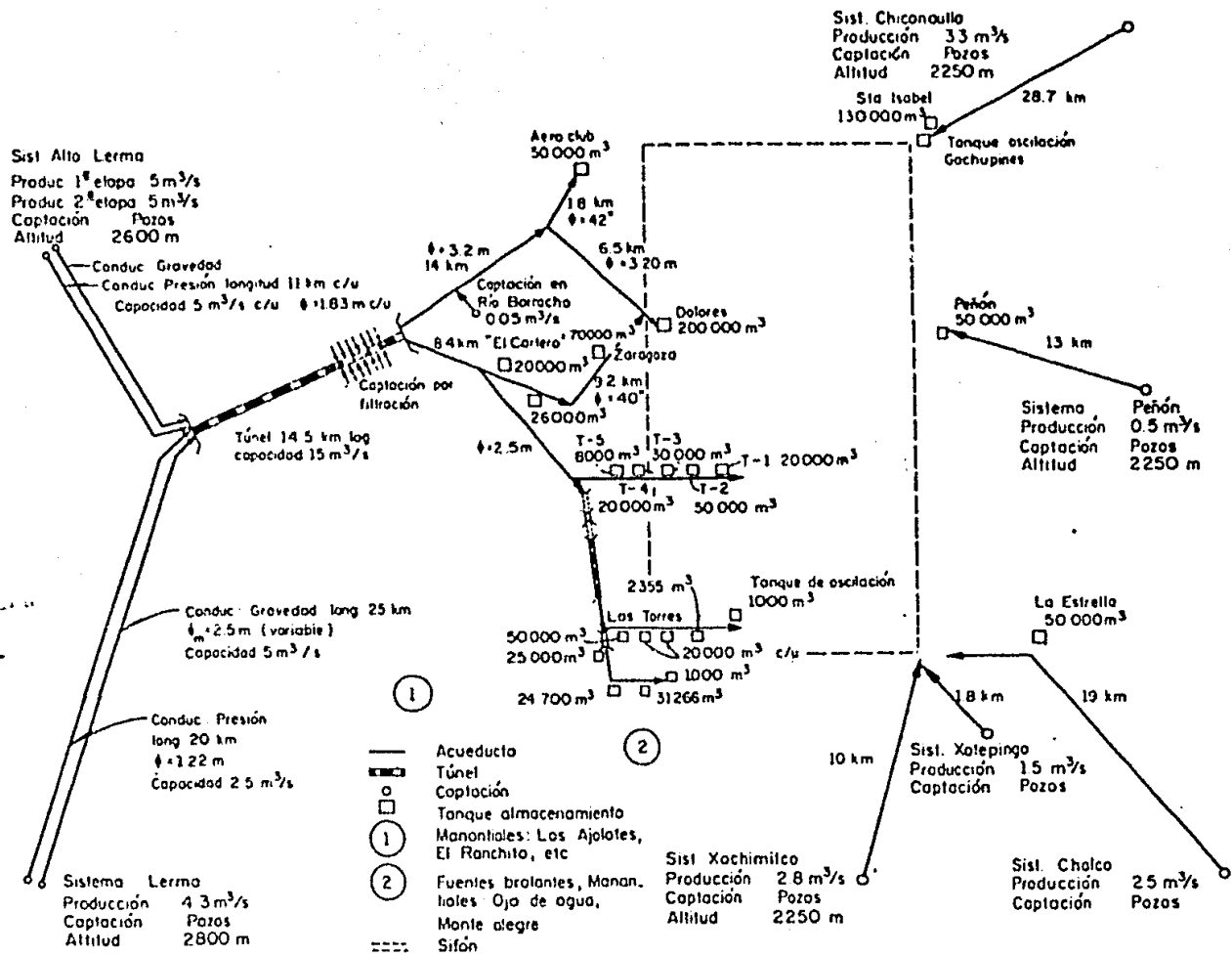
$$hor = he[1 - (de/di)^{4.87}]$$

Tramo	Diámetro instalado di (m) (en 1970)	Primera alternativa 1980			Segunda alternativa 1980			Alternativa única 1990		
		Diámetro efectivo de (m)	Pérdida programa he (m)	hor (m)	Diámetro efectivo de (m)	Pérdida programa he (m)	hor (m)	Diámetro efectivo de (m)	Pérdida programa he (m)	hor (m)
1-81	1.07	1.07	-	-	1.07	-	-	0.73	20.66	17.45
2-38	0.51	1.13	-	-	1.15	-	-	0.62	33.10	31.50*
3-56	1.52	0.78	22.10	21.30	0.80	15.56	14.90	0.15	17.09	17.05
3-40	0.76	0.58	15.46	11.35	0.60	14.00	9.55	0.45	32.13	29.65
4-68	1.22	0.42	14.14	14.00	0.46	6.52	6.48	-	-	-
5-83	1.22	0.60	15.88	15.34	0.63	9.72	9.33	-	-	-
6-94	1.22	0.63	4.16	4.00	1.22	-	-	2.30	-	-
6-82	1.22	1.05	7.20	3.75	1.75	-	-	2.10	-	-
6-77	1.58	1.52	7.23	1.16	2.10	-	-	3.18	-	-
7-84	1.82	1.82	-	-	1.82	-	-	1.52	7.76	4.53
8-25	0.51	0.20	26.53	26.30	0.20	30.57	30.20	0.15	24.43	24.30
8-46	0.51	0.23	35.93	35.05	0.23	28.97	28.30	0.15	27.63	27.60
9-10	1.22	0.97	8.40	5.63	1.06	10.40	5.12	0.76	12.06	10.85
9-11	0.51	0.51	-	-	0.38	11.99	9.10	0.38	12.68	9.65
81-20	1.22	1.10	6.99	2.80	1.22	-	-	0.54	8.68	8.50
81-93	1.22	1.22	-	-	1.22	-	-	0.70	4.03	3.76
84-80	1.83	1.10	11.79	10.8	2.60	-	-	2.70	-	-

* Calculado respecto a la segunda alternativa de 1980.

X. FIGURAS

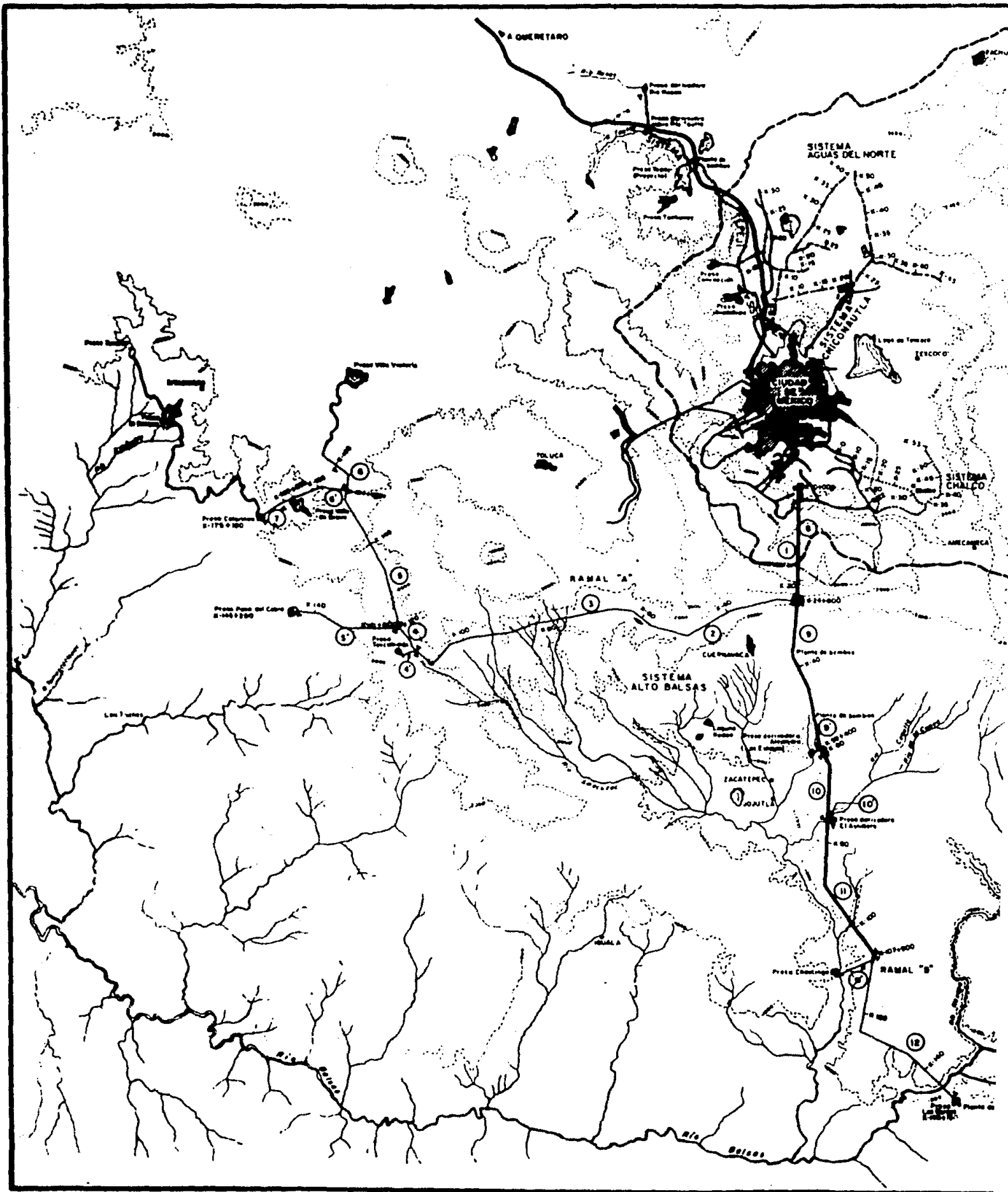
1. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Fuentes existentes.
2. Cuenca del Valle de México. Fuentes futuras de abastecimiento de agua potable.
3. Ciudad de México. Fuentes de abastecimiento futuro.
4. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Sistema de Acueductos y Zonas de Consumo 1980.
5. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Sistema de Acueductos y Zonas de Consumo 1990.
6. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Gastos disponibles en los puntos de entrada a la red primaria.1980.
7. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Gastos disponibles en los puntos de entrada a la red primaria 1990.
8. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Red primaria de distribución de agua potable 1980.
9. Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Red primaria de distribución de agua potable 1990.



Fuentes de abastecimiento que alimentan la red primaria de distribución de Agua Potable		Producción potencial (m ³ /s)
Alto Lerma	1ª Etapa (5 m ³ /s) 2ª Etapa (5 m ³ /s)	10.0
Lerma		4.3
Xochimilco		2.8
Xotepingo		1.5
Chalco		2.5
Peñón		0.5
Chiconautla		3.3
135 Pozos Municipales		5.8
837 Pozos Particulares		2.0

Otras fuentes de abastecimiento para la Cd. de México	Producción m ³ /s	Colonias y poblados a los que surten de agua
Manantiales Ajolotes	0.150	Tacubaya
El Ranchito	0.042	y Mixcoac
Otras fuentes	0.112	
Fuentes brotantes	0.056	Tlalpan, Arenal
Manantiales Monte Alegre	0.038	Tapitejo, Sn.Fca. Tlalnepantla, Santiago Tepalca. Hapa, Sn. Pedro Actopan, Sta Ana Cuauhtenco

FIG 1: Abastecimiento de agua de la Ciudad de México
Fuentes existentes



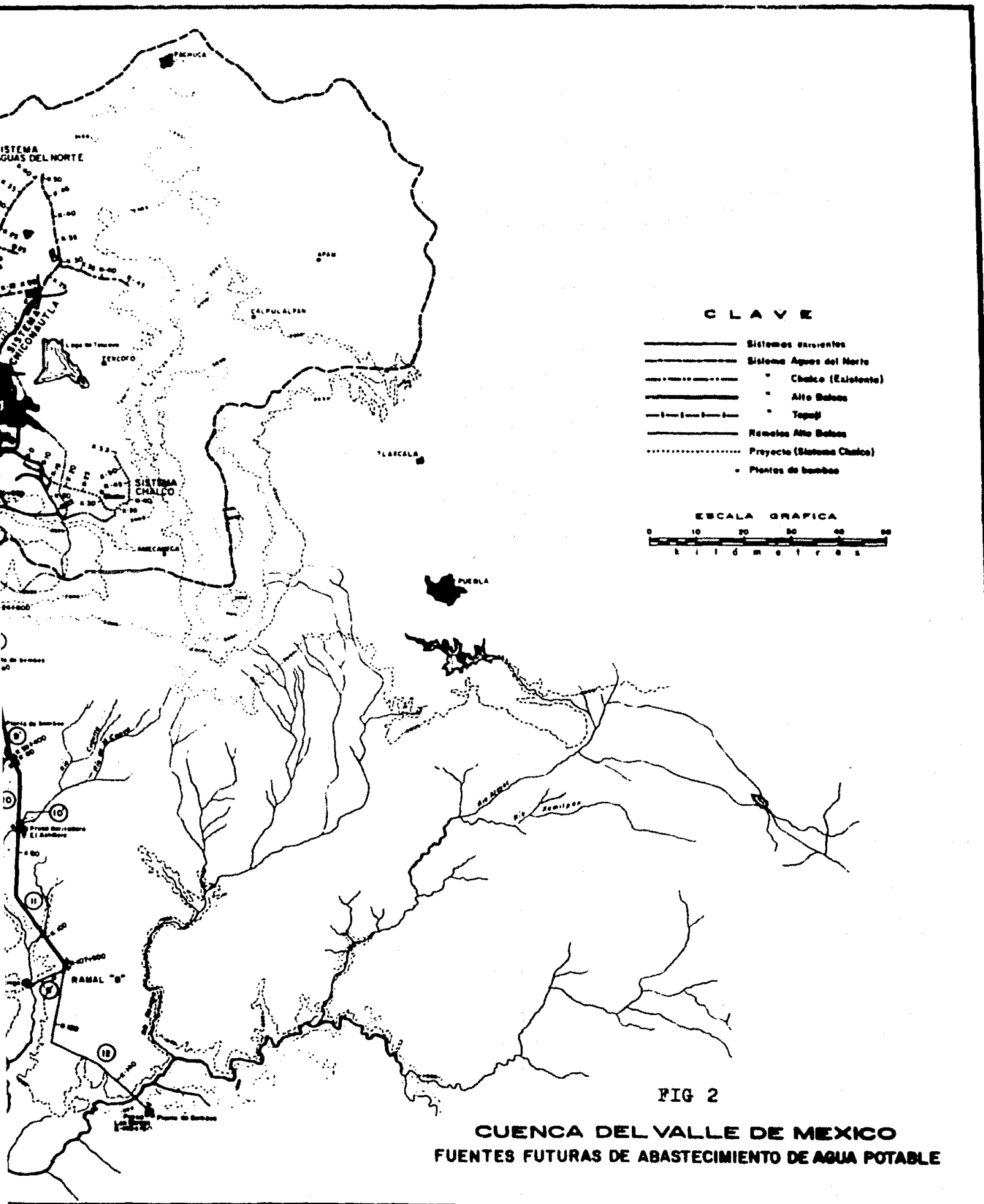


FIG 2
CUENCA DEL VALLE DE MEXICO
FUENTES FUTURAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE

Fuente	Gasto m ³ /seg
Chalco	3.00
Guadalupe	2.40
Tepeji	6.60
Aguas del norte	9.00
Túnel galería 1	1.50
Túneles 2 y 3	2.00
Texcaltitlán	3.00
Paso del Cobre	6.50
Villa Victoria	4.00
Valle de Bravo	17.00
Colorines	9.50
Alejandra	4.00
Astilleros	6.00
Chaucingo	42.00
Las Garzas	67.00
Túnel galería 8	1.50

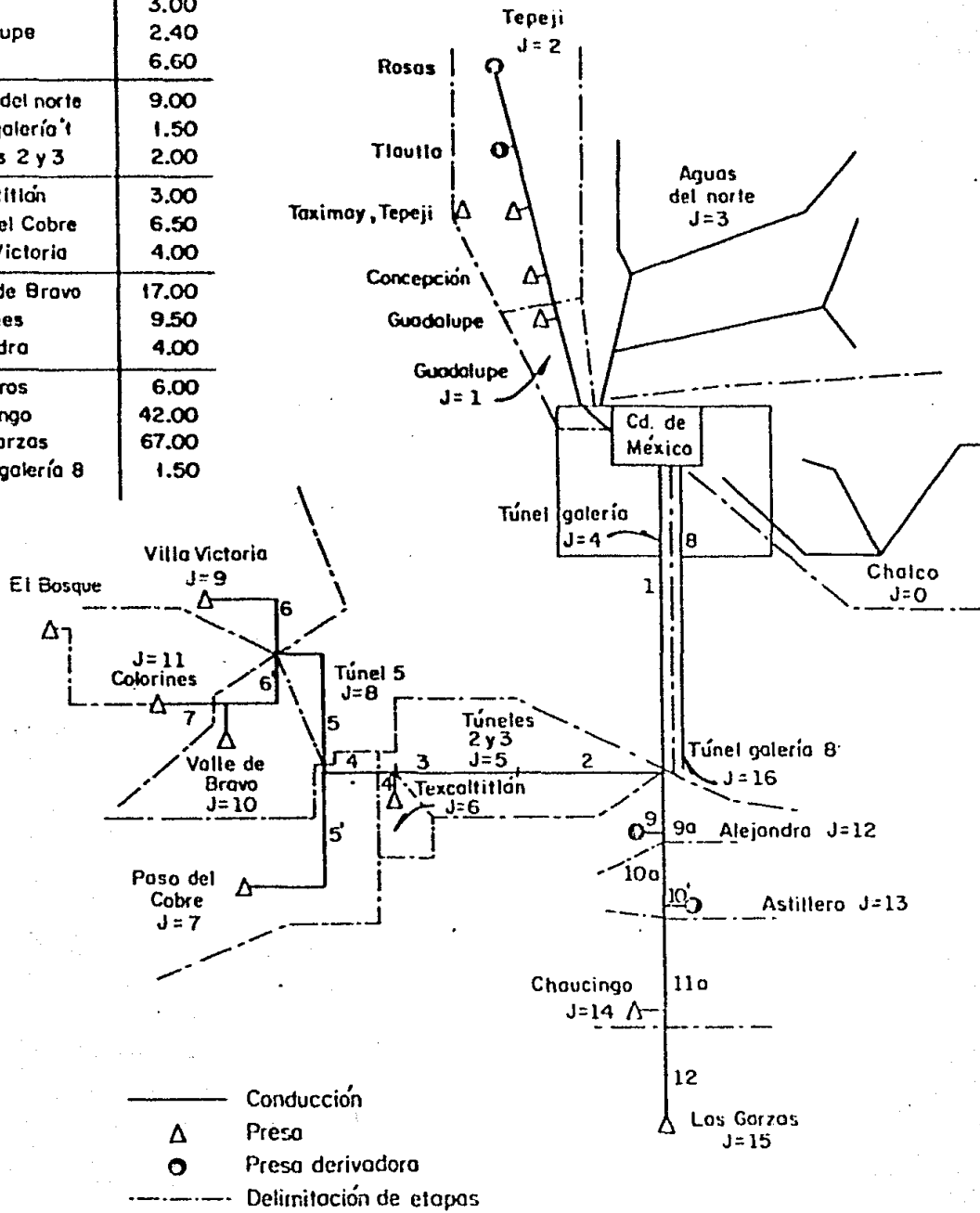


FIG 3 Ciudad de México. Fuentes de abastecimiento futuro

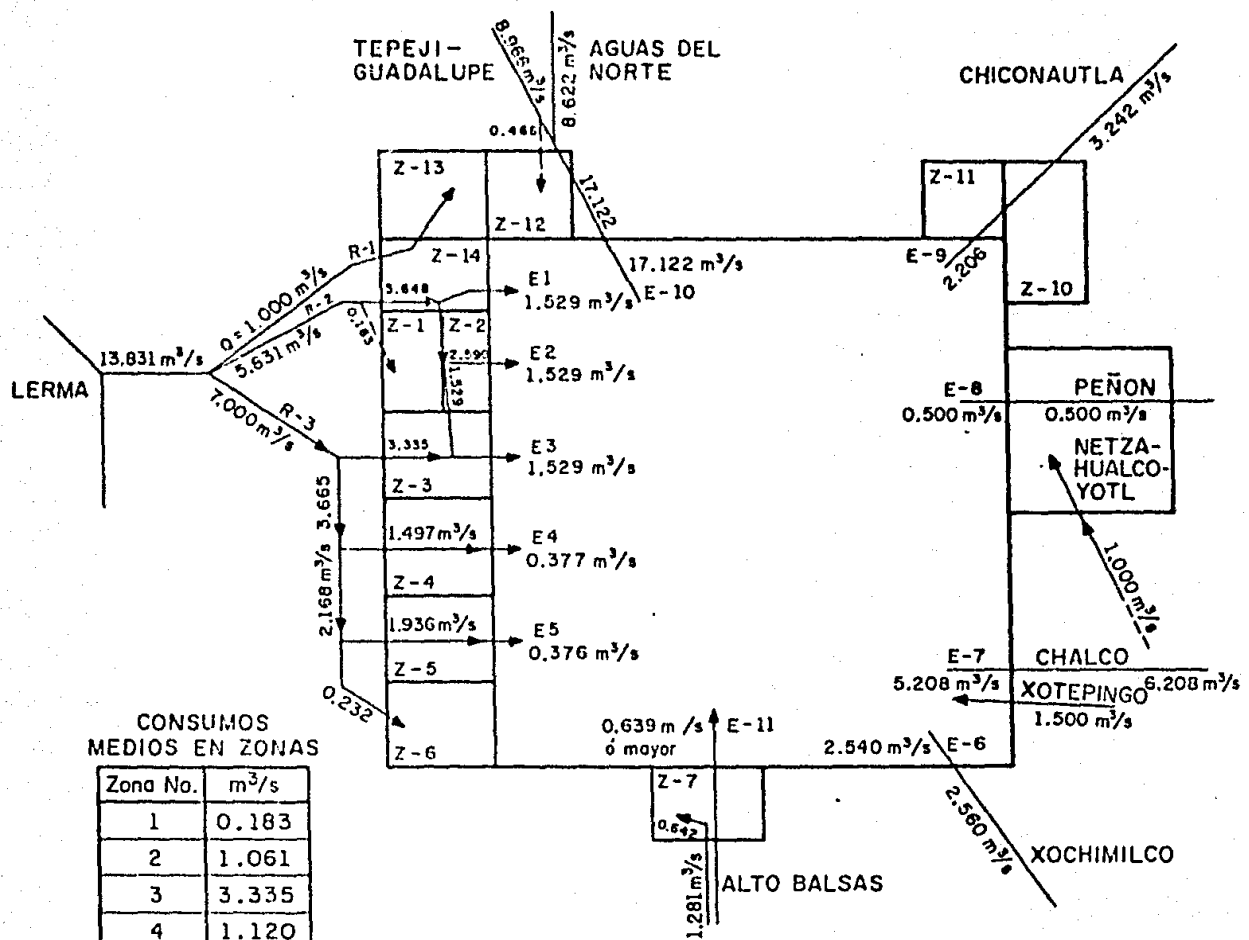


FIG. 6 Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Gastos disponibles en los puntos de entrada a la red primaria. 1980

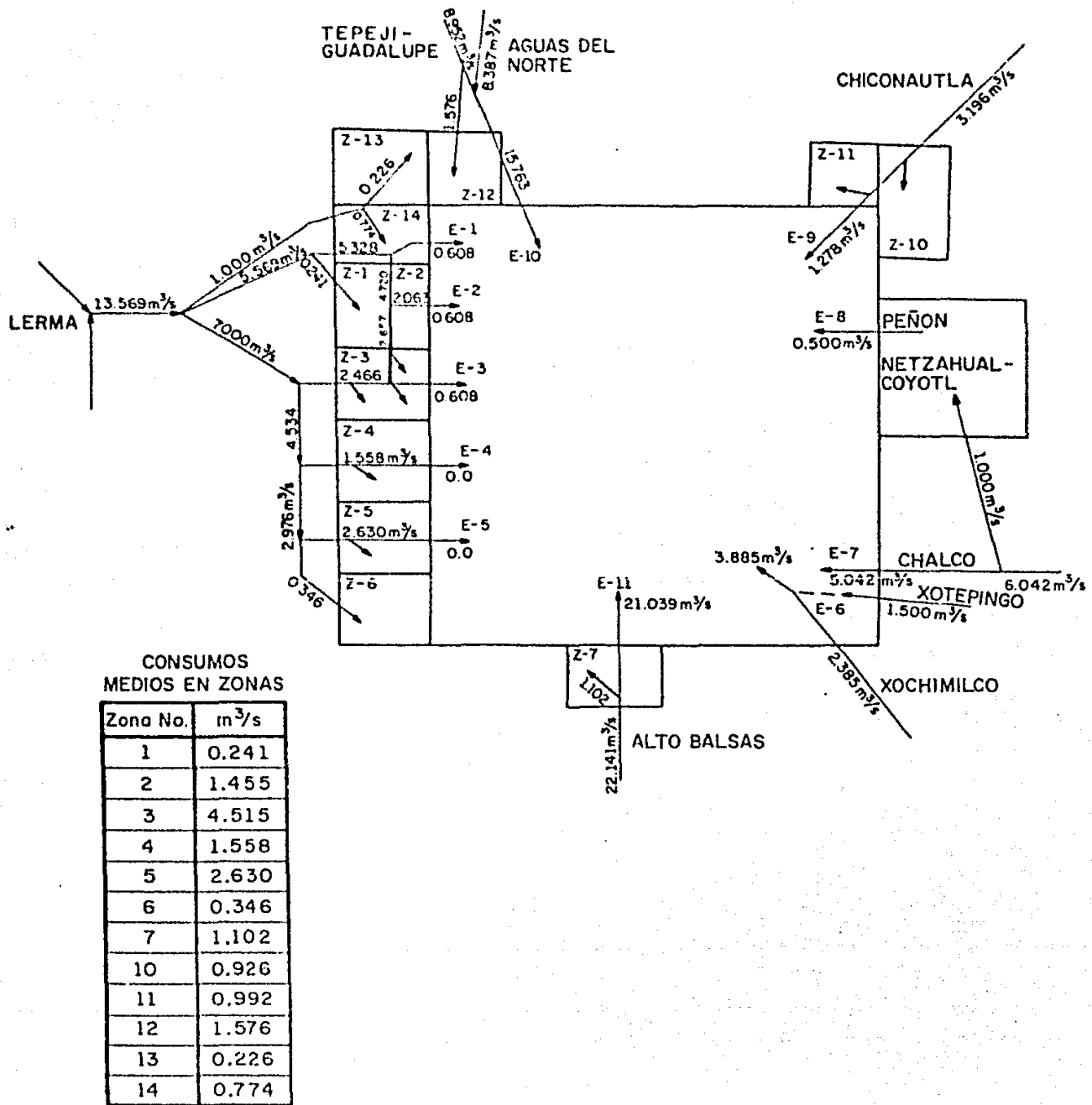


FIG 7 Abastecimiento de agua de la Ciudad de México. Gastos disponibles en los puntos de entrada a la red primaria. 1990

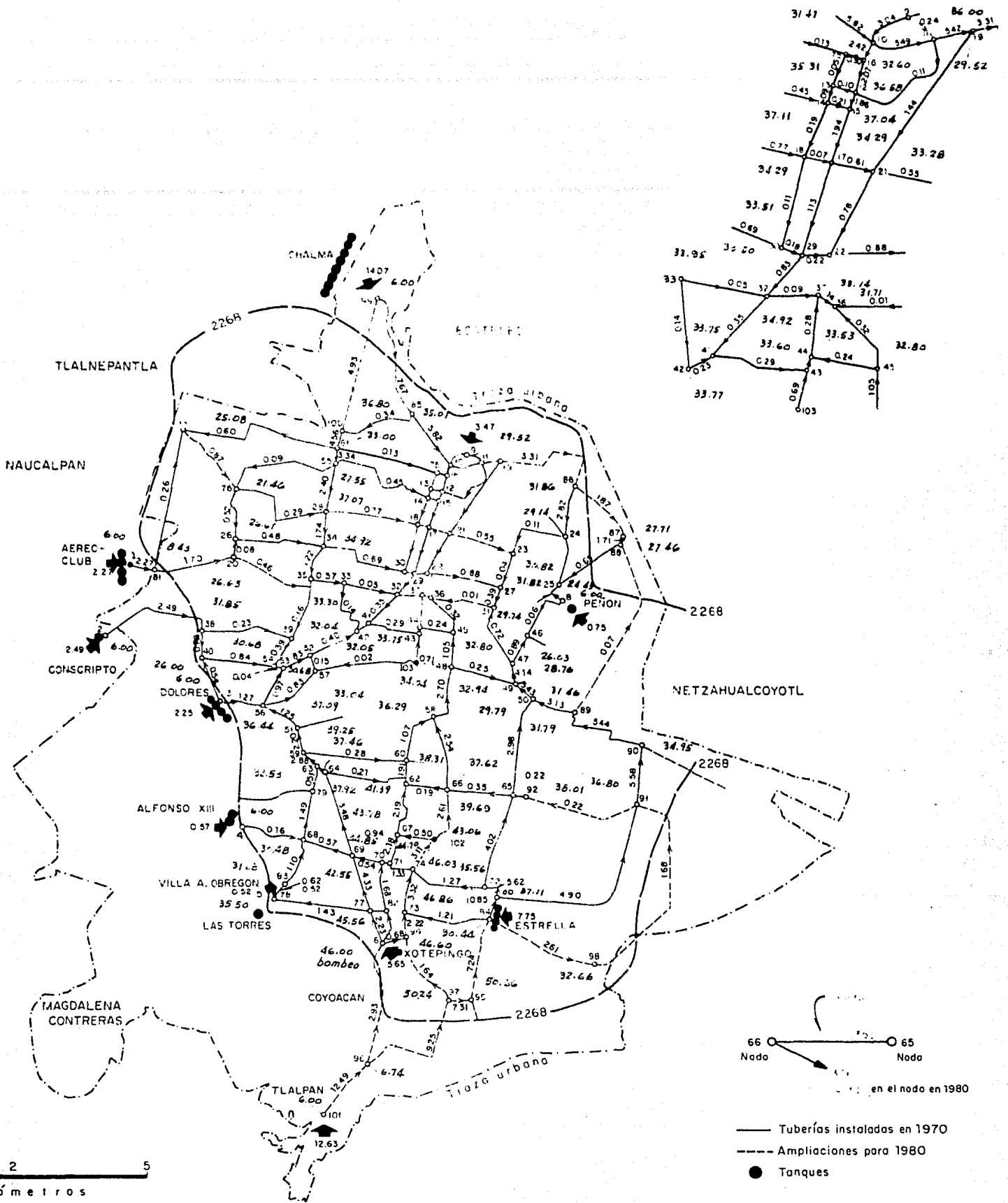


FIG 8 Abastecimiento de agua de la ciudad de México. Red primaria de distribución de agua potable. alternativa 1980

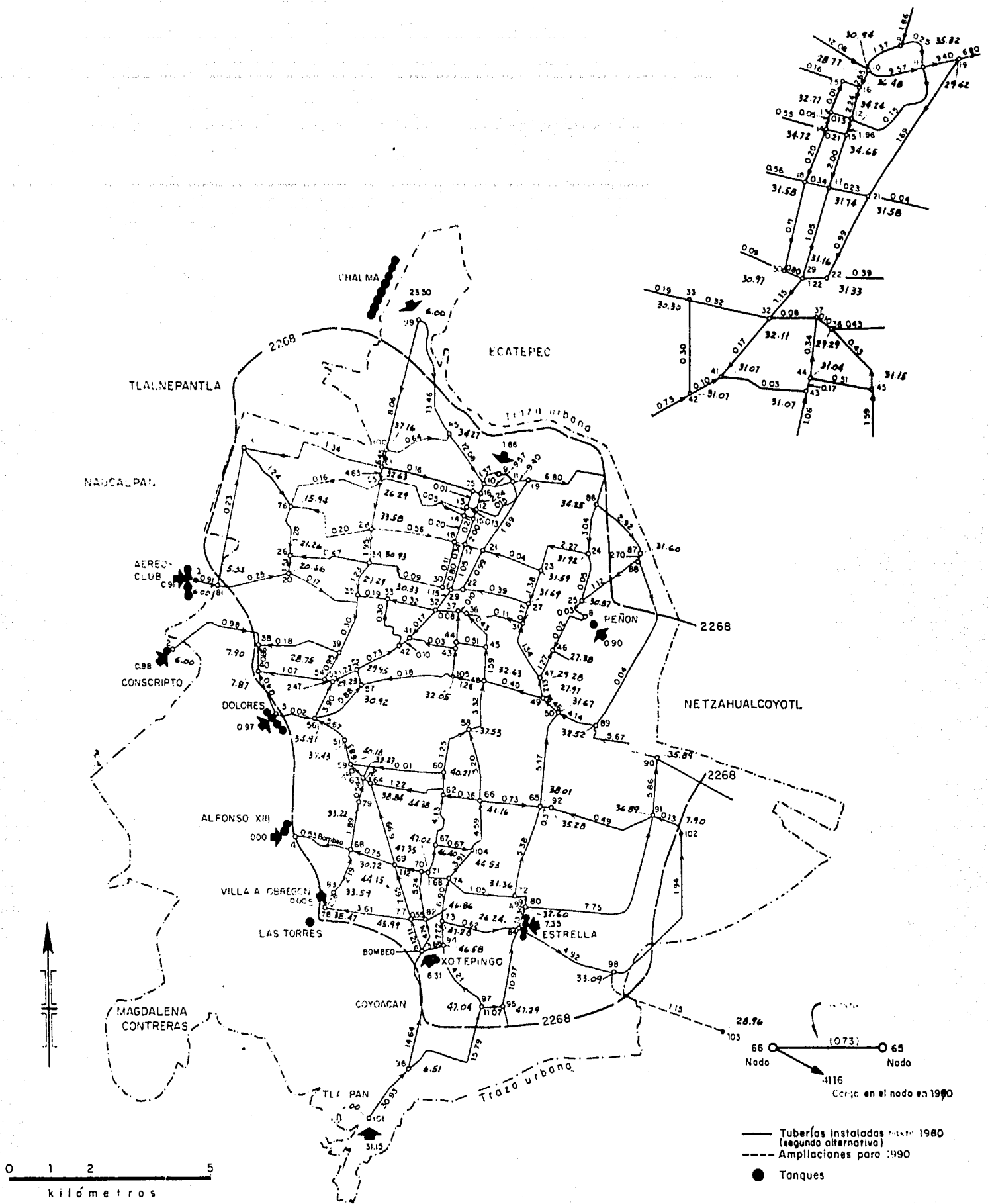


FIG 9 Abastecimiento de agua de la ciudad de México. Red primaria de distribución de agua potable. Alternativa 1990

XI. REFERENCIAS

1. "El desarrollo económico del Valle de México y la zona metropolitana de la Ciudad de México". Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (1964).
2. "Industry and Water for the Valley of México". Banco de México, - S. A. (1968).
3. "Lineamientos generales para el plan hidráulico de la Cuenca del Valle de México. (Alternativa 1960-1990)". Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México (1968).
4. "Análisis y planeación del sistema de abastecimiento de agua de la Ciudad de México". Ubaldo Bonilla D. Fernando González V. - Antonio Capella V. Instituto de Ingeniería. UNAM. (Enero 1971).
5. "Abastecimiento de agua potable. Sistema Tepeji-Guadalupe". Dirección General de Obras Hidráulicas. DDF. (1969).
6. "Sistema Aguas del Norte. Plan de aprovechamiento de las aguas - Subterráneas". Dirección General de Obras Hidráulicas, D.D.F. - (1969).
7. "Abastecimiento de aguas de la Ciudad de México. Sistema Chalco-Xochimilco". Dirección General de Obras Hidráulicas, D.D.F. - (1969).
8. "Agua potable para el área metropolitana de la Ciudad de México.- Sistema Alto Balsas". Dirección General de Obras Hidráulicas, - D.D.F. (1970).

9. "Suministro de agua potable al área urbana de la Ciudad de México. Comparación de los Sistemas Estudiados". Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México. (1967).
10. "Censo General de Población". Años 1921, 1930, 1940, 1950 y 1960. Dirección General de Estadística. Secretaría de Industria y Comercio.
11. "Modelos para análisis de redes de abastecimiento de agua potable". F. J. González Villarreal y Antonio Capella V. Instituto de Ingeniería. UNAM. (Junio 1971).
12. "Diseño de la Red Primaria de abastecimiento de agua de la Ciudad de México bajo condiciones restringidas de carga y gasto en los puntos de entrada". Ubaldo Bonilla D. y Flavio Maldonado. Instituto de Ingeniería. UNAM. (Junio 1972).
13. "Programas de Diseño y Costos de la Red de abastecimiento de agua de la Ciudad de México". Mario O. Buenfil Rodríguez. (1973).