

29
66



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL SISTEMA LINARES-MONTERREY Y LA PROBLEMATICA DEL
ABASTECIMIENTO DE AGUA A LA CIUDAD DE MONTERREY**

T E S I S

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL
presenta

RODRIGO EUGENIO GONZALEZ RIQUELME

FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1989



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 está 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.

I N D I C E

PAG.

I.	INTRODUCCION	1
II.	DEMANDA	3
II.1.	ANTECEDENTES	3
II.2.	DEMANDA INDUSTRIAL	3
II.3.	DEMANDA EFECTIVA	4
III.	DISPONIBILIDAD	10
III.1.	ANTECEDENTES	10
III.2.	SISTEMA LINARES - MONTERREY	11
III.3.	DISPONIBILIDAD ACTUAL	14
IV.	EXPLOTACION DE FUENTES SUBTERRANEAS	28
IV.1.	ANTECEDENTES	28
IV.2.	ESTIMACION DE LA RECARGA DE LOS ACUIFEROS	29
IV.3.	DESCRIPCION DE LAS FUENTES SUBTERRANEAS	31
IV.3.1.	SISTEMA MINA	31
IV.3.2.	SISTEMA SANTA CATARINA	34
IV.3.3.	SISTEMA SANTIAGO	37
IV.3.4.	POZOS EN EL AREA METROPOLITANA	39
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47

I.- INTRODUCCION

Las grandes concentraciones humanas, ubicadas en las grandes ciudades, se ven afectadas frecuentemente por una marcada deficiencia en la prestación de servicios, como consecuencia de la desmedida sobrepoblación debida a la explosión demográfica.

El abastecimiento de agua a estas ciudades, tanto para consumo industrial como doméstico, representa un importante problema en lo que a prestación de servicios se refiere.

Monterrey, capital del estado de Nuevo León, es en la actualidad una de las principales ciudades de país, caracterizadas sobre todo por el gran desarrollo en su sector industrial. Dicho desarrollo ha influido de manera directa en el crecimiento de su población, lo cual ha provocado por consecuencia que la prestación de servicios encuentre serias dificultades.

En los últimos años, el abastecimiento de agua a esta ciudad ha sido centro de atención tanto de las autoridades estatales como federales ; por tal motivo desde fines de la década pasada se comenzó a trabajar en un proyecto que garantizará el suministro de aguas tanto para uso doméstico como industrial hasta el año 2000 ; se trata del Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Linares - Monterrey.

Dicho sistema, actualmente concluido en su primera etapa, suministra aproximadamente $3 \text{ m}^3/\text{s}$ a la Ciudad de Monterrey. Consta de un Acueducto de 133 km. de longitud al cual se integran las presas de Cerro Prieto (construída expresamente) y La Boca (construída en los años 50's) como parte de esta primera etapa, para posteriormente integrar algunas otras presas, actualmente en proyecto, como parte de su segunda y última etapa.

Imponente como obra de ingeniería por la magnitud de las estructuras que lo integran, el Sistema Linares - Monterrey, representa ----

bienestar para la población y una garantía para el acelerado desarrollo industrial de la Ciudad de Monterrey.

La planeación de un proyecto de esta magnitud requiere un estudio -- exhaustivo sobre la demanda de agua, disponibilidad de la misma y factibilidad tanto técnica como económica de las fuentes alternativas de suministro.

En el presente trabajo se pretende analizar de manera general y en forma breve la problemática del agua en Monterrey y el Sistema Linares -- Monterrey como solución hasta el año 2000.

Además de este capítulo de Introducción, en el que se determinan los alcances del trabajo, se cuenta con otros cuatro capítulos que son :

- . - Demanda - en donde se analizan las características de la misma - de acuerdo con su uso, doméstico o industrial ;
- . - Disponibilidad - en el cual se analizan las actuales fuentes superficiales de suministro de agua a Monterrey, incluyendo la incorporación del Sistema Linares - Monterrey ;
- . - Explotación de Fuentes Subterráneas - en el cual se analizan más ampliamente dichas fuentes por ser, hasta unos años - atrás, las principales en el abastecimiento a la Ciudad, y ;
- . - Conclusiones y Recomendaciones - capítulo en el cual se dan algunos criterios personales y se plantean lineamientos a seguir para formular las políticas de extracción de las diferentes fuentes de suministro, propiciando con ésto la optimización del sistema de abastecimiento de la Ciudad de Monterrey.

II.- DEMANDA

II.1 . ANTECEDENTES

El rápido crecimiento de la industria y por ende de la población en la ciudad de Monterrey, han marcado en los últimos años un notorio ascenso en la demanda de agua, tanto industrial como doméstica.

Según un estudio realizado en 1978 por la Dirección General de Ordenación y Protección Ecológica de la S. A. R. H. , la dotación para Monterrey se estimó en 370 l/h/d. De acuerdo con ésto y con las proyecciones de población estimadas para el efecto, la Comisión del Plan Nacional Hidráulico (C. P. N. H.) calculó los niveles de demanda a futuro, contemplando los lustros comprendidos entre 1975 y 2020 (ver figura 2.1 y 2.2).

Cabe mencionar aquí que las proyecciones de la demanda fueron hechas en el año de 1980, época del auge económico del país, no previéndose una crisis económica de las magnitudes actuales. Esto implica que los alcances programados sufrirán un aplazamiento en relación con los horizontes establecidos, por un tiempo indeterminado.

En cuanto a niveles de servicio, la C. P. N. H. ha programado elevar el nivel de 83 % que se tenía en 1975 hasta un 95 % en el año 2020, correspondiéndole a 1990 un nivel de servicio de 88 % . Con ésto la demanda efectiva pasaría de 6.7 m³/s en 1975 a 13.4 m³/s en 1990 y a 45.5 m³/s en el año 2020.

II.2 DEMANDA INDUSTRIAL

De esta demanda efectiva, un porcentaje corresponderá a la industria, cuyo aumento estará sujeto al crecimiento mismo de este sector. La cuantificación exacta de esta demanda se hace difícil, debido a que muchas industrias cuentan con pozos privados, así como planta de tratamientos para el reuso del agua.

Una investigación realizada en 1978 por la C. P. N. H., llevó a la conclusión de que el 20% de las industrias utilizan agua de la red municipal de abastecimiento. Durante 1977 se inauguraron las operaciones de la refinera de Cadereyta (PEMEX), distante unos 40 kms al sureste de Monterrey, la cual consume alrededor de $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ al año ($0.8 \text{ m}^3/\text{s}$), proveniente de las mismas fuentes que abastecen a Monterrey, por lo cual queda incluida dentro de la demanda industrial considerada para esta ciudad.

En el Plan Nacional de Desarrollo Industrial se consideró que la producción bruta nacional tendría un crecimiento anual del 8.7 % durante el período 1975 - 1990 (dato referido al valor de la producción industrial). Por otro lado la C. P. N. H., ha considerado que la utilización de agua para estos fines en la República Mexicana, tendrá un ritmo de crecimiento de 5.8 % anual durante el período de 1975 - 2000 ; y concretamente del 6.0 % anual para la región Bravo, haciendo la hipótesis de que esto último es válido para Monterrey.

De acuerdo con estas hipótesis, la demanda de agua para uso industrial se incrementará de $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1975 a $6.1 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1990 y a $34.7 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2020, en tanto que el reuso del agua en el sector industrial se incrementará de $0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1975 a $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1990 y a $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en 2020.

11.3 DEMANDA EFECTIVA

A partir de estos datos se concluye que la demanda efectiva quedaría definida de la siguiente forma :

$$\text{Demanda Efectiva} = \text{Demanda Doméstica} + \text{Demanda Industrial} - \text{Reuso}$$

A continuación se tabulan a modo de comparación las proyecciones de población y demanda de agua. Dicha demanda se representa gráficamente en las figuras 2.1 y 2.2 .

TABLA 2. 1

Año	Población Miles de - Habitantes	Niveles de Servicio %	D e m a n d a Doméstica m ³ /s	D e m a n d a Industrial m ³ /s	Reuso m ³ /s	Demanda Efectiva m ³ /s
1975	1 441.9	83	5.1 (67 %)	2.5 (23 %)	0.9 (36 %)*	6.7
1980	1 762.5	85	6.4 (65 %)	3.4 (35 %)	1.0 (36 %)*	8.8
1985	2 130.0	86	7.8 (63 %)	4.5 (37 %)	1.6 (36 %)*	10.7
1990	2 516.7	88	9.5 (61 %)	6.1 (39 %)	2.2 (36 %)*	13.4
1995	2 936.5	90	11.3 (60 %)	8.1 (40 %)	2.9 (36 %)*	16.5
2000	3 357.6	95	13.7 (56 %)	10.8 (44 %)	3.9 (36 %)*	20.6
2005	3 836.0	95	15.6 (52 %)	14.5 (48 %)	5.2 (36 %)*	24.9
2010	4 382.6	95	17.8 (48 %)	19.4 (52 %)	7.0 (36 %)*	30.2
2015	5 007.1	95	20.4 (44 %)	26.0 (56 %)	9.4 (36 %)*	37.0
2020	5 720.6	95	23.3 (40 %)	34.7 (60 %)	12.5 (36 %)*	45.5

(*) .- Porcentaje correspondiente a la demanda industrial.

TABLA 2. 1

Año	Población Miles de - Habitantes	Niveles de Servicio %	D e m a n d a		Reuso	Demanda Efectiva
			Doméstica	Industrial	m ³ /s	m ³ /s
			m ³ /s	m ³ /s		
1975	1 441.9	83	5.1 (67 %)	2.5 (23 %)	0.9 (36 %)*	6.7
1980	1 762.5	85	6.4 (65 %)	3.4 (35 %)	1.0 (36 %)*	8.8
1985	2 130.0	86	7.8 (63 %)	4.5 (37 %)	1.6 (36 %)*	10.7
1990	2 516.7	88	9.5 (61 %)	6.1 (39 %)	2.2 (36 %)*	13.4
1995	2 936.5	90	11.3 (60 %)	8.1 (40 %)	2.9 (36 %)*	16.5
2000	3 357.6	95	13.7 (56 %)	10.8 (44 %)	3.9 (36 %)*	20.6
2005	3 836.0	95	15.6 (52 %)	14.5 (48 %)	5.2 (36 %)*	24.9
2010	4 382.6	95	17.8 (48 %)	19.4 (52 %)	7.0 (36 %)*	30.2
2015	5 007.1	95	20.4 (44 %)	26.0 (56 %)	9.4 (36 %)*	37.0
2020	5 720.6	95	23.3 (40 %)	34.7 (60 %)	12.5 (36 %)*	45.5

(*) .- Porcentaje correspondiente a la demanda Industrial.

En la tabla anterior podemos apreciar la clara y acelerada tendencia al crecimiento de la demanda industrial, llegando a superar la demanda doméstica de manera importante. Cabe mencionar que aunque el reuso aumenta considerablemente, su relación con la demanda industrial mantiene el mismo porcentaje de 36 %.

Reflexionando un poco acerca de los datos de tabla 2.1 se observa claramente que en un período de 45 años, comprendido entre 1975 y 2020; la demanda aumenta en casi 6 veces, llegando a una demanda efectiva estimada para el año 2020 de $45.5 \text{ m}^3/\text{s}$, de la cual el 60 % corresponde a la demanda industrial y el 40 % a la demanda doméstica, contrario a lo que se tiene en 1975 en que a la demanda industrial le corresponde el 23 %, mientras que a la doméstica el 67 %, de una demanda efectiva de $6.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si comparamos las cifras de la demanda industrial con las de la demanda doméstica, vemos que la primera aumenta 12.9 veces en el período de 45 años, mientras que la segunda lo hace sólo 3.6 veces en el mismo período, lo que hace dudar acerca de la factibilidad de que se den estas variaciones en la proporción que se menciona.

Analizando la gráfica de proyección de la demanda (ver Figura 2.1), observamos que la demanda doméstica e industrial sufre un empate alrededor del año 2007, con una demanda aproximada de $27 \text{ m}^3/\text{s}$. Es posible que este horizonte del año 2007 se recorra en el tiempo por las características de proyecciones, pero lo que queda claro es que de cada metro cúbico que esté llegando a la ciudad de Monterrey, la mitad será para satisfacer la demanda de la población y la otra mitad para el sector industrial.

Tomando en cuenta la realidad del momento, podemos decir que en general las cifras y especialmente las referidas a la demanda industrial se encuentran sobre-estimadas, dado que aún suponiendo un crecimiento tan acelerado en el sector industrial, la dotación considerada es bastante alta (370 l/h/d), lo que repercute directamente en la estimación de los volú-

menes de demanda.

Por otra parte, no se ha estimado un aumento de la proporción -- para el reuso del agua, en relación con el considerable aumento de la demanda industrial, ya que dicha proporción se mantiene en un 36 % a lo largo del período de 45 años. Esto evidencia la imperiosa necesidad de propiciar con mayor énfasis el reuso del agua en el sector industrial, lo que redundará directamente en un considerable ahorro de agua y de dinero, permitiendo además diferir las inversiones para la implementación de nuevos sistemas de abastecimiento.

FIGURA 2.1

DEMANDA DE AGUA PARA USOS DOMESTICOS
E INDUSTRIALES EN MONTERREY, N.L.

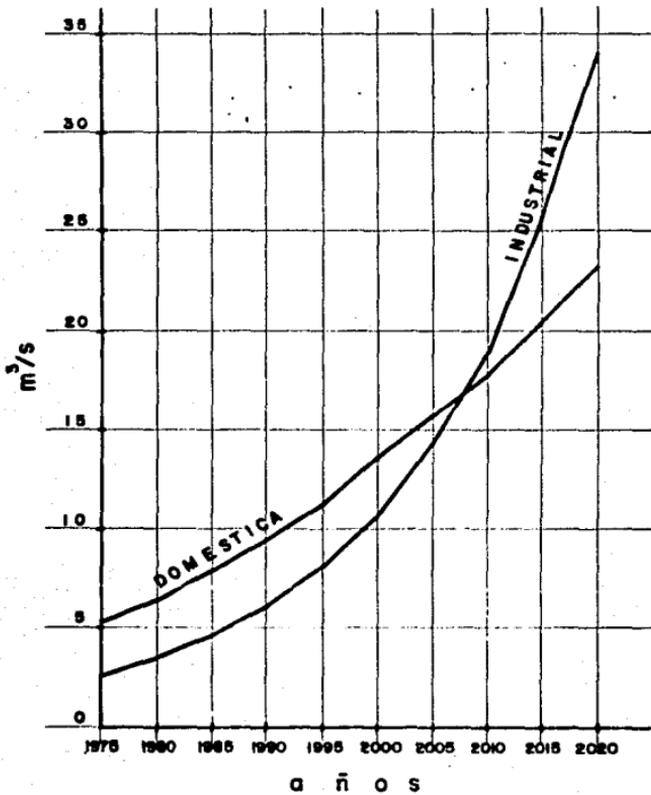
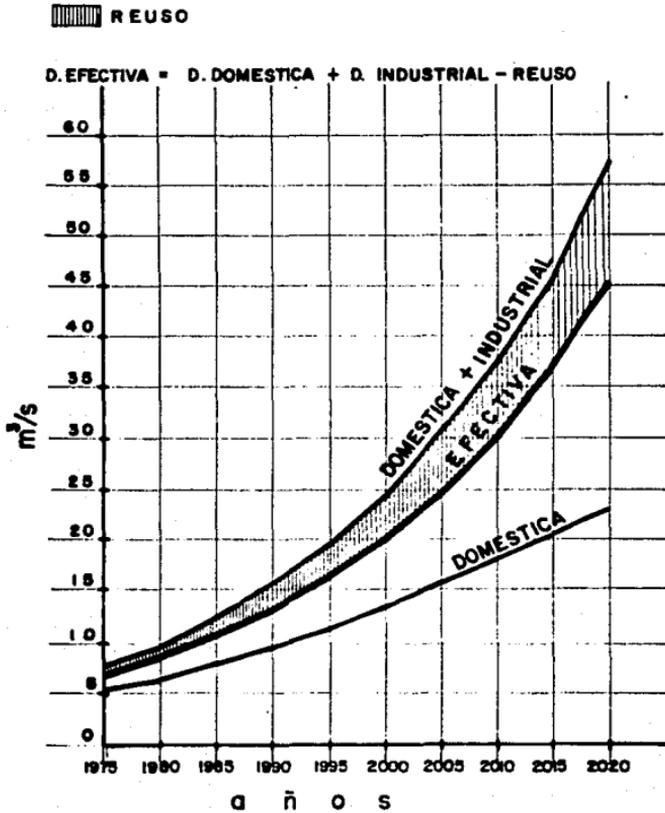


FIGURA 2.2

DEMANDA EFECTIVA DE AGUA EN MONTERREY, N. L.



III.- DISPONIBILIDAD

III.1 ANTECEDENTES

La ciudad de Monterrey, localizada en las faldas de la Sierra Madre - - Oriental, se caracteriza por su clima con variables y escasa precipitación pluvial, además de la gran variabilidad en su temperatura. Estas características explican en parte la poca disponibilidad local de recursos - - hidráulicos.

Las características de su clima condicionan que la demanda de agua potable tenga fluctuaciones estacionales importantes.

El sitio que ahora ocupa la Ciudad, fué escogido por sus fundadores , - en 1596, por la cercanía de algunas corrientes superficiales. Estas fuentes de abastecimiento y el aprovechamiento rudimentario de los escurri - mientos naturales de agua, con el auxilio de pozos de poca profundidad , fueron suficientes para atender las necesidades domésticas y agrícolas de la población, hasta principios del Siglo XX.

Los problemas de abastecimiento de agua se presentaron a partir de 1940, fecha en que la demanda de agua sobrepasó la capacidad de las instala - ciones construídas 31 años antes.

Dichos problemas se solucionan en parte con el aprovechamiento de aguas subterráneas, a través de pozos, galerías filtrantes y con aguas superficiales del río San Juan, por medio de la presa La Boca.

El explosivo crecimiento demográfico e industrial de la ciudad, aunado a la sobreexplotación de los acuíferos locales, provocó que las fuentes de - abastecimiento cercanas resultaran insuficientes.

En 1980, el abastecimiento disponible para la ciudad y su zona metropolita na era de $6.4 \text{ m}^3/\text{s}$, volumen inferior al necesario para satisfacer la - - -

demanda urbana industrial de alrededor de $8.75 \text{ m}^3/\text{s}$, estimada para esa fecha, provocándose con ésto un déficit importante en el abastecimiento demandado.

III.2 SISTEMA LINARES - MONTERREY

El Sistema Regional de Abastecimiento de Agua Linares - Monterrey es un ambicioso proyecto para abastecer de agua a la ciudad de Monterrey, que consiste en conducir agua a lo largo de un acueducto de 133 km. de longitud que se inicia en el vaso de la Presa Cerro Prieto y termina en los tanques de San Roque, en los límites de la ciudad, desde donde se distribuye el agua a la población (ver tabla 3.1 y Fig.3.1).

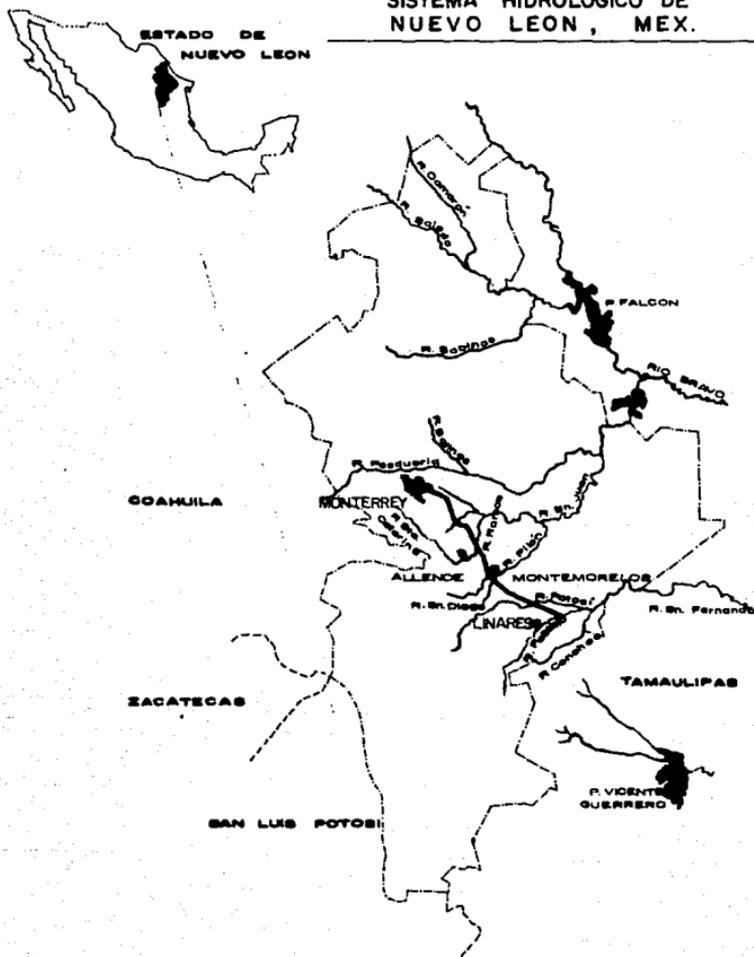
La presa Cerro Prieto se localiza sobre el río Pablillo en la parte alta del río San Fernando y fué construída ex-profeso para ser integrada al Sistema Linares - Monterrey.

El agua es conducida por bombeo a través de una tubería de 2.10 m. de diámetro, en un primer tramo comprendido entre la Presa Cerro Prieto y La Libertad (proyecto), en donde se inicia el rebombeo a través de dos líneas de 2.10 m. de diámetro, hasta llegar a la siguiente planta de bombeo y así sucesivamente hasta descargar en los tanques de San Roque.

Debido a que la elevación de la entrega en San Roque está a 256 metros por encima de la toma de Cerro Prieto, ha sido necesario construir 6 plantas de bombeo, las cuales permitirán vencer el desnivel y las pérdidas de energía hidráulica en la línea, que sumadas pueden llegar hasta casi 500 metros cuando circula el gasto máximo de operación. Las plantas de bombeo para este efecto son :

----- (ver tabla 3.2) : la PB1, con capacidad -----

**SISTEMA HIDROLOGICO DE
NUEVO LEON, MEX.**



de $8 \text{ m}^3/\text{s}$; las PB2, PB2A y PB3, cada una con capacidad de $10 \text{ m}^3/\text{s}$; y las PB4 y PB5, de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Asimismo se construyó el tanque regulador Garrapatas con capacidad para almacenar $115,000 \text{ m}^3$, además de otras estructuras para el control hidráulico del sistema, como Torres de Oscilación, Tanques Unidireccionales y Torres de Sumergencia (ver tabla 3.3).

La energía necesaria para la operación de las plantas de bombeo, la proporcionan sus respectivas subestaciones, que en total suman $46,280 \text{ kw}$. instalados y que son alimentadas por 110 km . de líneas de transmisión que para el efecto instaló Comisión Federal de Electricidad.

Además de Cerro Prieto y La Libertad (proyecto), también la presa La Boca (ver tabla 3.4) se integra al sistema mediante una línea de tubería de acero de 1.80 m . de diámetro y 4.90 km . de longitud, dándole mayor flexibilidad al Sistema y permitiendo de esta forma incorporar a dicha presa volúmenes excedentes del acueducto, con lo cual la presa funciona como vaso regular pudiendo reintegrar el agua al acueducto o enviarla directamente a Monterrey a través de la línea de conducción directa a la ciudad.

Para proteger el acueducto del fenómeno conocido como " golpe de ariete ", el cual provoca que las presiones del agua se incrementen y se reduzcan mas allá de los valores normales de operación, pudiendo ocasionar severas fallas en la tubería, ha sido necesario construir 10 tanques unidireccionales y 2 torres de oscilación (ver tabla 3.3)

Para garantizar la buena calidad del agua que se entrega en los tanques de San Roque, se construyó una planta potabilizadora en sus inmediaciones, que podrá procesar hasta $12 \text{ m}^3/\text{s}$, mediante un proceso de filtración directa, adicionando cloro, sulfato de aluminio y polielectrolito.

En la actualidad se encuentran concluidas las obras de la primera- etapa la cual se inició en Febrero de 1981 y se terminó en Julio de 1984. Dichas obras permiten abastecer actualmente un caudal del- orden de $5 \text{ m}^3/\text{s}$, como se analiza mas adelante.

Dentro de la primera etapa del Sistema, se cuenta además con la - presa derivadora Sotolar, localizada sobre el río Potosí, la cual -- permite derivar el agua hasta el vaso de Cerro Prieto, permitiendo elevar el caudal de extracción de esta presa en unos $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se cuenta también con los 11 pozos de San Roque y la Ciudadela, - cuyo caudal de $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ se incorpora al acueducto aguas abajo de la PB5, mediante una pequeña planta de bombeo auxiliar denomina- da PB5A; por otra parte están los 3 pozos de Guadalupe que pro- porcionan $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que se conectan al acueducto en un punto intermedio entre las planta de bombeo PB4 y PB5. La incorpora- ción de estos dos sistemas de pozos, fue determinada por la - - - S. A. R. H. como medida de emergencia para ayudar a mitigar los problemas ocasionados por la escasez de agua durante el estiaje -- 1983-1984.

Cabe mencionar que en todas las estructuras se ha dejado la pre- paración de la segunda línea del acueducto, también de 2.10 m. -- de diámetro, la cual forma parte de la segunda etapa del sistema - al igual que las presas de almacenamiento Chapotal, Tunal, Raíces y La Libertad ; y las presas de derivación de Chapotal, Río Ra - mos y Piloncillo (ver tabla 3.4).

III.3 - DISPONIBILIDAD ACTUAL

Con la entrada en funcionamiento de la primera etapa del Sistema- Linares - Monterrey, en Julio de 1984, la Ciudad de Monterrey ha visto incrementada la disponibilidad de agua de manera significati- va.

De las fuentes superficiales que actualmente abastecen de agua a la ciudad de Monterrey, la de mayor potencial es sin lugar a dudas la presa Cerro Prieto, por lo cual se ha considerado necesario hacer una simulación con el fin de poder estimar los volúmenes disponibles para el abastecimiento a la ciudad y en consecuencia definir aproximadamente el volumen de extracción recomendable, a fin de minimizar las pérdidas (derrames) en la presa, aprovechando al máximo el potencial de la misma.

Para este efecto se consideró un período de 28 años de registro de aportaciones al vaso de la presa, que va de 1950 hasta 1977.

La capacidad efectiva de almacenamiento del vaso de Cerro Prieto se consideró de $325 \times 10^6 \text{ m}^3$, con un volumen de $200 \times 10^6 \text{ m}^3$, para dar inicio a la simulación.

Se manejaron tres volúmenes de extracción anual : $94.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ - ($3 \text{ m}^3/\text{s}$), $126 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($4 \text{ m}^3/\text{s}$) y $157.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($5 \text{ m}^3/\text{s}$).

De cada uno de estos volúmenes, aproximadamente $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ - ($0.6 \text{ m}^3/\text{s}$) corresponden a las pérdidas por evaporación en el vaso de la presa.

Los resultados de la simulación se muestran en las tablas que a continuación se presentan.

SIMULACION 1

Considerando :

$C = 325 \times 10^6 \text{ m}^3$	(Capacidad de Almacenamiento)
$V1 = 200 \times 10^6 \text{ m}^3$	(Volumen Inicial)
$Ve = 94.5 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (3m}^3/\text{s)}$	(Volumen de Extracción)
$Va =$	(Volumen de Aportaciones)
$Vd =$	(Volumen Derramado)
$Vf =$	(Volumen final Almacenado)
$Vo =$	(Volumen Inicial Anual)

A Ñ O	Vo	Va	Vd	Vf
1	200.0	100.6	-	206.1
2	206.1	350.2	136.8	325.0
3	325.0	70.1	-	300.6
4	300.6	143.7	24.8	325.0
5	325.0	82.1	-	312.6
6	312.6	320.4	308.0	325.0
7	325.0	56.3	-	286.8
8	286.8	140.9	8.2	325.0
9	325.0	257.7	163.2	325.0
10	325.0	92.2	-	322.7
11	322.7	172.8	76.0	325.0
12	325.0	178.2	83.7	325.0
13	325.0	102.4	7.9	325.0
14	325.0	160.5	66.0	325.0
15	325.0	40.3	-	270.8
16	270.8	66.4	-	242.7
17	242.7	382.9	206.1	325.0
18	325.0	414.0	319.5	325.0
19	325.0	327.1	232.6	325.0
20	325.0	445.6	351.1	325.0
21	325.0	661.6	567.1	325.0
22	325.0	293.6	293.6	325.0
23	325.0	364.4	269.9	325.0
24	325.0	642.1	547.6	325.0
25	325.0	104.4	9.9	325.0
26	325.0	271.6	177.1	325.0
27	325.0	422.4	327.9	325.0
28	325.0	208.5	114.0	325.0
PROM	308.7	245.5	153.3	313.1

SIMULACION 2

Considerando :

$$C = 325 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V1 = 200 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Ve = 126 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ (} 4 \text{ m}^3/\text{s)}$$

Va =

Vd =

Vo =

Vf =

A Ñ O	Vo	Va	Vd	Vf
1	200.0	100.6	-	174.6
2	174.6	350.2	73.8	325.0
3	325.0	70.1	-	269.1
4	269.1	143.7	-	286.8
5	286.8	82.1	-	242.9
6	242.9	320.4	112.3	325.0
7	325.0	56.3	-	255.3
8	255.3	140.9	-	270.2
9	270.2	257.7	76.9	325.0
10	325.0	92.2	-	291.2
11	291.2	172.8	13.0	325.0
12	325.0	178.2	52.2	325.0
13	325.0	102.4	-	301.4
14	301.4	160.5	10.9	325.0
15	325.0	40.3	-	239.3
16	239.3	66.4	-	179.7
17	179.7	382.9	111.6	325.0
18	325.0	414.0	288.0	325.0
19	325.0	327.1	201.1	325.0
20	325.0	445.6	319.6	325.0
21	325.0	661.6	535.6	325.0
22	325.0	293.6	167.6	325.0
23	325.0	364.4	238.4	325.0
24	325.0	642.1	516.1	325.0
25	325.0	104.4	-	303.4
26	303.4	271.6	124.0	325.0
27	325.0	422.4	296.4	325.0
28	325.0	208.5	82.5	325.0
PROM	293.4	245.5	115.0	297.8

SIMULACION 3

Considerando :

$$C = 325 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$V1 = 200 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$Ve = 1.57.5 \times 10^6 \text{ m}^3 (5 \text{ m}^3/\text{s})$$

Va =

Vd =

Vo =

Vf =

AÑO	Vo	Va	Vd	Vf
1	200.0	100.6	-	143.1
2	143.1	350.2	10.8	325.0
3	325.0	70.1	-	237.6
4	237.6	143.7	-	222.8
5	222.8	82.1	-	147.4
6	147.4	320.4	-	310.3
7	310.3	56.3	-	209.1
8	209.1	140.9	-	192.5
9	192.5	257.7	-	292.7
10	292.7	92.2	-	227.4
11	227.4	172.8	-	242.7
12	242.7	178.2	-	263.4
13	263.4	102.4	-	208.3
14	208.3	160.5	-	211.3
15	211.3	40.3	-	94.1
16	94.1	66.4	-	3.0
17	3.0	382.9	-	228.4
18	228.4	414.0	159.9	325.0
19	325.0	327.1	169.6	325.0
20	325.0	445.6	288.1	325.0
21	325.00	661.6	504.1	325.0
22	325.00	293.6	136.1	325.0
23	325.00	364.4	206.9	325.0
24	325.0	642.1	484.6	325.0
25	325.0	104.4	-	271.9
26	271.9	271.6	61.0	325.0
27	325.0	422.4	264.9	325.0
28	325.0	208.5	31.0	325.0
PROM.	248.4	245.5	83.5	252.9

Analizando los resultados presentados anteriormente, se observa -- que el volumen de extracción anual, más recomendable en este caso -- es de $157.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), ya que los derrames en el vaso -- disminuyen considerablemente en relación con los demás volúmenes , -- teniendo además la ventaja de que no se presentan déficits en el -- vaso al inicio de ninguno de los años simulados. De estos $157.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($5 \text{ m}^3/\text{s}$), alrededor de $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($0.6 \text{ m}^3/\text{s}$) --- corresponden a las pérdidas por evaporación en el vaso por lo cual el volumen de extracción anual en Cerro Prieto se vería reducido a un volumen efectivo de extracción anual de $137.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ ($4.4 \text{ m}^3/\text{s}$).

Por otro lado, según cifras recientes de la operación de la presa Cerro Prieto, se tiene que el año 1987 aportó a la ciudad de Monterrey, un caudal promedio de $2.268 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa un poco menos de la mitad de la capacidad probable de entrega ($4.4 \text{ m}^3/\text{s}$) estimada en la simulación presentada anteriormente, lo que indica que se tiene un potencial de alrededor de $2.0 \text{ m}^3/\text{s}$ que se encuentra desaprovechado.

En cuanto a la presa La Boca, la otra fuente superficial con que cuenta el Sistema, se tiene que el año 1987 aportó un caudal promedio de $1,696 \text{ m}^3/\text{s}$, siendo este el más alto de los últimos 8 años, tomando en cuenta que la capacidad instalada de su planta de bombeo es del orden de $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$. Cabe mencionar además, que esta presa tiene muchos problemas con la calidad de agua en su vaso, lo que dificulta en parte su disponibilidad de agua.

En términos generales se puede concluir que en los últimos años, -- gracias a la entrada en operación del Sistema Linares - Monterrey y mas concretamente de la presa Cerro Prieto, se ha logrado incrementar de manera considerable el porcentaje de abastecimiento de fuentes superficiales en relación con las fuentes subterráneas, llegando -- incluso a superar a estas a partir de 1987, como se muestra en la -- Tabla 3.5, la cual se representa gráficamente en la Figura 3.2.

Lo anterior resalta, ya que históricamente el porcentaje más alto de abastecimiento había correspondido a las fuentes subterráneas. Esto implica que a partir de 1987, se tiene una nueva tendencia en el abastecimiento de la ciudad, la cual se deberá conservar si se quiere permitir la recuperación de los acuíferos, los cuales en la actualidad se encuentran en un alto índice de sobreexplotación.

TABLA 3.1

LINARES - MONTERREY

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO

Gasto Medio de Aprovechamiento	9.75	m ³ /s
Gasto de Diseño	12.00	m ³ /s
Longitud del Acueducto	133.00	Km
Conducción con Tubería de Concreto	115.00	Km
Conducción con Tubería de Acero	18.00	Km
Desnivel Estático Máximo	256.00	m
Carga Total de Diseño	390.00	m
Carga de Bombeo Máxima	455.60	m
Carga de Bombeo en Condiciones Medias	401.80	m
Potencia Total	46 280.00	Kw
Longitud de Caminos	170.00	Km
Almacenamiento Total en Presas	707'500,000.00	m ³

TABLA 3. 2

PLANTAS DE BOMBEO

	PB1	PB2	PB2A	PB3	PB4	PB5	T o t a l
Número de bombas	4	5	5	5	6	6	31
Gasto de Diseño (m ³ /s)	8	10	10	10	12	12	
Carga de Diseño (m)	80	62	62	62	52	72	390
Potencia (kw)	7640	7100	7100	7100	7140	10200	46280

TABLA 3.3

TORRES DE OSCILACION Y TANQUES UNIDIRECCIONALES

Torre	Tanque	Localización	Diámetro (m)	Altura (m)
TO 4		PB4-PB5	12.0	40.0
TO 5		PB5	8.0	61.0
	TU I	PB1-PB2	6.5	12.0
	TU II	PB1-PB2	16.0	20.0
	TU III	PB1-PB2	6.5	12.0
	TU IV	PB2-PB2A	12.0	9.0
	TU V	PB2A-PB3	6.5	28.0
	TU VI	PB2A-PB3	6.5	19.0
	TU VII	PB3-PB4	6.5	9.0
	TU VIII	PB3-PB4	6.5	16.0
	TU IX	PB3-PB4	12.0	15.0
	TU X	PB3-PB4	6.5	9.0

TABLA 3: 4

PRESAS DE ALMACENAMIENTO Y DERIVADORAS DEL SISTEMA LINARES - MONTERREY .

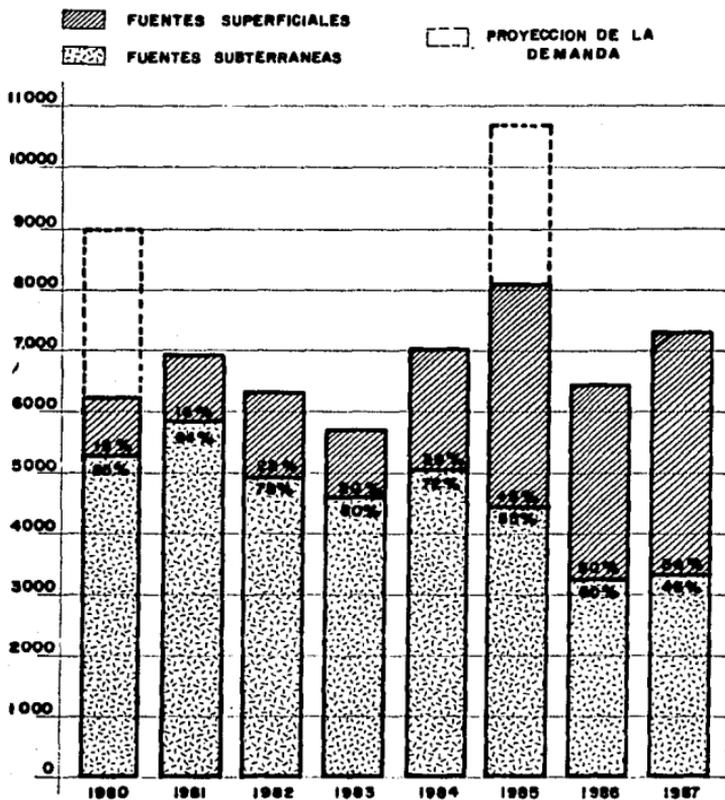
Etapa	Presa	Tipo	C u e n c a	Río		Altura de la cortina (m)	Almacenamiento		Esguerrimiento medio anual
				Nombre	Area de la cuenca (km ²)		Total	Util	
Primera									
	Cerro Prieto	Alm.	San Fernando	Pablillo	1708	50	393	275	213
	La Boca	Alm.	San Juan	San Juan	266	34	40	38	90
	Sotolar	Deriv.	San Fernando	Potosí	1317	5	--	--	118
Segunda									
	Chapotal	Alm.	San Juan	San Diego	15	68	153	149	--
	Tunal	Alm.	San Juan	Blanquillo	177	30	51	45	53
	Rafces	Alm.	San Juan	Ramos	218	40	44	38	65
	La Libertad	Alm.	San Fernando	Potosí	1435	43	231	200	128
	Chapotal	Deriv.	San Juan	Piñón	2150	4	--	--	183
	Río Ramos	Deriv.	San Juan	Ramos	218	7	--	--	65
	Piloncillo	Deriv.	San Juan	Piñón	1610	3	--	--	123

T A B L A 3 . 5
ABASTECIMIENTO PROMEDIO A LA CIUDAD DE MONTERREY
 (m³ / s)

ANO	1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987	
FUENTES	CAUDAL	%														
SUPERFICIAL	0.95	15	1.08	14	1.41	22	1.13	20	1.98	28	3.62	45	3.23	50	3.96	54
SUBTERRANEA	5.31	85	6.87	86	4.97	78	4.61	80	5.04	72	4.43	55	3.24	50	3.35	46
SUMA	6.26		7.95		6.38		5.74		7.02		8.05		6.47		7.31	

FIGURA 3.2

ABASTECIMIENTO PROMEDIO DE AGUA A MONTERREY, N.L.



IV.- EXPLOTACION DE FUENTES SUBTERRANEAS

IV. 1 ANTECEDENTES

Las fuentes subterráneas ocupan un lugar preponderante dentro del suministro de agua a la ciudad de Monterrey, ya que hasta el año 1987, fueron la principal fuente de abastecimiento a esta ciudad (ver figura 4.6).

En este sentido se ha considerado importante analizar en este capítulo las condiciones actuales de dichas fuentes, las que se encuentran en un alto nivel de sobreexplotación con el objeto de proporcionar estrategias que permitan recuperar el potencial de los acuíferos sin afectar el suministro actual y futuro de Monterrey.

El abastecimiento de agua a la ciudad proveniente de fuentes subterráneas comprende cuatro sistemas principales de extracción, siendo éstos los siguientes :

1. El campo de pozos Mina, que se encuentra conectado con la ciudad por medio de una conducción de 36" (91 cm.) de diámetro y aproximadamente 36 km. de longitud.
2. El sistema Santa Catarina, alimentado por galerías filtrantes y pozos perforados en el río del mismo nombre, aguas arriba del cañón de la huasteca, y que se conecta con la ciudad por medio de un acueducto integrado sucesivamente por un túnel, un canal y una tubería.
3. El sistema Santiago, cuyas fuentes de agua, situadas a unos 40 km. al sureste de la ciudad, comprenden los túneles de Sacavón de San Francisco y Cola de Caballo, así como la presa de la Boca.
4. Pozos situados dentro del área metropolitana y conectados directamente con la red de distribución.

IV.2 ESTIMACION DE LA RECARGA DE LOS ACUIFEROS

Los principales sistemas de acuíferos en la región de Monterrey son dos. Por una parte está el acuífero de calizas, que se extiende desde el pie de la Sierra Madre Oriental en dirección Norte y que puede dividirse en dos zonas de estudio :

- una designada como " Cuenca de Santa Catarina ", que se localiza al pie de los cerros meridionales de la Sierra Madre Oriental ;
- La otra designada como " Cuenca de Monterrey " , que se extiende al norte de la primera.

El segundo acuífero es de tipo aluvial y es aprovechado principalmente -- por medio de pozos privados, para la agricultura y la industria básicamente; mientras que el abastecimiento de agua a la ciudad de basa casi exclusivamente en el acuífero de calizas.

De acuerdo con un estudio realizado en 1977 para Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) en el que el método aplicado se basa en la suposición de que existe concordancia entre los regímenes de escurrimiento de las aguas subterráneas y las superficiales, ya que ambas vienen dictadas en buena medida por la estructura geológica, se estimó una recarga natural total de toda la cuenca de Monterrey de $500 \times 10^6 \text{ m}^3$ (15,580 l.p.s) de los cuales $280 \times 10^6 \text{ m}^3$ (8,880 l. p. s.) corresponden al acuífero de calizas y unos $220 \times 10^6 \text{ m}^3$ (6,980 l. p. s.) al de aluvión

Cabe mencionar que las cifras indicadas anteriormente se apoyan en promedios interanuales calculados sobre la base de las series pluviométricas de la estación climatológica Monterrey - 3 , para el período 1985 - 1975, estimándose al margen de error posible en 20 a 25 % para la recarga del acuífero de calizas y de 25 a 30 % para la recarga del acuífero de aluvión.

En un estudio más reciente (tesis UNAM , 1984) referido concretamente a

los sistemas Mina y Santa Catarina, en el que se estima la recarga de los mismos, se obtienen valores que difieren considerablemente de los consignados en el estudio referido anteriormente.

En este estudio más reciente se consideraron las investigaciones realizadas por Walter Knisel en 1972 en las que se menciona que la diferencia entre la precipitación medida y el agua que finalmente alcanza el acuífero puede considerarse como pérdida respecto a la recarga, pero en realidad representa la transposición de agua en el ciclo hidrológico. Este movimiento hídrico fue denominado por Knisel, como "abstracción de la precipitación para la recarga", y sus componentes son: la lluvia interceptada por la vegetación, la detenida por la superficie terrestre, el escurrimiento superficial y la evaporación, entre los principales.

La ecuación que gobierna el proceso de recarga de los acuíferos, obtenida por Knisel con información hidrometeorológica de la "Plataforma Edwards" al sur de Texas, es la siguiente:

$$r = \frac{a b p}{a^2 + p^2} ; p \geq 0, r (\%)$$

donde "a" es el parámetro de forma y "b" el de escala y representan la altura media a la cual se inicia el escurrimiento y su desviación estándar, respectivamente; "p" es la altura de precipitación en mm.

Los valores de "a" y "b" fueron tomados de las medidas efectuadas en la porción NE de México y SW de Texas por la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) y por el Departamento de Comercio de los Estados Unidos (oficina Meteorológica). Estas dependencias analizaron un período de más de 20 años (1946 - 1967), llegando a la conclusión de que se requiere una altura de precipitación media aproximada de 3.0094 pulgadas (76.44 mm) para iniciar el escurrimiento con una desviación estándar de 1.604.

Considerando estos valores para "a" y "b" y substituyéndolos en la ecuación anterior, queda que:

$$r = \frac{(76.44)(1.604)p}{(76.44)^2 + p^2} ; r (\%), p (\text{mm})$$

entonces ;

$$r = \frac{122.61 p}{5843 + p^2} ; r (\%), p (\text{mm})$$

Si se quiere obtener la lámina total de recarga basta con multiplicar -- ambos miembros de la ecuación por la precipitación (p), por lo que :

$$R = \frac{122.61 p^2}{5843 + p^2} ; R (\text{mm})$$

Considerando los altos rangos de evaporación en las zonas semiáridas , como lo son el Noreste de México y Suroeste de Texas, y en forma -- análoga al estudio de Knisel, la recarga probable máxima antes del pun -- to de escurrimiento sería del orden del 80% de la precipitación y el lími -- te inferior de precipitación para producir recarga sería de 6.5 mm, -- siendo esto último una restricción a considerarse en el procesamiento de datos de lluvia y al cual se le denomina " precipitación efectiva " .

IV.3.- DESCRIPCION DE LAS FUENTES SUBTERRANEAS

IV.3.1 SISTEMA MINA.

Se localiza a unos 40 km. al NW de la ciudad en el municipio de Mina, -- en los márgenes de las sierras de Minas Viejas y El Fraile, entre los -- paralelos 26° 00' y 26° 03' de latitud Norte y los meridianos 100° 30' y -- 100° 34' longitud Oeste.

Se trata de un sistema con elevaciones topográficas que van desde 585 -- msnm hasta 750 msnm.

Cuenta con 29 pozos, cuyas profundidades varían entre 260 metros y --

1,545 metros, algunos de los cuales están fuera de servicio por reparaciones o simplemente porque se encuentran abatidos. El equipamiento -- de estos pozos comprende bombas cuyos diámetros varían entre los 47.5 cm. y 50.8 cm.

Los estudios de exploración para la instalación de este sistema, datan -- del año 1952, habiéndose perforado el pozo número 1 en mayo de 1954, con un gasto de extracción inicial de 165 l.p.s. y el pozo número 29 -- en el mes de abril de 1976 con un gasto de extracción inicial de 35 -- l.p.s.

El agua extraída del campo de pozos Mina se transporta hasta los tan -- ques localizados en el área metropolitana a través de una tubería de -- acero de 36 pulgadas (91 cm) y 36.7 kilómetros de longitud.

De acuerdo con un trabajo realizado para la SARH (1980), en el -- cual se estima el área de recarga en 160 km^2 , comprendiendo los afloramientos de las sierras Minas Viejas y Potrero Chico, los que presentan alta porosidad y fracturamiento de la roca, permitiendo la gran permeabilidad de la misma; y analizando registro de lluvia acumulada mensual de la estación Mina, se estimó con la fórmula de Knisel una lámina media anual de precipitación efectiva de recarga de 218 mm equivalente a una recarga media anual de $34.91 \times 10^6 \text{ m}^3$ (1,100. l. p. s).

Según otro estudio (Tesis UNAM, 1984), en el que se analiza más a -- fondo la potencialidad del sistema Mina y se hace una corrección del -- área aproximada de recarga, estableciéndola en 150 km^2 , considerando registros diarios de lluvia de acuerdo a lo establecido por Knisel, se -- determina una precipitación efectiva (lámina de recarga) media anual de 96.6 mm, lo que significa una recarga media anual de 14.5×10^3 -- (459 l.p.s.).

Comparando los resultados de los dos estudios mencionados anteriormen -- te notamos gran diferencia en los mismos, lo cual se debe en parte a la dificultad para la determinación del área efectiva de recarga, así como a las

consideraciones que se hacen a la hora de analizar la información pluviométrica.

Considerando los resultados del segundo estudio como los más apegados a la realidad, por el hecho de tomar en cuenta registros diarios de lluvia, se puede ver que dicha recarga media anual es mayor que los volúmenes de extracción a partir del año 1986, lo que indicaría que en términos generales se está permitiendo la recuperación paulatina de los acuíferos que conforman el sistema Mina.

A continuación, en la tabla 4.1, se presentan algunos datos generales del sistema Mina; posteriormente en la tabla 4.2 se presenta el registro de extracciones del período 1980 - 1987, cuya representación gráfica aparece en la figura 4.1.

TABLA 4.1

SISTEMA MINA	
DATOS GENERALES	
AREA DE RECARGA	150 Km ²
RECARGA ESTIMADA	459 l. p. s.
EXTRACCION PROM (80 - 87)	812 l. p. s.
ENTRADA EN SERVICIO	1954

TABLA 4.2

SISTEMA MINA		
EXTRACCIONES		
AÑO	VOLUMEN ANUAL (Millones m ³)	GASTO PROMEDIO ANUAL (l . p . s .)
1980	46.6	1,479
1981	48.3	1,532
1982	36.8	1,168
1983	19.8	629
1984	20.6	654
1985	16.2	514
1986	7.7	243
1987	8.7	277

IV. 3. 2 - SISTEMA SANTA CATARINA.

El sistema Santa Catarina lo conforman las galerías La Huasteca y el campo de pozos Buenos Aires.

Se localiza al SE del área metropolitana de Monterrey, entre los paralelos 25° 16' y 25° 45' de latitud norte y entre los meridianos 100° 15' y 100° 45' de longitud oeste, en el cañón del río Santa Catarina. Principia a unos 1500 m. al suroeste de la lumbrera de Morteros, extendiéndose desde el pie de la Sierra Madre Oriental junto a Saltillo en dirección este y hacia Santa Catarina y Cola de Caballo en dirección sureste.

Este sistema se puso en funcionamiento el año de 1950 con la construcción de las galerías filtrantes La Huasteca, sobre el río Santa Catarina a la altura del cañón de La Huasteca, al poniente de Monterrey. Estas galerías quedaron fuera de funcionamiento a principios de 1981.

Los trabajos de exploración para el establecimiento del campo de pozos Buenos Aires se iniciaron en 1967, haciéndose la primera perforación para iniciar su explotación en 1968.

Actualmente el campo de pozos Buenos Aires es la principal fuente de agua subterránea encargada de abastecer a la ciudad de Monterrey.

Según un estudio realizado para la SARH en 1980, se determinó un área de recarga de 200 km^2 para este sistema. Se analizaron datos de lluvia acumulada mensual, adaptando la fórmula de Knisel, llegando a estimar una recarga media anual de $47.93 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalente a un gasto de extracción promedio de 1520 l. p. s.

Por otro lado, en otro trabajo (tesis UNAM 1984) en el que se estudia el campo de pozos Buenos Aires con mayor detalle, se consideraron datos pluviométricos diarios de la estación climatológica " Comitas " , no considerada en el estudio mencionado anteriormente, estimándose el área de recarga en 250 km^2 . Analizándose los registros pluviométricos diarios, de acuerdo con Knisel, se estimó una lámina de recarga media anual de 180.3 mm, lo que permitiría una recarga anual de $45.1 \times 10^6 \text{ m}^3$, equivalente a 1430 l. p. s. Analizando los resultados de los dos estudios antes mencionados, se aprecia que no existe gran diferencia en los volúmenes de recarga estimados, a pesar de existir una diferencia considerable de 50 km. en el área de recarga, debido en parte a la compleja geometría del acuífero.

Comparando el volumen de recarga estimado para este sistema con los volúmenes de extracción en los últimos años, se aprecia que solamente en el año de 1987 la recarga es levemente mayor que la extracción, lo que indicaría que no existe una real recuperación del acuífero.

A continuación en la tabla 4.3 se presentan algunos datos generales del sistema Santa Catarina, después en la tabla 4. 4 se presentan los volúmenes de extracción de este sistema en el período 1980 - 1987, el cual se presenta gráficamente en la figura 4. 2

TABLA 4.3

SISTEMA SANTA CATARINA		
CARACTERISTICAS GENERALES		
AREA DE RECARGA	250	KM
RECARGA ESTIMADA	1430	l. p. s.
EXTRACCION PROM (80 - 87)	2035	l. p. s.
ENTRADA EN SERVICIO	1950	

TABLA 4.4

SISTEMA SANTA CATARINA

EXTRACCIONES		
AÑO	VOLUMEN ANUAL (Millones m ³)	GASTOS PROM. ANUAL (l. p. s.)
1980	100.2	3,176
1981	94.4	2,992
1982	62.4	1,978
1983	57.2	1,814
1984	56.2	1,792
1985	57.6	1,825
1986	46.5	1,474
1987	38.8	1,231

IV. 3. 3. - SISTEMA SANTIAGO

Se compone básicamente de manantiales que afloran por un lado del acuífero emplazado en el flanco suroccidental de la Sierra Silla.

La explotación se hace a través de túneles conectados a tuberías de conducción que se encargan de transportar el agua por gravedad hasta los tanques de distribución en el área metropolitana.

La presa La Boca forma parte del sistema Santiago, pero a su vez se incorpora al sistema Linares - Monterrey, como parte integral del mismo. Para fines de este capítulo, en que solamente se analizan fuentes subterráneas, se ha descartado a dicha presa como parte del sistema Santiago.

Al sistema Santiago están integrados básicamente : el manantial Estanzuela, cuya explotación se inició en el año 1950; el socavón de San Francisco, en el poblado de Santiago, el cual se explota desde 1956; y por último los dos túneles de Cola de Caballo, en el lugar conocido como Mesa Grande, cuyo estudio geohidrológico, se inició en 1960 y se concluyó en 1962.

Una vez integradas estas tres fuentes del sistema en el año de 1964, se alcanzó un volumen de extracción de 611 l. p. s. ; correspondiéndole 36 l. p. s. (6 %) a Estanzuela, 492 l. p. s. (81 %) al socavón de San Francisco y 83 l. p. s. (13 %) provenientes de los túneles Cola de Caballo.

A partir del año 1983, el manantial Estanzuela cuenta con un túnel adicional con capacidad de 200 l. p. s.

Aunque el sistema Santiago es el tercero en importancia, en el abastecimiento de agua a Monterrey, tiene la ventaja sobre los otros dos de que su explotación no requiere de grandes inversiones, ya que el agua

se capta a través de galerías filtrantes que reciben el agua para ser conducida después por gravedad hasta la ciudad, sin necesidad de equipos de bombeo y gastos que esto implica. Con esto, el sistema Santiago se convierte en el más económico de los cuatro que conforman el sistema de abastecimiento proveniente de fuentes subterráneas.

En función de lo anterior, se hace necesario impulsar estudios para determinar el potencial real del sistema Santiago, así como volúmenes de recarga, ya que en la actualidad no se cuenta con un estudio profundo sobre estos aspectos.

A continuación en la tabla 4.5 se presenta el registro de extracciones del sistema Santiago, en el período 1980 - 1987 (fuente : Captaciones y Conducciones de Agua, SARH), el cual se representa gráficamente en la figura 4.3.

TABLA 4. 5.
SISTEMA SANTIAGO

EXTRACCIONES		
AÑO	VOLUMEN ANUAL (Millones m ³)	GASTO PROM. ANUAL (l. p. s)
1980	35.1	1,113
1981	44.2	1,401
1982	43.5	1,378
1983	35.9	1,137
1984	39.1	1,240
1985	30.4	965
1986	25.1	797
1987	32.3	1,023

IV.3.4. POZOS EN EL AREA METROPOLITANA.

Este sistema abarca a los pozos perforados en el área metropolitana -- que se encuentran distribuidos en diferentes puntos de la ciudad, -- penetrando el acuífero subyacente a la misma.

Cabe mencionar que aunque la gran mayoría de estos pozos están controlados, existe por otro lado una serie de pozos privados de los cuales no se tiene un registro adecuado, dificultándose con esto la determinación de los volúmenes de extracción real en esta zona, así como el conocimiento del potencial del acuífero, por lo cual se hace necesario implementar un control más estricto de los mismos, a fin de manejar este sistema adecuadamente.

A continuación en la tabla 4.6 se presenta el registro de los volúmenes de extracción correspondiente a este sistema en el período 1980 - 1987 - (fuente : Captaciones y Conducciones de Agua, SARH), el cual se presenta gráficamente en la figura 4.4.

TABLA 4. 6

POZOS ZONA METROPOLITANA		
EXTRACCIONES		
AÑO	VOLUMEN ANUAL (Millones m ³)	GASTO PROM. ANUAL (l . p . s .)
1980	23.2	735
1981	29.9	947
1982	25.4	805
1983	32.5	1,031
1984	42.8	1,358
1985	35.6	1,130
1986	22.8	723
1987	25.8	817

A manera de resumen, en la figura 4.5 se presenta la gráfica comparativa de las tendencias en las extracciones de los cuatro sistemas analizados, para el período 1980-1987.

En esta gráfica se aprecia la clara tendencia a la disminución de las extracciones en los sistemas Mina y Santa Catarina, mientras que los otros dos sistemas mantienen sus extracciones dentro de un cierto margen. La disminución en las extracciones de los dos sistemas más importantes, ha sido posible gracias a la entrada en operación del sistema Linares - Monterrey.

IV.4 RECOMENDACIONES

En términos generales, después de analizar este capítulo, se aprecia una marcada limitación de las fuentes subterráneas, debido a su alto nivel de sobreexplotación, por lo que se hace prioritario el propiciar la recarga de los acuíferos en la medida de lo posible, combinando adecuadamente las fuentes subterráneas y superficiales, de tal manera que se puedan manejar dichas fuentes como un gran sistema que pueda ser optimizado en beneficio de la población de Monterrey.

En función de lo anterior, se puede estructurar una estrategia a seguir, que a grandes rasgos contemplaría lo siguiente :

- 1.- Permitir la recuperación de los acuíferos, extrayendo el agua de las fuentes superficiales, como Cerro Prieto y La Boca, hasta donde sea posible.
- 2.- Evitar al máximo los derrames en estas dos presas, dando prioridad a La Boca, dado que un derrame en ella representa mayor extracción de Cerro Prieto, lo que implica un mayor costo debido a la distancia y a las características de la conducción desde Cerro Prieto hasta Monterrey.

Lo propuesto anteriormente, sería hasta lograr una real recuperación de los acuíferos; después podrá modificarse la estrategia a seguir, - integrando los acuíferos de tal forma que se puedan aprovechar sin llegar a su sobreexplotación excesiva y por otro lado evitando al -- máximo que se produzcan " derrames " , ya que esto implicaría un desperdicio considerable de agua económicamente más accesible.

FIGURA 4.1

EXTRACCIONES SISTEMA MINA

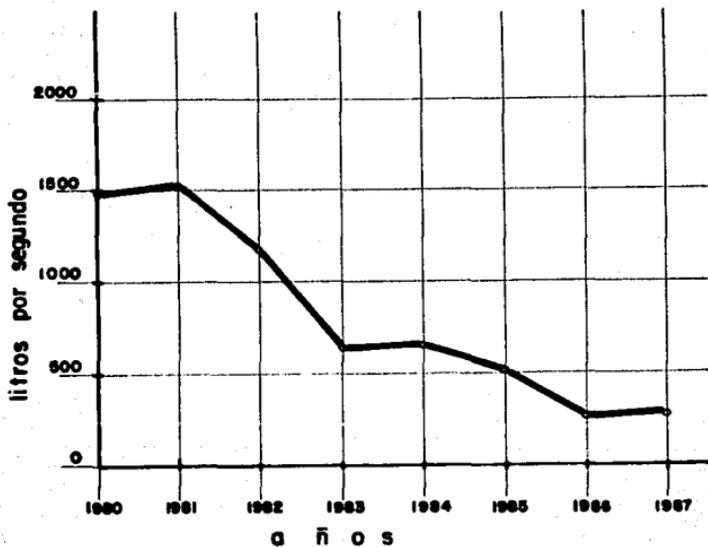
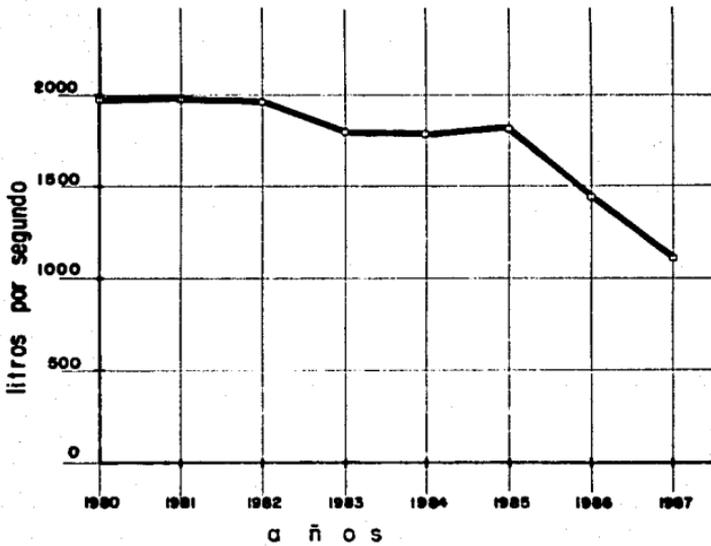
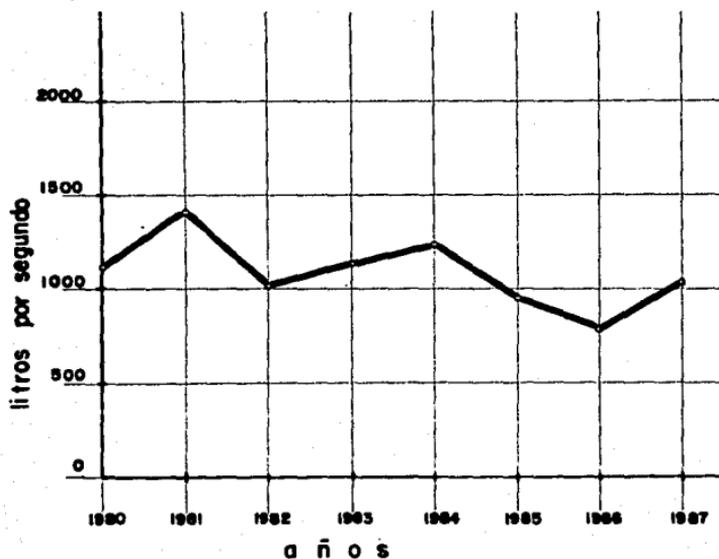


FIGURA 4.2

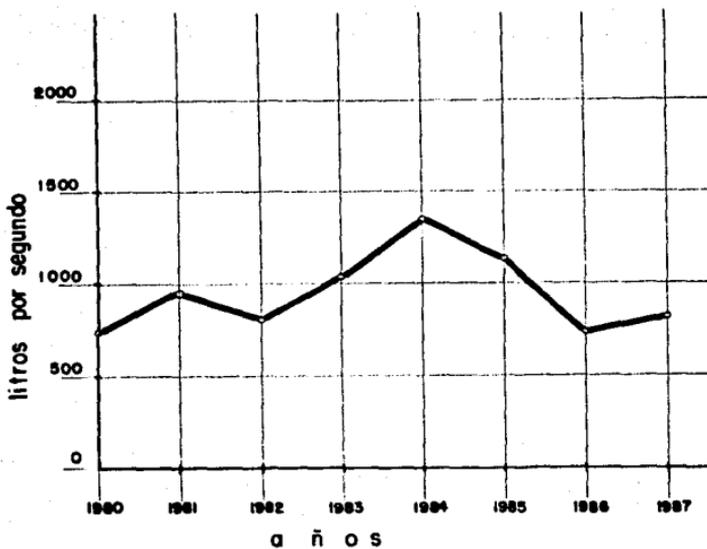
EXTRACCIONES SISTEMA SANTA CATARINA



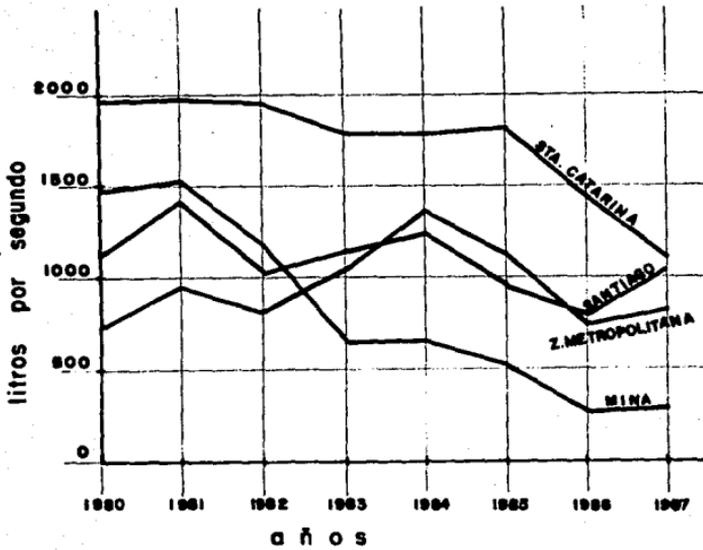
EXTRACCIONES SISTEMA SANTIAGO



EXTRACCIONES ZONA METROPOLITANA



GRAFICA COMPARATIVA DE EXTRACCIONES



V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Si se analiza el sistema de abastecimiento, considerando básicamente tres factores : captación, distribución y consumo; y tomando en cuenta que el agua es un recurso particularmente escaso en las cuencas cercanas a Monterrey, pueden derivarse las siguientes conclusiones y recomendaciones .

- Al analizar las proyecciones de la demanda de agua presentadas en este trabajo, las cuales fueron estimadas sobre la base de un consumo de agua de 370 l/h/d (SARH) y un crecimiento anual en el consumo de agua por parte del sector industrial del 6.0 % (CPNH) se puede apreciar que dichas cifras pueden considerarse excesivas, ya que una dotación de 370 l/h/d es bastante alta si se toma en cuenta que la zona de Monterrey se caracteriza por la escasez de agua. Por otro lado habrá que tomar en cuenta que la tasa de crecimiento en el consumo de agua del sector industrial, fue establecida en la época del auge económico que vivió el país hace algunos años, por lo cual se puede determinar que dicha cifra se encuentra actualmente sobreestimada.
- El ahorro de agua tanto en el sector doméstico como industrial, será necesario para el aprovechamiento racional de este recurso. Para ello será necesario implementar serias campañas de concientización en la población a fin de crear una verdadera disciplina de ahorro en el consumo de agua.
- Se deberá reglamentar y exigir al sector industrial que desarrollen e incrementen sus programas de reuso del agua, con el fin de superar el porcentaje de 36 % de reuso de la misma, manejando en las proyecciones de demanda presentadas en este trabajo. Asimismo será necesario controlar y restringir la creación de nuevas industrias, con el fin de que dichos rubros no impliquen altos consumos de agua.

- Otro factor importante para evitar el desperdicio de agua, es la revisión y renovación constante de la red de distribución, ya que las -- pérdidas en la red son del orden del 45 %, según trabajo realizado -- para Servicios de Agua de Monterrey por Planimex Ingenieros Consul -- tores, S. A. en 1977, incluyendo pérdidas por fugas, conexiones clan -- destinas, inexactitud en la medición, etc.

Esta cifra es alarmente sin lugar a dudas, sobre todo tratándose de una ciudad como Monterrey cuyas fuentes cercanas son insuficientes.

- Dentro de la revisión y renovación constante de la red de distribución deberá considerarse la conclusión de los trabajos del " Anillo de -- Transferencia " , el cual consiste en un anillo periférico de distribu -- ción de agua que permitirá integrar y combinar los diferentes siste -- mas de abastecimiento, a fin de entregar agua sin problemas en -- cualquier punto de la ciudad.
- Para aprovechar al máximo la disponibilidad actual que otorgan las -- diferentes fuentes que abastecen a Monterrey, será necesario optimi -- zar el funcionamiento de todo el sistema de abastecimiento. Lo ante -- rior permitirá diferir las inversiones para la construcción de nuevas obras de infraestructura hidráulica, siendo prioritarias las obras -- almacenamiento, las cuales permitirán captar los excedentes de agua en años lluviosos.
- En tanto se logra la recuperación de los acuíferos, los cuales han -- sufrido un alto grado de sobreexplotación, será necesario darle -- prioridad al abastecimiento proveniente de las fuentes superficiales que conforman el sistema Linares - Monterrey, como son Cerro -- Prieto y La Boca. Para esto será importante implementar políticas de extracción que permitan regular la disponibilidad de agua, -- disminuyendo al máximo los derrames en las presas que conforman -- el sistema, para que de esta manera se pueda garantizar la cobertu -- ra de la demanda. Considerando la cercanía de la presa La Boca con Monterrey, será prioritario extraer agua de ésta para el abastecimien -- to de la ciudad ya que esto permitirá un considerable ahorro -- -- económico en relación con Cerro Prieto.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Se deberá tener cuidado con La Boca, ya que además de tener problemas con la calidad de su agua, presenta derrames con relativa frecuencia -- propiciados por la poca capacidad de almacenamiento y las variaciones -- climáticas caracterfsticas de la zona de Monterrey. Cabe mencionar que un derrame en La Boca implicaría mayor extracción de Cerro Prieto -- y por lo tanto un aumento considerable en el costo del agua.
- Para conocer el potencial real de los cuatro sistemas de abastecimiento de fuentes subterráneas, será necesario realizar estudios exhaustivos -- que permitan operar de manera óptima dichos sistemas, ya que en la -- actualidad se cuenta solo con estudios de los sistemas Mina y Santa -- Catarina, con resultados muy disímiles entre uno y otro.
- Se requerirá de un control mas completo de la explotación de los pozos de la zona metropolitana, especialmente de los pozos privados, ya que -- en este sentido existe cierta anarquía que provoca un desconocimiento -- de los volúmenes reales de extracción, y del potencial del acuífero.
- A pesar del clima relativamente seco en la mayoría de los años, la presencia esporádica de fenómenos meteorológicos, como el huracán -- -- " Gilbert " a fines de 1988, y el " Beulah " en 1967, dejan de manifiesto la necesidad de contar con mas obras de almacenamiento que permitan aprovechar al máximo los excedentes. Cabe mencionar que gracias a la presencia del " Gilbert " , por primera vez se pudo llenar la -- presa Cerro Prieto, llegando incluso a derramar, de tal forma que si -- se hubiera contado con mayor infraestructura hidráulica se habrían -- aprovechado dichos volúmenes excedentes.
- En este sentido será prioritario la terminación de la segunda etapa del sistema Linares - Monterrey, la cual contempla la construcción de una serie de presas que permitirán aprovechar al máximo las precipitaciones abundantes, producto de fenómenos meteorológicos como el " Beulah " y el " Gilbert " .

FUENTES DE INFORMACION

- " ACUEDUCTO LINARES - MONTERREY " SARH. JULIO 1984
- " AGUA PARA MONTERREY: LA OBRA DEL SIGLO " GOBIERNO DEL ESTADO DE NUEVO LEON.
- TESIS UNAM, 1984, LUIS VELAZQUEZ AGUIRRE.
- INFORMACION INTERNA DEL INSTITUTO DE INGENIERIA, UNAM.
- INFORMACION INTERNA DE LA COMISION DEL PLAN NACIONAL HIDRAULICO (CPNH), 1980 y 1983.
- INFORMACION INTERNA DE LA DIRECCION GENERAL DE CAPTACIONES Y CONDUCCIONES DE AGUA, SARH.