



163  
2804

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

---

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIVISION DE INGENIERIA CIVIL, TOPOGRAFICA Y GEODESICA

**"SIMULACION CON MODELO DIGITAL PARA DETERMINAR  
EL APROVECHAMIENTO OPTIMO DE VOLUMENES  
EN UNA CUENCA"**

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL  
**P R E S E N T A**  
RIOS NORIEGA VICTOR MANUEL



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **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.

## C O N T E N I D O

	PAGINA
I.- INTRODUCCION.	1
II.- DESCRIPCION DEL MODELO DIGITAL PARA UNA INFRAESTRUCTURA DADA.	3
III.- PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE SIMULACION.	23
IV.- GENERACION DE ALTERNATIVAS.	60
V.- DETERMINACION DE VOLUMENES APROVECHABLES MEDIANTE SIMULACION EN COMPUTADOR ELECTRONICO.	62
VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	99

## INTRODUCCION.

Para suministrar los volúmenes de agua en bloque que demanda la Ciudad de México y su Area Metropolitana, organismos del sector público y empresas han estudiado diversas fuentes alternativas en las cuales se conjugan el intercambio de aguas residuales, la conservación de los caudales existentes mediante la rehabilitación o sustitución de pozos en zonas que aún permitan la explotación de los acuíferos y la importación de agua proveniente de --- fuentes externas al Valle de México.

En lo referente a fuentes externas se estudio el aprovechamiento de aguas subterráneas de la Cuenca Libres-Oriental y de -- aguas superficiales en las Cuencas de Cutzamala, Tula, Temascaltepec, Tecolutla y Amacuzac. Como resultado de los estudios se encontró que la fuente externa más viable para exportar agua al Area Metropolitana era la Cuenca Alta del Río Cutzamala, toda vez que se disponía de excedentes ya cubiertas las demandas locales presentes y futuras.

Para mejorar el aprovechamiento del agua superficial proveniente de las cuencas externas al Valle de México, fue indispensable elaborar un modelo matemático de tipo digital para simular el funcionamiento hidrológico y determinar los caudales transferibles a la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. En el presente -

trabajo se describe la simulación con modelo digital para determinar el aprovechamiento óptimo de volúmenes en una cuenca utilizando el enfoque de sistemas para definir así una metodología que -- ayude en la etapa de planeación a la toma de decisiones.

Es preciso aclarar que el modelo elaborado permite analizar esquemas de aprovechamiento en los cuales se consideren hasta -- seis vasos de almacenamiento y que en cada uno de ellos se admiten hasta tres entradas y tres extracciones. En el presente documento se describe el criterio metodológico adoptado para la formulación del modelo y las bases para su operación en Computador Cyber serie 170 modelo 72, así como su aplicación al Sistema Cutzamala.

En la etapa de identificación del proyecto se hace la descripción de una infraestructura dada, al definir la configuración del Sistema Cutzamala para agua potable, diagnóstico y pronóstico se desarrolla con el planteamiento del modelo, por medio del cual se hace una selección de alternativas que permiten la determinación de volúmenes aprovechables y las políticas óptimas de operación, -- que en la etapa de implantación en el sistema real generará la necesidad de retroalimentar el modelo de simulación.

Finalmente es conveniente mencionar, que el trabajo realizado corresponde a una adecuación del modelo desarrollado por la Comisión de Aguas del Valle de México en los años de 1976 y 1981, -- utilizándose para tal efecto los estudios hidrológicos realizados en dichos años.

## DESCRIPCION DEL SISTEMA CUTZAMALA PARA AGUA POTABLE UTILIZANDO LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA HIDRO-ELECTRICO MIGUEL ALEMAN:

La cuenca del Río Cutzamala forma parte de la cuenca del — Río Balsas en la porción denominada cuenca del medio y bajo Balsas que se localiza entre los paralelos  $18^{\circ} 35'$  y  $19^{\circ} 50'$  de latitud norte y en los meridianos  $99^{\circ} 45'$  y  $101^{\circ}$  de longitud oeste. (Plano N° 1)

El Río Cutzamala se origina en la confluencia de los Ríos - Purungueo, Tuxpan, Zitácuaro, Tuzantla, Tilóstoc y Temascaltepec, con un caudal medio de  $105 \text{ m}^3/\text{s}$  de escurrimiento registrado en la estación El Gallo, proveniente de toda la cuenca.

Para fines del presente estudio la cuenca del Río Cutzamala se dividió en dos grandes zonas: La porción Occidental en donde no se dispone de suficiente información hidrométrica y climatológica y la zona Oriental en la cual se dispone de información suficiente en calidad y cantidad y en donde se localiza el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán con las Presas Villa Victoria, Valle de Bravo, Tilóstoc, Colorines, Tuxpan I, El Bosque e Ixtapan. (Figura N° 1)

### INFORMACION HIDROMETRICA:

El boletín hidrométrico N° 49 publicado por la Secretaría de





Recursos Hidráulicos contiene información hidrométrica de 42 estaciones distribuidas en la cuenca del Río Cutzamala. Los periodos de registro disponible en estas estaciones son de longitud muy variable y un buen número de éstas han sido suspendidas. Algunas de estas estaciones se suspendieron por localizarse aguas arriba de los almacenamientos en los cuales el cálculo en las aportaciones se hace por antifuncionamiento de vasos, algunas otras se suspendieron a partir de 1967 por no representar para la Comisión Federal de Electricidad una utilidad inmediata, en la Tabla N° 1 se presenta una lista de las estaciones hidrométricas en las que se tiene registro de escurrimiento, así como la longitud de los registros disponibles. Los vasos de almacenamiento en el Sistema que se encuentran actualmente en operación son Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque.

#### INFORMACION CLIMATOLOGICA:

En la Dirección de Hidrología de la Secretaría de Recursos Hidráulicos y el Observatorio Nacional de Tacubaya se opera y concentra la información de la mayoría de las estaciones climatológicas en el país, en la cuenca del Río Cutzamala, en la que el número de estaciones asciende a 75, se opera normalmente en 55 estaciones climatológicas.

**PERIODO DE REGISTRO EN LAS ESTACIONES HIDROMETRICAS  
DE LA CUENCA DEL RIO CUTZAMALA**

ESTACION	A Ñ O S											
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	
TURUNDEO												
RIO GRANDE												
TUXPAN												
KM. 0+680												
KM. 4+200												
KM. 21+740												
TIQUICHEO												
EL GALLO												
IXTAPILLA												
RIO CHIQUITO												
EL FRESNO												
ZITACUARO												
LA FLORIDA												
KM. 3+450												
TUNELES 8-9												
EL ORO												
LA GARITA												
DOS RIOS												
EL RAMAL												
SAN JOSE MALACATEPEC												
EL DURAZNO												
PUENTE CANAL COLORINES												
LAS JUNTAS												
LA COMPAÑIA												
EL MOLINO												
SAN DIEGO												
EL SALTO												
EL MOLINO												
STA. MONICA												
VERTEDOR GONZALEZ												
CARRIZAL												
IXTAPAN DEL ORO												
KM. 0+700												
IXTAPAN STA. BARBARA												
TUNEL STO. TOMAS PINZANES												
A-12 LA COMUNIDAD												
RIO VERDE												
PASO DEL COBRE												
PASO DEL RAYAN												
A-II REAL DE ARRIBA												
PASO DEL GUAYABO												
BEJUCOS												

TABLA N° 1

En las tablas 2 y 3 se presentan los nombres de las estaciones climatológicas que reportan precipitaciones y evaporaciones, con los reportes de registro en cada una de ellas.

#### CURVAS-ELEVACIONES-AREAS-CAPACIDADES.

Actualmente en la cuenca alta del Río Cutzamala existen 5 - vasos de almacenamiento, con las curvas-elevaciones-áreas-capacidades que se muestran en las gráficas 1 al 5.

Los gráficos utilizados para la simulación hidrológica son los correspondientes a las presas de almacenamiento Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque, además del vaso regulador de Colomines, con las características siguientes:

##### Presa Villa Victoria.

La Presa Villa Victoria se construyó sobre el Río Malacatepec que se origina en la confluencia de los Arroyos El Ramal, La Compañía, El Molino y San Diego con el objeto de aprovechar los escurrimientos para generar energía eléctrica, al alimentar las plantas Martínez de Meza y Agustín Millán con un gasto medio - - anual de 4.66 m<sup>3</sup>/s.

La presa tiene actualmente una capacidad total de 185 millones de m<sup>3</sup> y está provista en su margen izquierda de una obra de

PERIODO DE REGISTRO DE LLUVIAS EN LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO CUTZAMALA

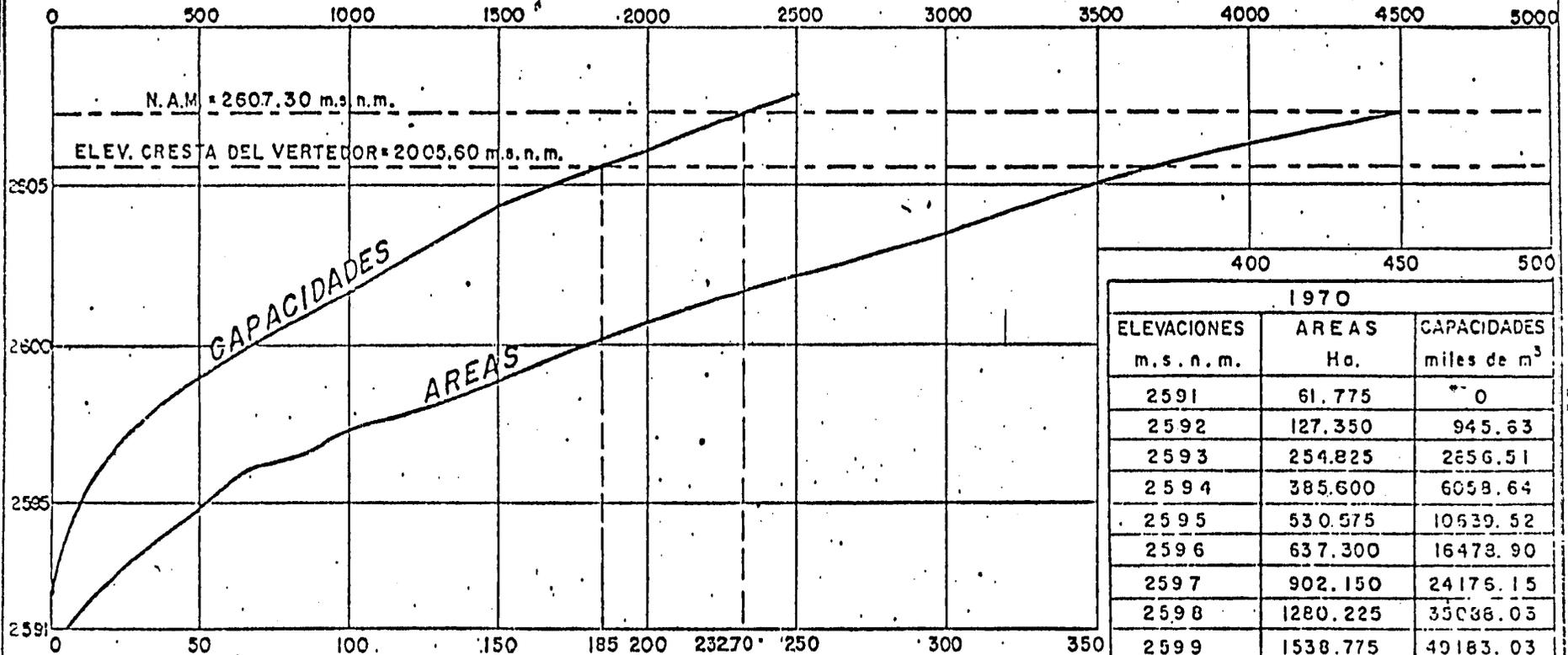
ESTACION	AÑOS												
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	
PALIZAGA													
TULTEHANGO													
PUEBLO NUEVO													
PRESA TEFETITLAN													
EMBAJONUY P													
SN FELIPE DEL PROGRESO													
ENVEGE													
LOS VELAZQUEZ													
PRESA VILLA VICTORIA													
ATOTONILCO													
ALMOLOA DE JUAREZ													
PALOS MANCORNADOS													
MEXICALCINGO													
AMARILCO DE SECERRA													
SAN FRANCISCO OXTOTILAN													
NEVADO DE TOLUCA													
PUENTE AJDARO													
TOXATE COMATEPEC													
COATEPEC DE LAS HARNAS													
CERCADA NORTE													
PALMARCHICO													
ITAPAN DEL ORO													
AMATEPEC													
SAN GIOFRE													
STA. MARIA DEL MONTE													
CIUDAD HIDALGO													
LAGUNA DEL FRESCO													
TUZANTLA													
PRESA ACOSTITLAN													
PRESA SARANCIA													
PRESA PULUATO													
HUINGO													
PRESA MAL PAIS													
MOXELIA													
LA ESTANCIA													
PRESA COINTZIO													
SANTIAGO UNDAHEO													
TZITZIO													
LOS ANFRES													
SAN LUCAS													
EL TENEZICAL													
EL FLJO													
SAN MIGUEL DEL MONTE													
TAPACHUACAO													
CIRIAN GRANDE													
ACAPULTE ANUAYA													
PALOS ALTOS													
TEALCHAPA													
CIUDAD ALTAMIRANO													
ARATICHANGUDO													
ACATITLAN													
DEJUCOS													
LAS JUNTAS													
TEMASCALTEPEC													
VILLA DE ALLENDE													
JACUALTEAN													
SALTEPEC													
TEJUPILCO													
LUVIANO													
PESO DEL COBRE													
PRESA LA CIENEGA													
STA PAHIANA													
SANTO CRISTO													
EL BOSQUE													
JUNIQUILCO													
SAN INIGO CUICUAPASEO													
SIMONIANO DE ORO													
TICUAPILCO													
TURICORO													
VILLA ANDENO													
ZITACUANO													
ITZAPALPA													
EL GRUPO													
CIUDAD DEL PROGRESO													
EL CERRILLO													

PERIODO DE REGISTRO DE EVAPORACIONES EN LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS DE LA CUENCA DEL RIO CUTZAMALA

ESTACION	A Ñ O S											
	29	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	
SAN FELIPE DEL PROGRESO												
LOS VELAZQUEZ												
PRESA VILLA VICTORIA												
ALMOLOYA DE JUAREZ												
PALOS MANCORNADOS												
ALMANALCO DE BECERRA												
SAN FRANCISCO OXTOTILPAN												
TOMA TECOMATEPEC												
CERCADA NORTE												
PALMAR CHICO												
AMATEPEC												
SAN ONOFRE												
SANTA MARIA DEL MONTE												
PALIZADA												
TULTENANGO												
PUEBLO NUEVO												
TEPETITLAN												
EMBAJOMUT												
ENYEGE												
ATOTONILCO												
COATEPEC MARINAS												
IXTAPAN DEL ORO												
CIUDAD HIDALGO												
LAGUNA DEL FRESNO												
PRESA AGOSTITLAN												
PRESA SABANETA												
PRESA PUCUATO												
HUINGO												
PRESA MALPAIS												
MORELIA												
PRESA COINTZIO												
SANTIAGO UNDAMEO												
LOS AZUFRES												
SAN LUCAS												
EL TEMAZCAL												
TZITZIO												
EL PEJO												
SAN MIGUEL DEL MONTE												
TARANDACUARO												
CIRIAN GRANDE												
PALOS ALTOS												
CIUDAD ALTAMIRANO												
ARATICHANGUIO												
ACATITLAN												
REJUCOS												
LAS JUNTAS												
PASO DEL COBRE												
STA. BARBARA												
BARTOLINAS												
EL BOSQUE												
TIOQUICHO												
TURICATO												
ZITACUARO												
IXTAPILLA												
EL GALLO												

# PRESA VILLA VICTORIA, MEX., EN EL RIO SAN JOSE MALACATEPEC

AREAS EN HECTARIAS



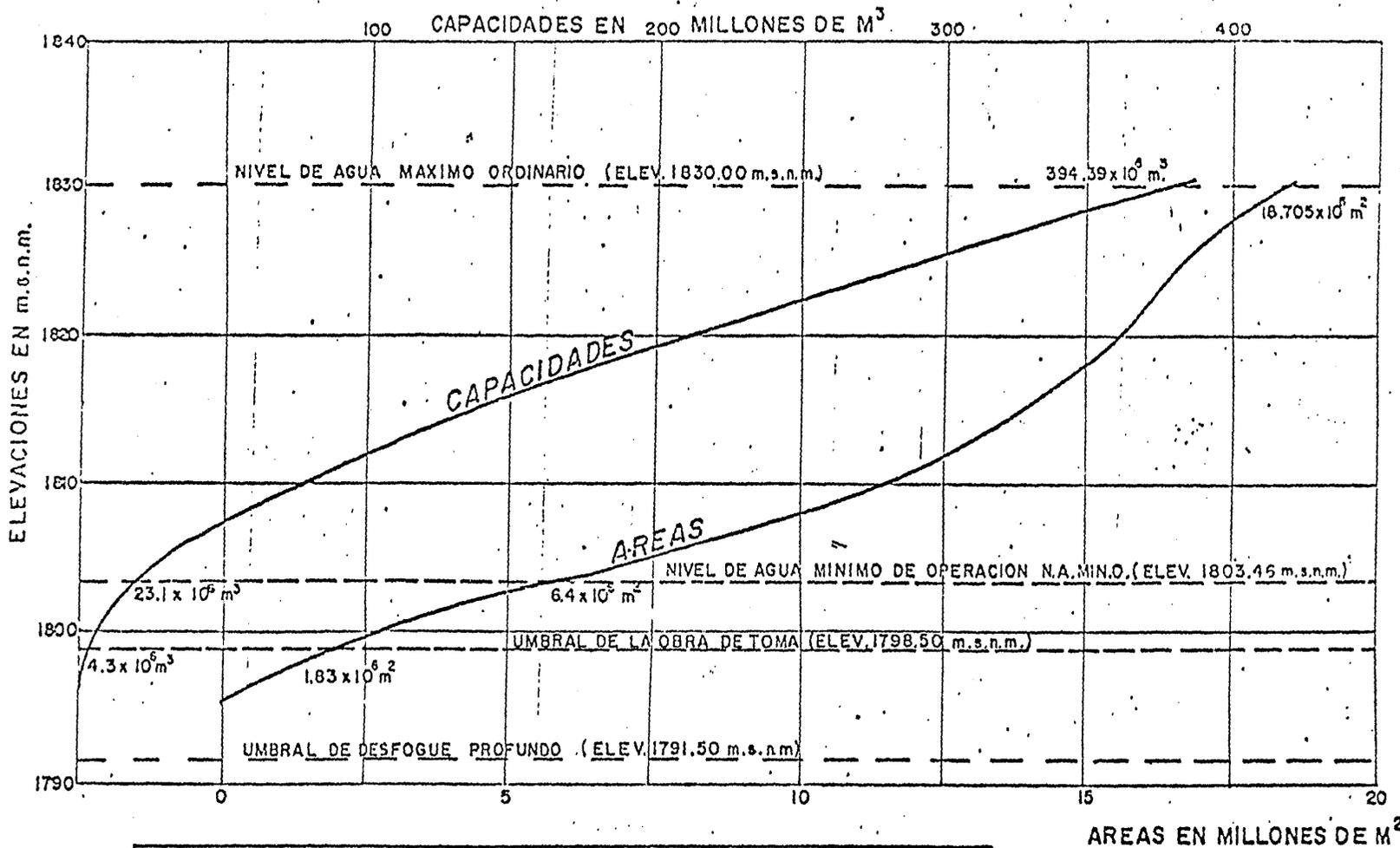
CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS  
(1980)

1970		
ELEVACIONES m. s. n. m.	AREAS Ha.	CAPACIDADES miles de m <sup>3</sup>
2591	61.775	0
2592	127.350	945.63
2593	254.825	2656.51
2594	385.600	6058.64
2595	530.575	10539.52
2596	637.300	16478.90
2597	902.150	24176.15
2598	1280.225	35036.03
2599	1538.775	49183.03
2600	1814.900	65951.41
2601	2123.000	85800.00
2602	2455.000	107200.00
2603	2807.000	129000.00
2604	3165.000	151500.00
2605	3530.000	175000.00
(1) 2605.60	3740.000	189250.00
2606	3900.000	190000.00
2607	4336.000	225200.00
(2) 2607.30	4475.000	232700.00

(1) Datos correspondientes a la cresta del vertedor

(2) Datos correspondientes al nivel de agua maximas. (N.A.M.)

# CURVA AREAS CAPACIDADES ELEVACIONES DE LA PRESA VALLE DE BRAVO (Jul. 1979)

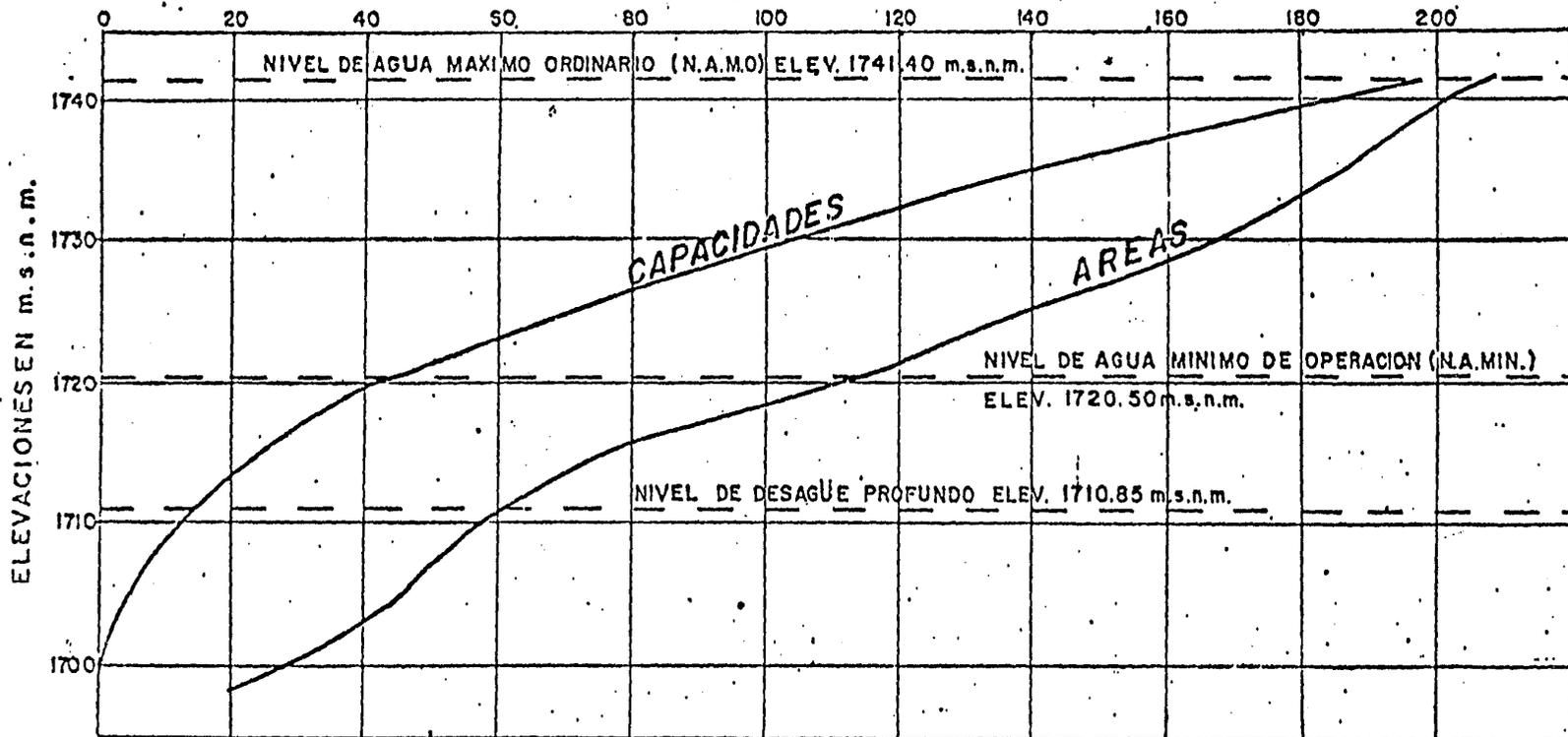


12

GRAFICA No 2

ELEVACION m.s.n.m.	1795	1800	1805	1810	1815	1820	1825	1830
AREA 10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup>	0.044	2.620	7.958	11.791	14.084	15.760	17.068	18.705
CAPACIDADES 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	0.110	7.270	34.215	83.590	148.28	222.89	304.96	394.39

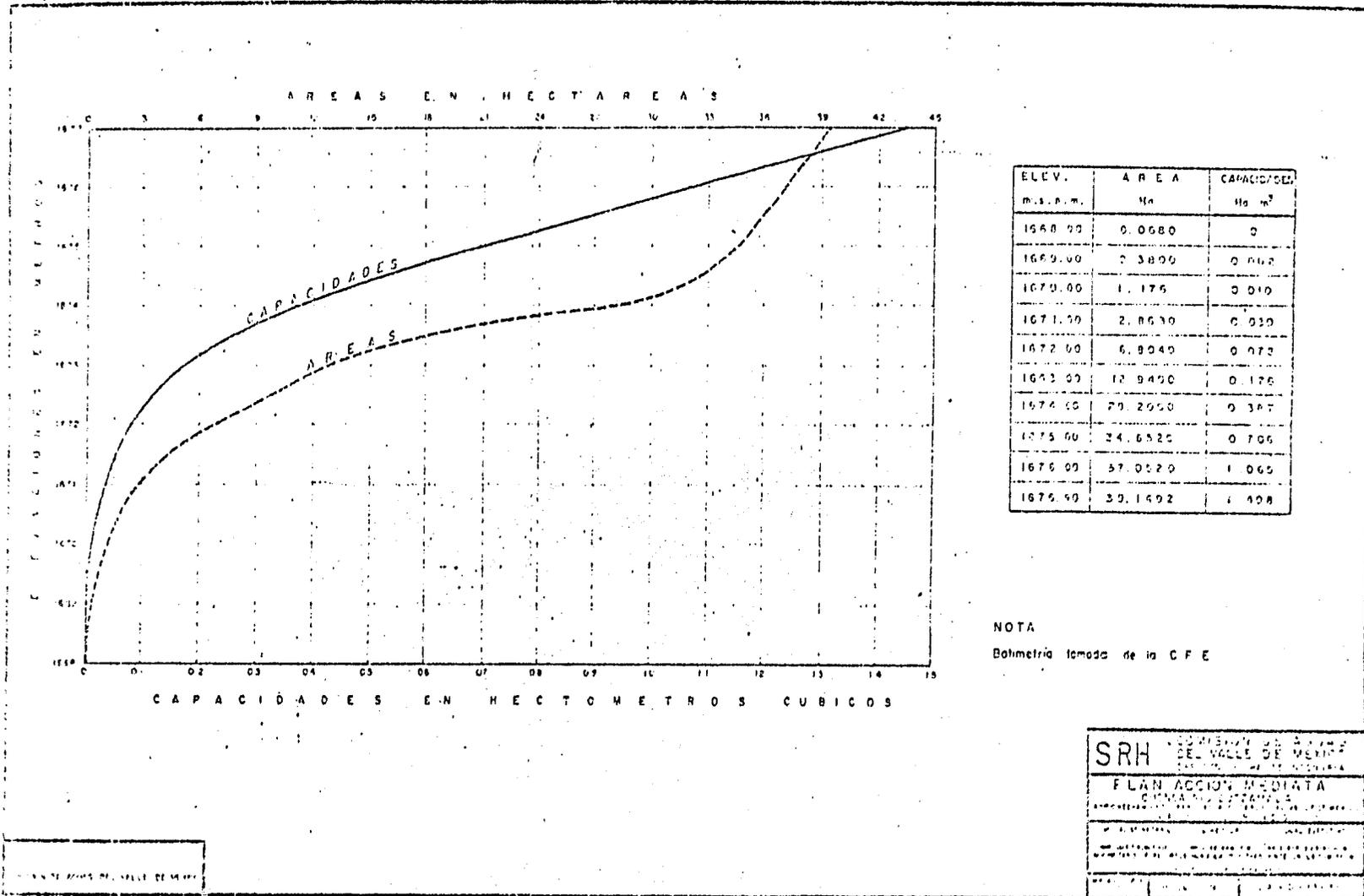
CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS (NOV.1979)



ÁREAS EN MILLONES DE METROS CUADRADOS

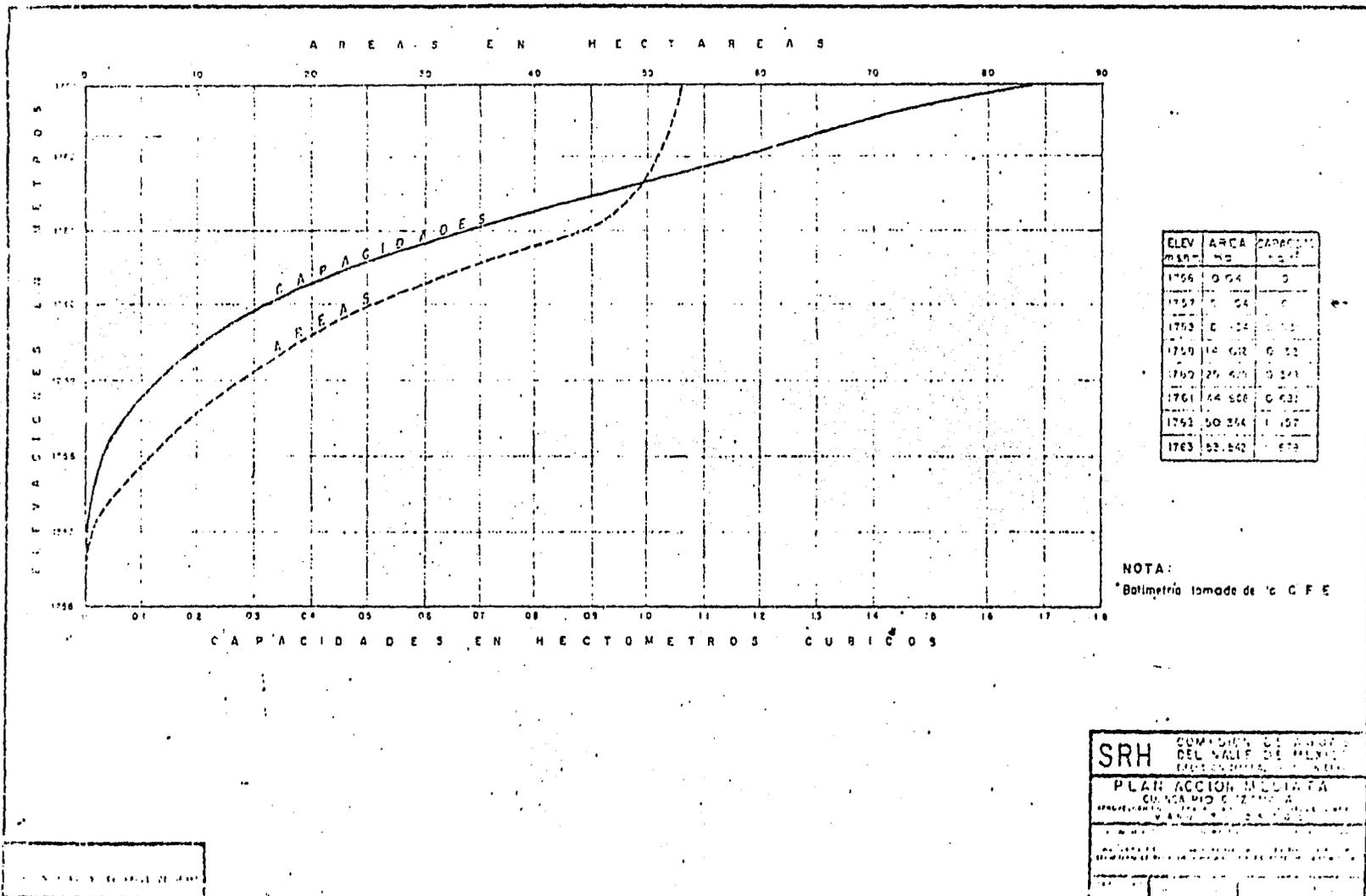
ELEVACIONES	ÁREAS	CAPACIDADES
m.	$10^3 \text{ m}^2$	$10^6 \text{ m}^3$
1700	435.250	725.417
1705	1334.000	4944.144
1710	1895.250	12976.313
1715	2816.000	24673.730
1720	4575.750	42960.999
1725	5972.750	69274.920
1730	7318.000	102444.814
1735	8325.500	141526.50
1740	9051.250	184955.740
1741.40	9430.670	197697.879

PRESA EL BOSQUE MICH.



NOTA  
 Batimetría tomada de la C.F.E.

SRH COMISIÓN DEL VALLE DE MEXICO  
 PLAN ACCIÓN MEDIANA  
 DIRECCIÓN DE OBRAS PÚBLICAS  
 SUBDIRECCIÓN DE PROYECTOS DE OBRAS PÚBLICAS  
 SECCIÓN DE PROYECTOS DE OBRAS PÚBLICAS



**SRH** COMANDO EN JEFE  
DEL VALLE DE MILNIO  
ESTADO DE QUININDIA, PERU

**PLAN ACCION HORTICOLA**  
CIVICA RIO CIZANCA  
APROBACION: 1974  
V. A. N. 2

toma diseñada para una capacidad de 9 m<sup>3</sup>/s.

#### Presa Valle de Bravo.

En la zona que confluían los Ríos Amalco, Valle de Bravo y los Arroyos Santa Mónica, González, El Molino y Carrizal, se construyó la Presa Valle de Bravo con el fin de aprovechar estos escurrimientos para generar energía eléctrica, alimentando la planta El Durazno y así aprovechar un gasto medio anual de 8.9 m<sup>3</sup>/s. La presa tiene actualmente una capacidad de 394.4 millones de m<sup>3</sup> y está provista en su margen derecha de una obra de excedencias y una obra de toma diseñada para una capacidad de 30 m<sup>3</sup>/s. Es Valle de Bravo la mayor presa de almacenamiento del sistema.

#### Presa El Bosque.

Para aprovechar los escurrimientos en la generación de energía eléctrica de los Ríos Zitácuaro, El Oro y La Garita se construyó la Presa El Bosque que alimenta las plantas Ixtapantongo, Santa Bárbara y Tingambato del mismo Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán y aprovecha un gasto medio de 10.2 m<sup>3</sup>/s.

Provista en la margen izquierda de una obra de toma y en la margen derecha de un vertedor de excedencias, la presa actualmente tiene una capacidad de 197.9 millones de m<sup>3</sup>, que se ven afectados por filtraciones bastante importantes, como se puede apreciar en la Figura N° 2 en donde se relacionan los almacenamientos con el -

Almacenamientos en  $Hm^3$

250

1979

200

150

100

50

0

5

6.55

10

15

20

Filtraciones en  $Hm^3/mes$

# PRESA EL BOSQUE

CURVA ALMACENAMIENTOS— FILTRACIONES

(1974-1979)

volumen mensual filtrado en el vaso. Sin embargo, para fines del presente estudio se consideraron recuperados estos volúmenes casi en su totalidad, mediante la construcción de una presa denominada "filtraciones del Bosque".

#### Vaso Colorines.

Este vaso construido sobre el Río Tilóstoc tiene una capacidad de un millón de m<sup>3</sup> en donde recibe y regula en forma horaria, los escurrimientos de los Ríos Ixtapan y San José Malacatepec, -- así como los caudales que se le envían desde la presa El Bosque.

#### Vaso Chilesdo.

Este vaso se proyecta construir sobre el cauce del Río San - José Malacatepec, a la elevación 2 348 m.s.n.m. con el fin de captar el 68% de los escurrimientos aforados en la estación San José Malacatepec. El proyecto contempla una capacidad de un millón de m<sup>3</sup> para obtener 1 m<sup>3</sup>/s, en promedio, en la parte alta de la cuenca.

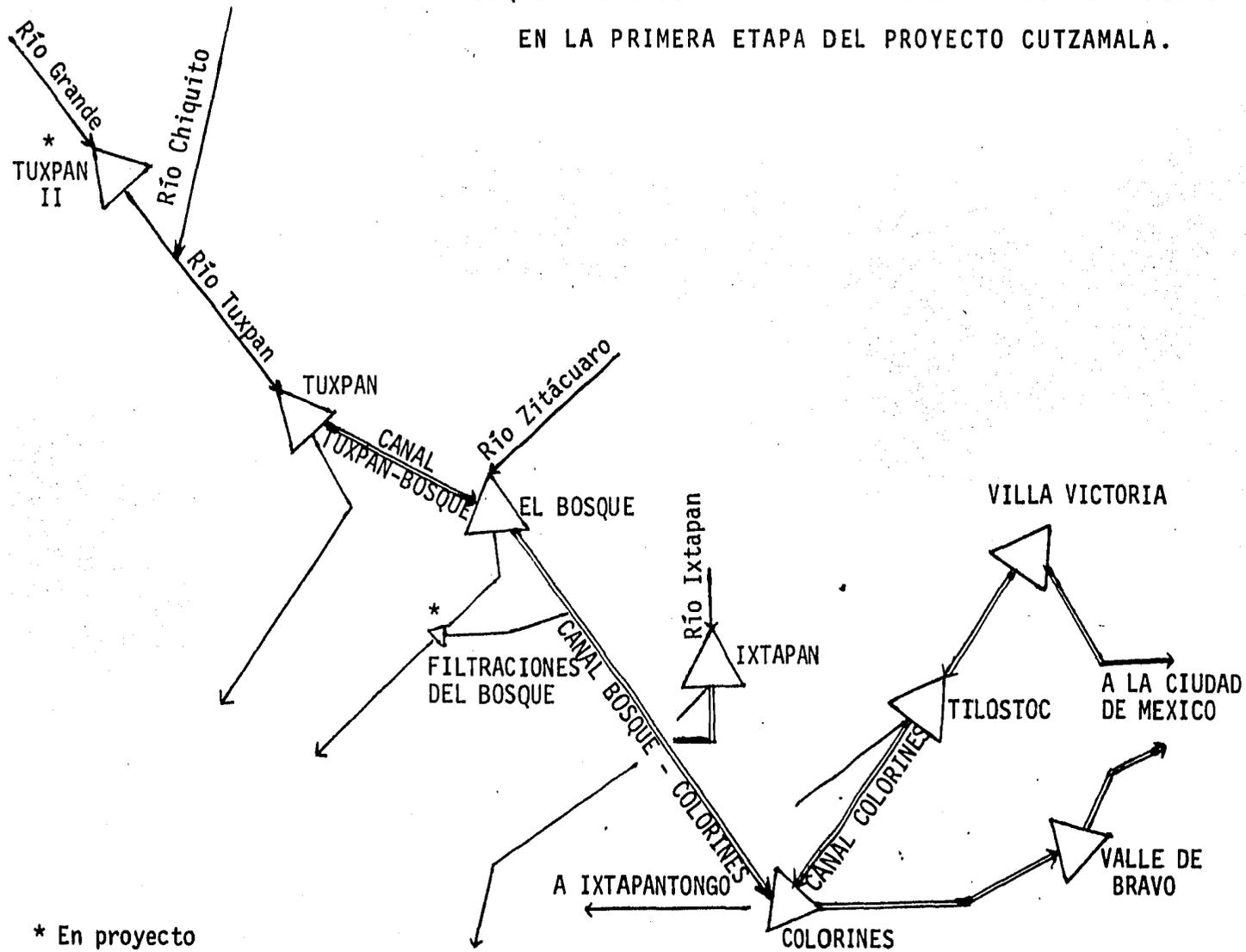
## DEMANDAS LOCALES PARA AGUA POTABLE, RIEGO Y GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.

Las demandas locales futuras para agua potable correspondientes a las diversas pequeñas comunidades dentro de la cuenca, se estimaron en base a proyecciones de población dando un total de 1.34 m<sup>3</sup>/s. Para riego la estimación fue hecha en base a las superficies identificadas como factibles de irrigarse, incluyéndose las ya incorporadas al riego en cada una de las presas, resultando ser de 2.66 m<sup>3</sup>/s. El gasto total por este concepto asciende a 4 m<sup>3</sup>/s desglosado en la Tabla N° 4 en donde se muestra la regionalización de las demandas locales futuras separadas por uso.

Por lo que se refiere a la generación de energía eléctrica, se decidió mantener en operación tres de las seis plantas que constituyen el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán (Ver plano N° 2 y Figura N° 3), trabajando únicamente en las horas pico de demanda. Se estimó que el consumo mensual para operar las plantas de Ixtapantongo, Santa Bárbara y Tingambato cuyas potencias instaladas son 106,000 kw, 75,000 kw y 135,000 kw respectivamente requeriría de 3 m<sup>3</sup>/s como gasto medio mensual, a la altura de Ixtapantongo.



ESQUEMA DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO HIDRAULICO  
EN LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO CUTZAMALA.



\* En proyecto

FIGURA N° 3

REGIONALIZACION DE LAS DEMANDAS LOCALES FUTURAS  
EN EL SISTEMA CUTZAMALA PARA AGUA POTABLE

Vaso afectado	Superficie Ha	Gasto para riego (m3/s)	Incremento en población 1975-2000 (Habs.)	Gasto para a.p. (m3/s)	Gasto Total (m3/s)
Villa Victoria	375	0.10	4 652	0.01	0.11
Tilostoc y Chilesdo	3 177	0.83	56 120	0.11	0.94
Ixtapan del Oro	950	0.25	5 169	0.01	0.26
Valle de Bravo	530	0.14	74 163	0.22	0.35
Tuxpan	3 850	1.02	222 579	0.63	1.65
El Bosque	1 200	0.32	127 364	0.37	0.69
Total	10 082	2.66	490 047	1.34	4.00

\* NOTA: Para las demandas locales, el modelo se corrió con las demandas que aparecen, pero se detecta la demanda para agua potable satisfecha con agua subterránea.

## PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE SIMULACION

El modelo de simulación presentado está orientado al análisis de sistemas de aprovechamientos hidráulicos constituidos por vasos de almacenamiento, centros de demanda y una red de acueductos interconectando entre sí a los vasos de almacenamiento y a éstos con los centros de consumo seleccionados.

El objetivo del análisis es encontrar el conjunto de decisiones asociadas a cada alternativa, que nos permita maximizar el aprovechamiento del Sistema Cuzamala para agua potable, utilizando la infraestructura del Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán.

Mediante la utilización del modelo es posible, a través de un proceso recursivo, definir la capacidad de los acueductos y las políticas de operación necesarias para lograr el aprovechamiento más eficiente de los recursos hidráulicos disponibles en la cuenca, para los diferentes usos destinados.

La base del modelo la constituye, la ecuación de continuidad de los volúmenes que entran y salen de cada vaso de almacenamiento y la interconexión que se tenga entre estos vasos y los centros de demanda, ya que esto impone modificaciones a las condiciones que se tendrían de tratarse de vasos operando en forma ais

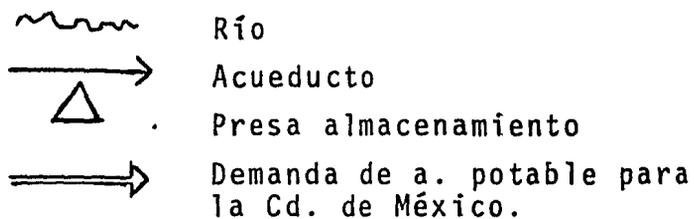
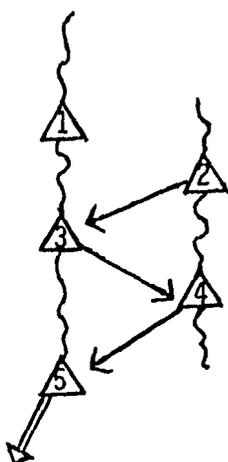
lada. El modelo da la flexibilidad de que uno a más vasos puedan auxiliar a otros para satisfacer sus demandas. De la misma manera se contempla la posibilidad de interconexión entre los vasos - en un sólo sentido.

El modelo requiere como datos las interconexiones entre los vasos (Figura N° 4) y las modificaciones a las entradas de cada vaso con el fin de determinar la estructura de un arreglo matricial denominado "Matriz Modificadora de Entradas". En la figura N° 4.1 se presenta con todo detalle la construcción de la "Matriz Modificadora de Entradas".

#### DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SIMULACION:

El modelo de simulación desarrollado y usado en la Comisión de Aguas del Valle de México se conforma de un programa principal y 7 subrutinas, con los nombres y funciones que se describen a -- continuación:

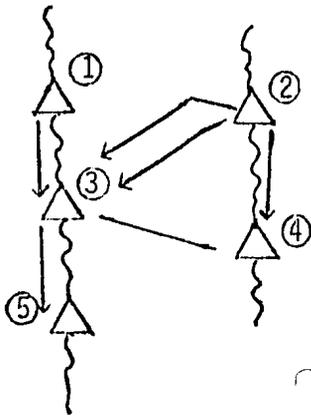
- 1.- PROGRAMA PRINCIPAL
- 2.- SUBROUTINA LECTUR
- 3.- SUBROUTINA PRIDEM
- 4.- SUBROUTINA FUNC
- 5.- SUBROUTINA INTER



El número de orden debe ser de aguas arriba a aguas abajo. Si un vaso proporciona de alguna manera agua a otro su número de orden debe ser inferior al de éste.

En este ejemplo se tiene un NVT = 1 vaso terminal, que es el número 5. Si el vaso 4 tuviera una demanda de agua para la Cd. de México, el número de vasos terminales sería: NVT = 2 y se tendrían dos valores de IVT: 4 y 5.

Ejemplo: Asignación de Numeración a vasos.



MATRIZ MOD.

VASO	COLUMNA DE MOD.				
	1	2	3	...	NCO
1	IL	IL	IL		IL
2	JL	JL	JL	...	JL
3	KL	KL	KL	...	KL
4	ML	ML	ML	...	ML
5	NL	NL	NL	...	NL

- Donde I: Vaso cuya salida L llega al vaso 1
- J: Vaso cuya salida L llega al vaso 2
- K: Vaso cuya salida L llega al vaso 3
- M: Vaso cuya salida L llega al vaso 4
- N: Vaso cuya salida L llega al vaso 5

El número de columnas de MOD (NCO) es igual al máximo número de salidas de otros que van a dar al vaso en cuestión.

Valores de L

- L = 6 demanda 1
- L = 7 demanda 2
- L = 8 demanda 3
- L = 4 auxilio
- L = 5 derrames
- L = 10 filtraciones

Para el ejemplo dado:

NCO = 3

VASO	1	2	3
1	0	0	0
2	0	0	0
3	15*	27	24
4	25	36	0
5	35	0	0

\* Se codifica como el núm. 15

Construcción de la Matriz Modificadora de Entradas.

- 6.- SUBROUTINA AUXI
- 7.- SUBROUTINA AJUSTE
- 8.- SUBROUTINA TANTEO

#### Programa Principal:

El programa principal lleva el control general del modelo, llamando a ejecución a cada una de las subrutinas LECTUR, PRIDEM, FUNC, AUXI y TANTEO, en el orden en el cual deberán entrar para simular el comportamiento físico de cada una de las alternativas propuestas, además lleva a cabo la impresión de los resultados solicitados. En la Figura N° 5 se presenta el diagrama de bloques que muestra la manera de operación y control del programa principal.

La primera parte del programa llama a la subrutina LECTUR y PRIDEM e inicializa las variables de estado del periodo ESTP(I,L). Para cada año inicia el análisis de la simulación en donde la variable J, lleva el control anual. Define el valor de la demanda si se quieren manejar capacidades indice anuales en los vasos, -- calculando después la suma de las demandas mensuales y anuales para cada uno.

Siguiendo la secuencia de ejecución inicializa las variables de estado anuales ESTA(I,L), para principiar con la simulación mensual en las que la variable entera K, lleva el control mensual y la

## PROGRAMA PRINCIPAL

## Diagrama de Bloques

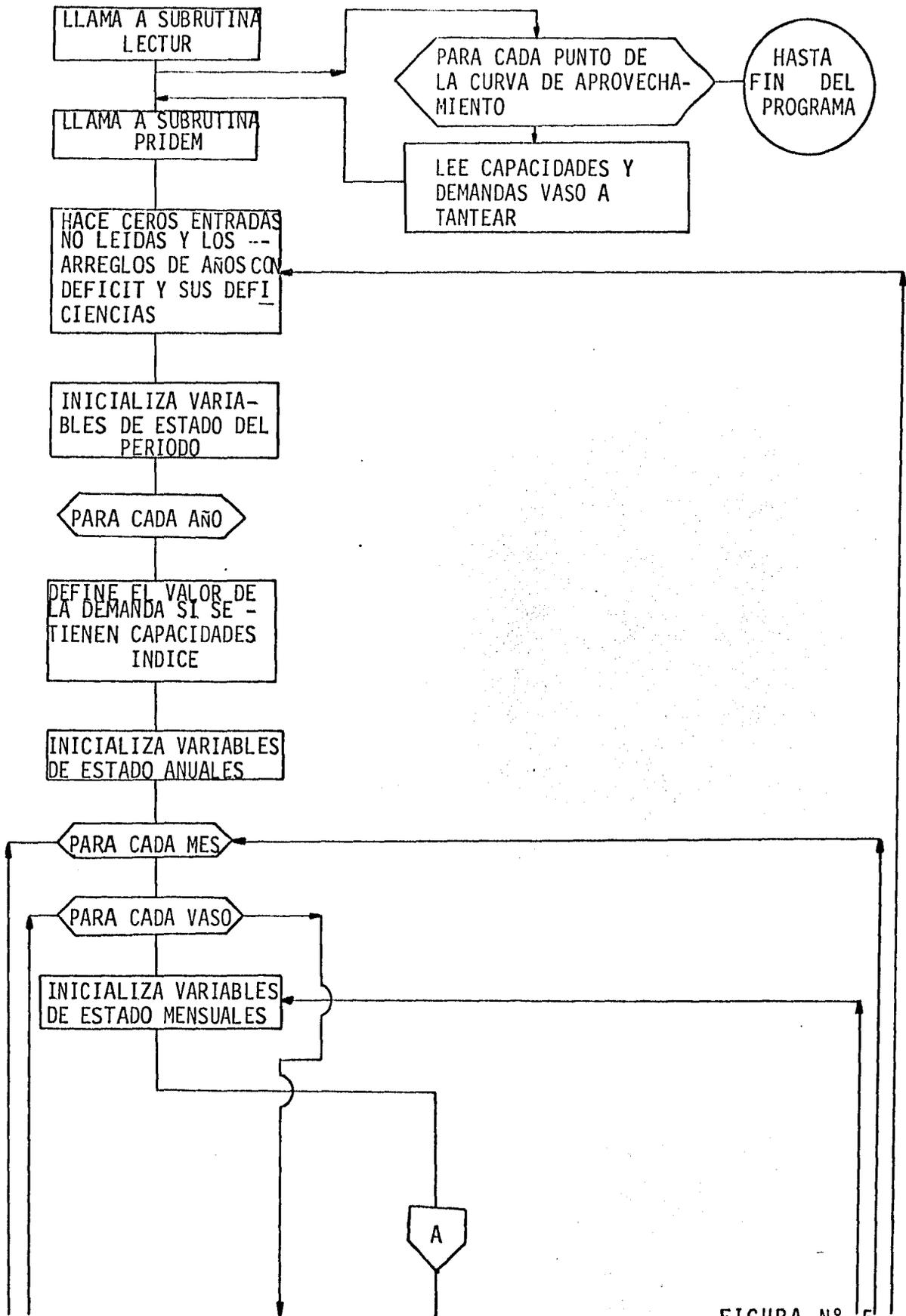


FIGURA Nº 5

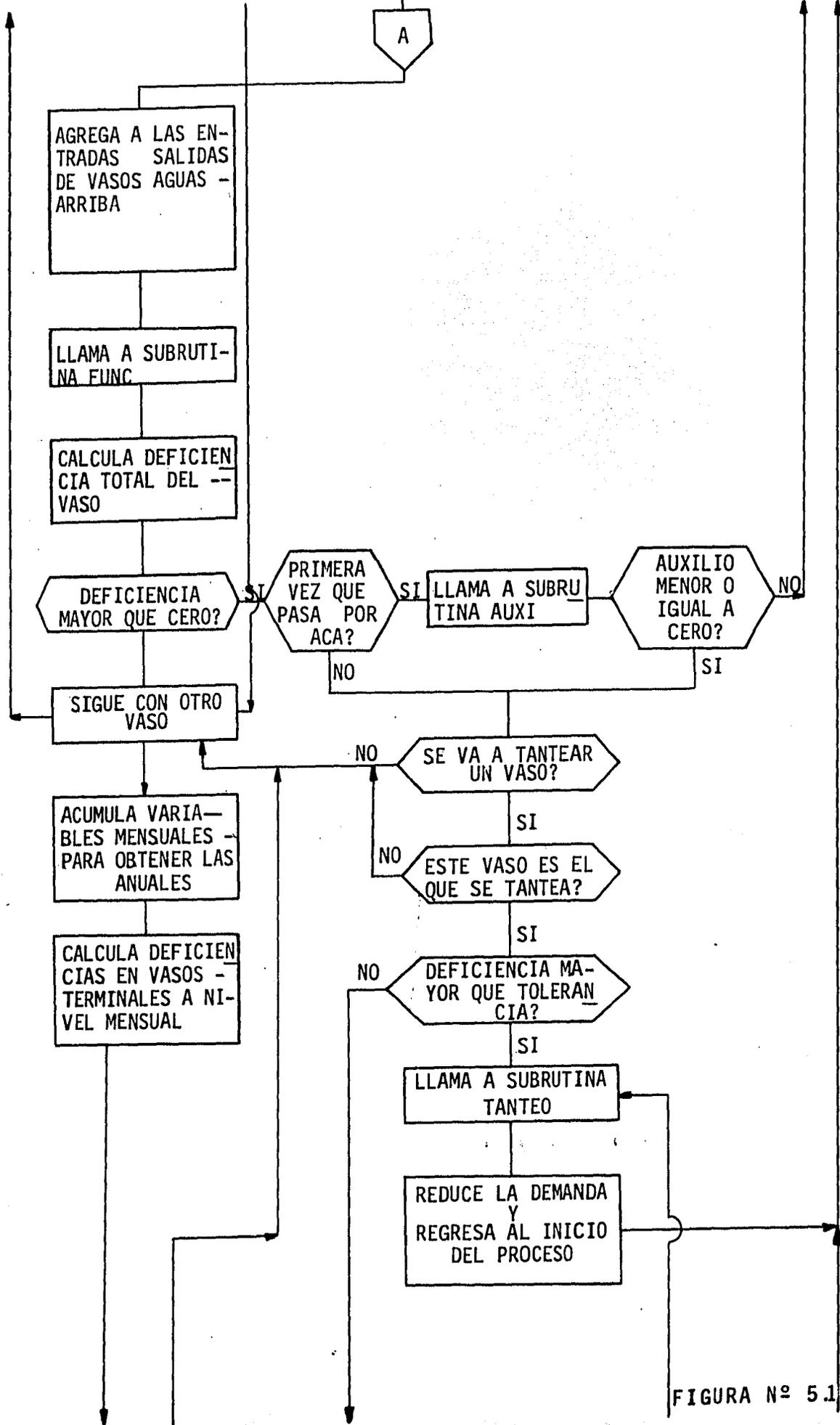


FIGURA N° 5.1

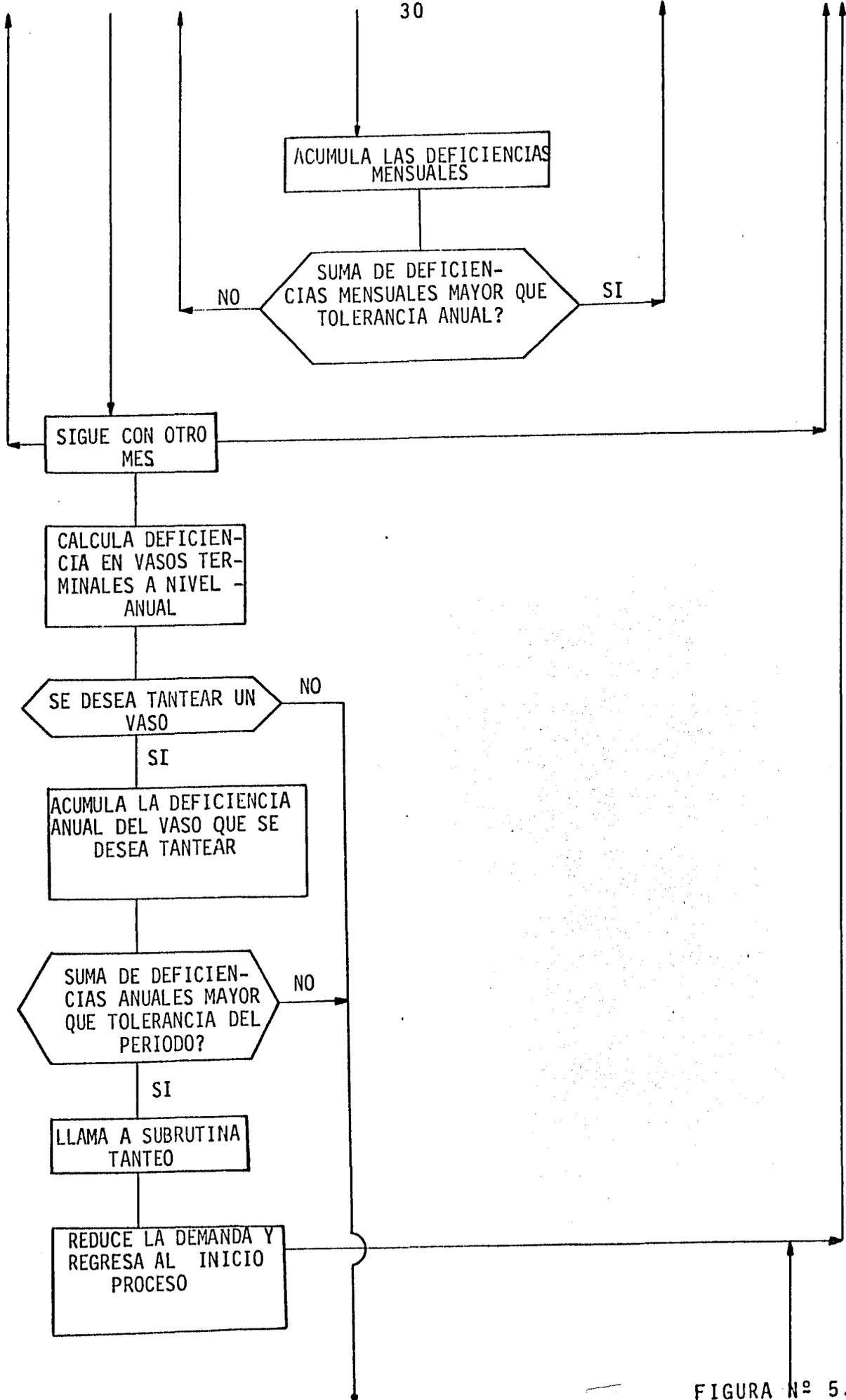


FIGURA N° 5.2

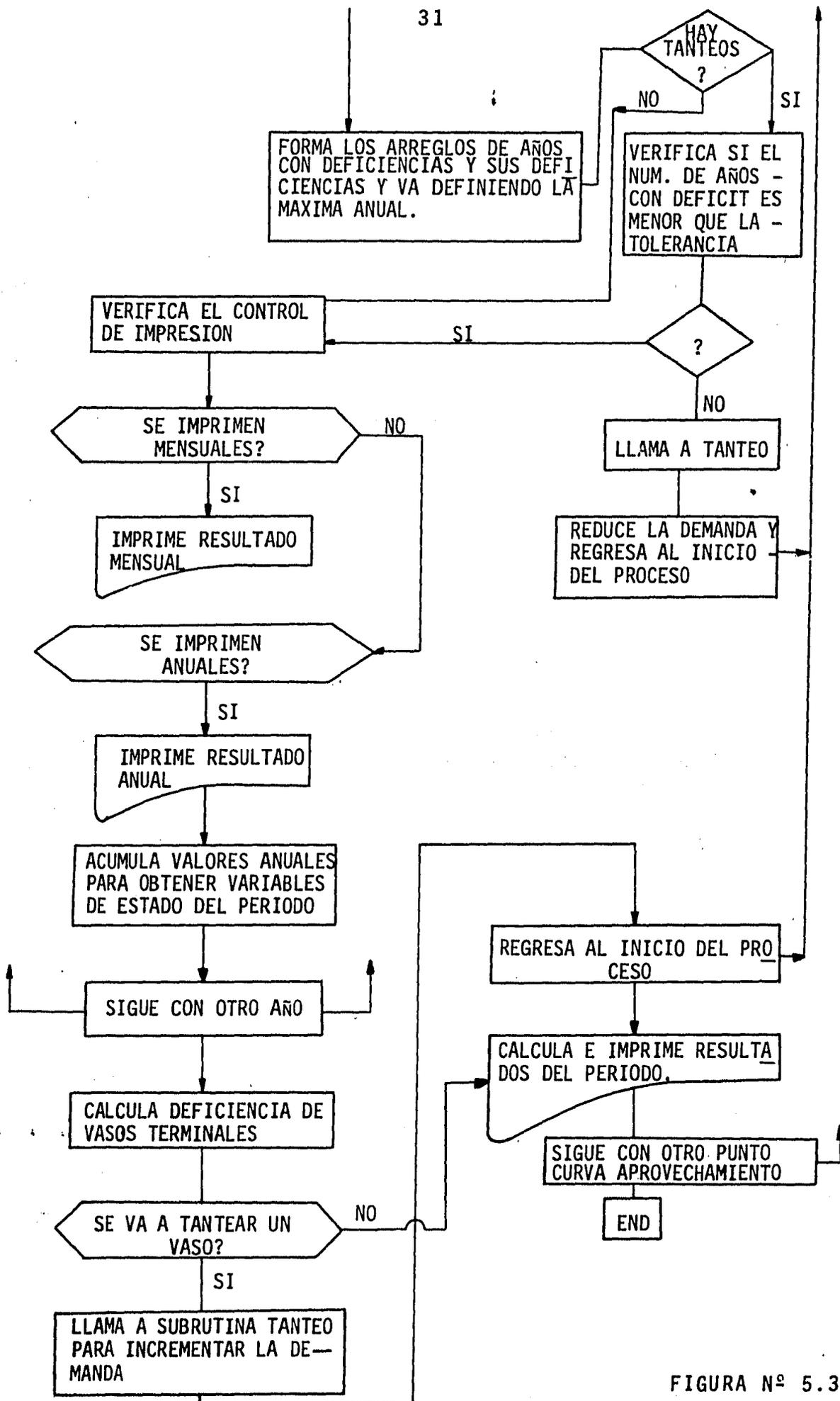


FIGURA N° 5.3

variable entera I controla para cada mes el análisis de cada vaso.

Antes de iniciar la simulación mensual se inicializan las variables de estado mensual  $EST(I,L,K)$ , y las demandas en cada uno de los vasos si se desean manejar las "Capacidades Indice" en los mismos, y de las que posteriormente analizaremos su bondad.

Al inicializar las variables de estado mensual se revisa si el vaso en cuestión recibe o no las aportaciones de otros vasos, lo que realiza utilizando la matriz modificadora de entradas definida anteriormente.

Hecho lo anterior el programa principal llama a la subrutina de funcionamiento mensual y calcula, al recuperar el control las deficiencias presentadas por el vaso en cuestión.

En caso de existir deficiencias se llama a la subrutina de auxilio, sólo una vez para cada vaso, controlando ésto con el índice auxiliar IAUX.

Revisa si el vaso en análisis se va a tantear (cambiar su demanda para ajustarla a la capacidad del vaso en función a los escurrimientos), revisando la deficiencia en el vaso después de haber recibido los auxilios correspondientes, lo que se ejecuta con la variable de estado  $EST(I,14,K)$  y la tolerancia mensual TOLM pa

ra llamar después a la subrutina TANTEO que reduce la demanda y -  
regresa a iniciar el proceso.

Cuando las tolerancias mensuales se cumplen se compara el --  
acumulado de deficiencias hasta el mes, con el acumulado máximo --  
que se tolera y en caso de no satisfacerse, se reduce la demanda y  
se regresa al inicio hasta que pase. Si la tolerancia se cumple,  
o si no se desea ajustar la demanda de este vaso, se pasa a anali-  
zar otro.

Al terminar de analizar todos los vasos en el mes pasa a acu-  
mular en las variables de estado anuales ESTA(I,L) los resultados  
del análisis a nivel mensual, calculando también la deficiencia -  
promedio de los vasos terminales, para continuar a analizar otro  
mes.

Una vez terminado el análisis mensual se calculan las deficien- X  
cias en los vasos terminales a nivel anual.

Al terminar de analizar los meses de un año de simulación, -  
verifica si el valor acumulado de las deficiencias del vaso que -  
se desea tantear está dentro de tolerancia, si la tolerancia se - . .  
satisface calcula la deficiencia acumulada en los años, y lleva -  
el registro de años con deficiencia y su magnitud. Una vez satisfi-  
chas las tolerancias, se verifica el control de impresión para sa-

ber si se imprimen los resultados mensuales, los resultados anuales o ninguno de éstos.

Con los resultados anuales se acumulan los valores del periodo en la variable de estado  $ESTP(I,L)$ , guardando los datos promedio que resulten al dividir entre el número de años, para pasar al cálculo de otro año.

Al finalizar con todos los años de simulación se calcula la deficiencia promedio de la demanda con prioridad 1 en los vasos terminales, verificando después si se desea tantear un vaso. En este caso se incrementa la demanda de este vaso para regresar al inicio. El proceso iterativo se va a terminar cuando de la subrutina TANTEO se indique que se ha alcanzado la aproximación deseada ya que en caso de no existir esta aproximación se corre el riesgo de no detener el proceso.

Con el cálculo de los valores promedio del periodo como son: entradas, derrames, salidas prioritarias 1, 2 y 3; evaporaciones, filtraciones y porcentos, así como la impresión de resultados, en un resumen del periodo, se tiene el final del programa principal en el modelo de simulación.

En repetidas ocasiones se ha hecho referencia a las variables de estado mensuales  $EST(I,L,K)$ , anuales  $ESTA(I,L)$  y del periodo -

ESTP(I,L). Estas variables utilizadas son matrices en las que el primer índice señala el vaso, el segundo índice que puede tomar valores de 1 a 16 indica el tipo de dato que contiene, y el tercero para el caso de EST(I,L,K), el mes a que se refiere.

El significado del segundo índice, se enlista a continuación; por ser de especial importancia en la entrada, el proceso y salida de resultados:

Valor del Índice	Variable real que representa
1	Entrada 1
2	Entrada 2
3	Entrada 3
4	Auxilio proporcionado
5	Derrames
6	Salida prioridad 1
7	Salida prioridad 2
8	Salida prioridad 3
9	Evaporación
10	Filtración
11	Deficiencia en volumen prioridad 1
12	Deficiencia en volumen prioridad 2
13	Deficiencia en volumen prioridad 3

14	Deficiencia en % prioridad 1.
15	Deficiencia en % prioridad 2.
16	Deficiencia en % prioridad 3.

La lista de definición de variables para el programa principal se muestra en la Tabla N° 5.

Resumiendo: El programa principal en el modelo de simulación es capaz de manejar hasta 6 vasos interconectados, tres entradas por vaso, hasta tres salidas por vaso, tantear uno cualquiera de los vasos para obligar a que la demanda prioridad 1 satisfaga las tolerancias. Con el criterio de "Capacidad Índice" revisa los almacenamientos mensuales y determina las demandas mensuales para cada vaso.

#### Subrutina LECTUR.

En esta subrutina se lee toda la información necesaria para definir el sistema que se desea simular, desde el punto de vista físico, como desde un punto de vista operativo. En la Figura N° 6 se presenta el diagrama de bloques de la subrutina LECTUR. Se puede apreciar que la información está organizada en dos grupos: el primero contiene la información general que define al sistema en su conjunto y el segundo, la información relativa a cada vaso, a saber: nombre, escurrimientos, evaporación neta, demandas anua-

## PROGRAMA PRINCIPAL

## DEFINICION DE VARIABLES

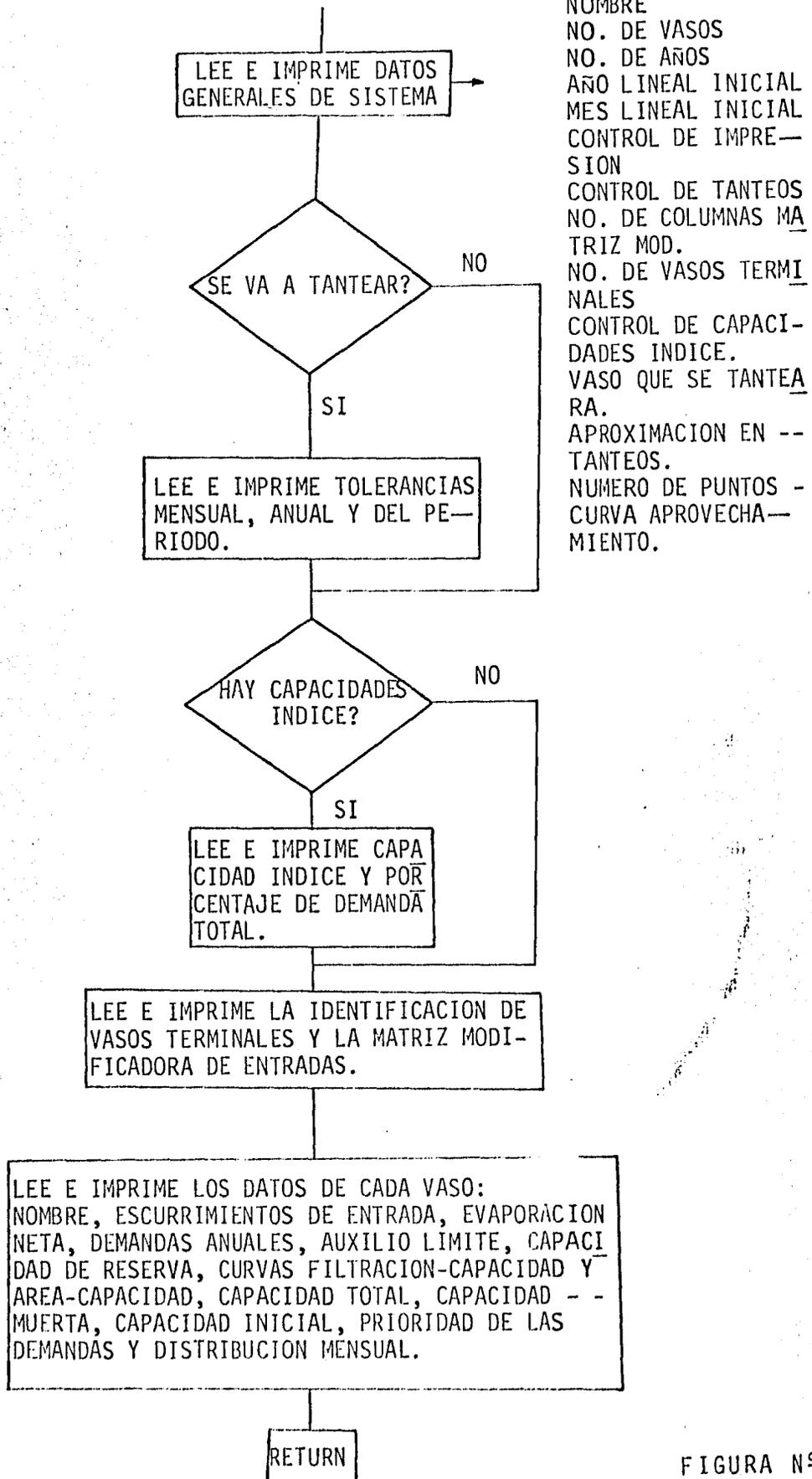
VARIABLE	TIPO	DESCRIPCION
NVA	ENT	Número de vasos
NEN (I)	ENT	Número de entradas vaso I
ENT (IE,I,J,K)	REAL	Entrada IE al Vaso I, Año J, mes K
ALM (I,K)	REAL	Almacenamiento Vaso I, mes K
ESTP (I,L)	REAL	Variables de estado Vaso I para el periodo de simulación.
ESTA (I,L)	REAL	Variables de Estado Vaso I para cada Año.
IAN	ENT	Año inicial
NAH	ENT	Número de años de simulación
IAUX	ENT	Indice de control
AUX	REAL	Auxilio en volumen
MOD (I,IC)	ENT	Elemento de la matriz modificadora de <u>en</u> tradas.
ITA	ENT	Indice de tanteos IT=1 Si tantea; IT=0 No tantea.
NVT	ENT	Número de vasos terminales
IVT	ENT	Número de orden de vasos terminales
SXD	REAL	Suma de las demandas anuales prioridad 1 en vasos terminales
SDEF	REAL	Deficiencia Global de la demanda prioridad 1 en vasos terminales
TOLP	REAL	Deficiencia máxima permisible en el periodo.

APROX	REAL	Aproximación aceptada en cálculo de deficiencias.
FAC	REAL	Factor para incrementar o disminuir la demanda.
La variable L en ESTA y ESTP toma valores de 1 a 16 y tiene la misma significación que en EST (I,L,K).		
NMESH	ENTERA	Variable para definir número de meses que se imprimen por hoja.
TOLA	REAL	Deficiencia en % que se admite por año.
TOLM	REAL	Deficiencia en % que se admite por mes.
IADE	ENTERA	Número de años con deficiencias.
IADF	ENTERA	Arreglo que contiene los años con deficiencia.
DEFA	REAL	Arreglo que contiene el valor de la deficiencia en los años que la tuvieron.
PDFMA	REAL	Máxima deficiencia anual ocurrida en la simulación.
SDEM (I,K)	REAL	Suma de las demandas del vaso I en el mes K.
SDEA (I)	REAL	Suma de las demandas del vaso I en el año.
CALT (I)	REAL	Cambio de almacenamiento del vaso I en el periodo.
TOTEN (I)	REAL	Total de entradas del vaso I.
TOSAL (I)	REAL	Total de salidas por demandas de vaso I.
TODER (I)	REAL	Total de derrames del vaso I.
TOFIL (I)	REAL	Total de filtraciones del vaso I.

TOEVA (I)	REAL	Total de evaporaciones del vaso I.
NPOIN	ENTERA	Número de puntos de la curva de aprovechamiento que se desea.

## SUBROUTINA LECTUR

## DIAGRAMA DE BLOQUES



les, auxilio límite, capacidad de reserva, curvas de filtración - capacidad y área, capacidad total, muerta e inicial, prioridad de las demandas y su distribución mensual.

En la Tabla N° 6 se definen las variables usadas en esta subrutina.

#### Subrutina PRIDEM.

Con la información leída en LECTUR relativa al número de salidas que se tengan en cada vaso y las demandas asociadas en cada prioridad reasigna las demandas por prioridad para cada uno de los vasos.

Las variables resultado de esta subrutina son dos matrices -  $XDEV(I,IP,K)$ , que contiene la demanda mensual K por prioridad IP, en cada uno de los vasos I. La matriz  $XDV(I,IP)$  que contiene la demanda anual para la prioridad IP del vaso I.

El diagrama de bloques de la subrutina PRIDEM se muestra en la Figura N° 7, y en la Tabla N° 7 se definen las variables usadas.

#### Subrutina FUNC.

En esta subrutina se realiza el funcionamiento mensual de cada vaso I, en un mes específico K en un año J. Se tienen hasta 3 entradas diferentes y hasta 3 salidas, también se pueden considerar filtraciones en el vaso, asociadas a cada capacidad del mismo.

## SUBROUTINA LECTUR

## DEFINICION DE VARIABLES

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCION
IDP(I)	ALFA	Identificación de la Alternativa
NVA	ENT	Número de Vasos de almacenamiento
NAN	ENT	Número de Años de Simulación
IAN	ENT	Año inicial (V. Gr. 1940)
IME	ENT	Mes inicial (Número del mes)
IMP	ENT	Indice para control de impresión IMP = 3 si se desea imprimir todo IMP = 2 si se desea sólo resúmenes anuales y del periodo IMP = 1 Sólo periodo
ITA	ENT	Indice para control de tanteo IT = 1 Sí tantea IT = 0 No tantea
NCØ	ENT	Número de columnas de la matriz modificadora de entradas.
NVT	ENT	Número de vasos terminales
NCI	ENT	Número de Capacidades Indice
APRØX	REAL	Aproximación en tanteos
TØLM, TØLA, TØLP	REAL	Deficiencia Máxima Mensual, Anual y del Periodo
IVT	ENT	Número de orden de vasos terminales
MØD (I,J)	ENT	Matriz Modificadora de entradas
NØM (I)	ALFA	Nombre de vaso I

NEN (I)	ENT	Número de Entradas Vaso I
NSA (I)	ENT	Número de Salidas Vaso I
NPØ (I)	ENT	Número de puntos en curva E-A-C
INF (I)	ENT	Indice de Filtraciones INF=1 SI; INF=0 NO,
ENT (L,I,J,K)	REAL	Entradas por escurrimientos
EVA (I,J,K)	REAL	Evaporación neta
FIL (I,J)	REAL	Filtraciones
ARE (I,J)	REAL	Areas
CAP (I,J)	REAL	Capacidades
CTØ (I)	REAL	Capacidad Total
CMU (I)	REAL	Capacidad Muerta
CIN (I)	REAL	Capacidad Inicial
CCØ (I)	REAL	Capacidades de Control
AXL (I)	REAL	Auxilio Límite
DEM (I,L)	REAL	Demandas Anuales L=1 Agua Potable L=2 Riego L=3 Generación
IPR (I,L)	ENT	Prioridad de las demandas (1, 2 ó 3)
PDE (I,L,K)	REAL	Distribución mensual de la demanda
CAPR (I)	REAL	Capacidad de reserva
NPOIN	ENTERA	Número de puntos de la curva de aprovechamiento.

SUBROUTINA PRIDEM  
DIAGRAMA DE BLOQUES

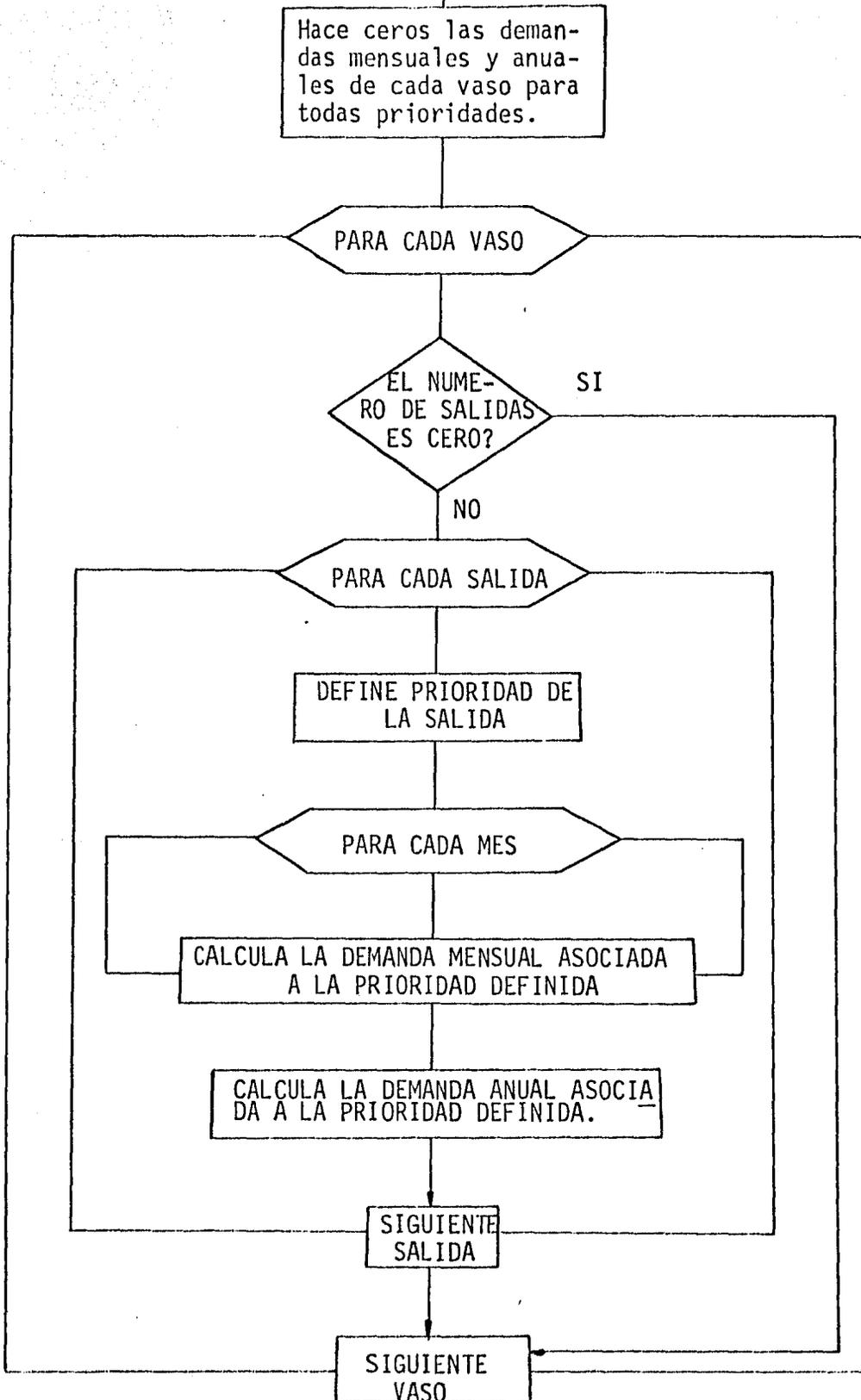


FIGURA Nº 7

## SURUTINA PRIDEM

## DEFINICION DE VARIABLES

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCION
NVA	ENT	Número de vasos
NSA	ENT	Número de salidas
DEM (I,L)	REAL	Demanda Anual Vaso I L=1 Agua Potable L=2 Riego L=3 Generación
PDE (I,L,K)	REAL	Porcentajes de distribución mensual de la demanda L del vaso I en el mes K
IPR (I,L)	ENT	Prioridad (1,2 ó 3) asignada a la demanda L del vaso I
XDEV (I,IP,K)	REAL	Demanda del mes K, Prioridad IP, del vaso I.
XDV (I,IP)	REAL	Demanda Anual de Prioridad IP Vaso I
PO	REAL	Factor a aplicar a las variables XDEV y XDV. Cuando no hay capacidades índice PO = 1

El procedimiento de cálculo es el tradicional que resulta de aplicar la ecuación  $\Delta S = \text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} - \text{EVAPORACIONES} - \text{FILTRACIONES}$ , sujeto a que el almacenamiento al final sea menor o igual a la capacidad total. En caso de que este almacenamiento sea mayor que la capacidad total éste se iguala a la capacidad total y el derrame se hace igual a la diferencia.

El cálculo se inicia definiendo la salida total en el vaso al sumar para cada prioridad IS, la demanda  $XDE(I, IS, K)$  del vaso I en el mes K.

Enseguida se aproxima el cálculo de la evaporación y filtración llamando a la rutina de interpolación INTER. Se funciona el vaso y si no se pueden satisfacer todas las demandas, se resta la de menor prioridad y se vuelve a funcionar.

El proceso se repite para saber si se satisfacen todas las demandas, total o parcialmente, para después proceder a definir las variables  $EST(I, L, K)$  que fueron descritas con anterioridad.

La variable  $AUXP(I)$  define el auxilio posible que el vaso I, es capaz de ofrecer y se calcula como la diferencia entre el almacenamiento al final y la capacidad de reserva:

En la Figura N° 8 y en la Tabla N° 8 se muestra el diagrama

SUBROUTINA FUNC (I,J,K)  
DIÁGRAMA DE BLOQUES

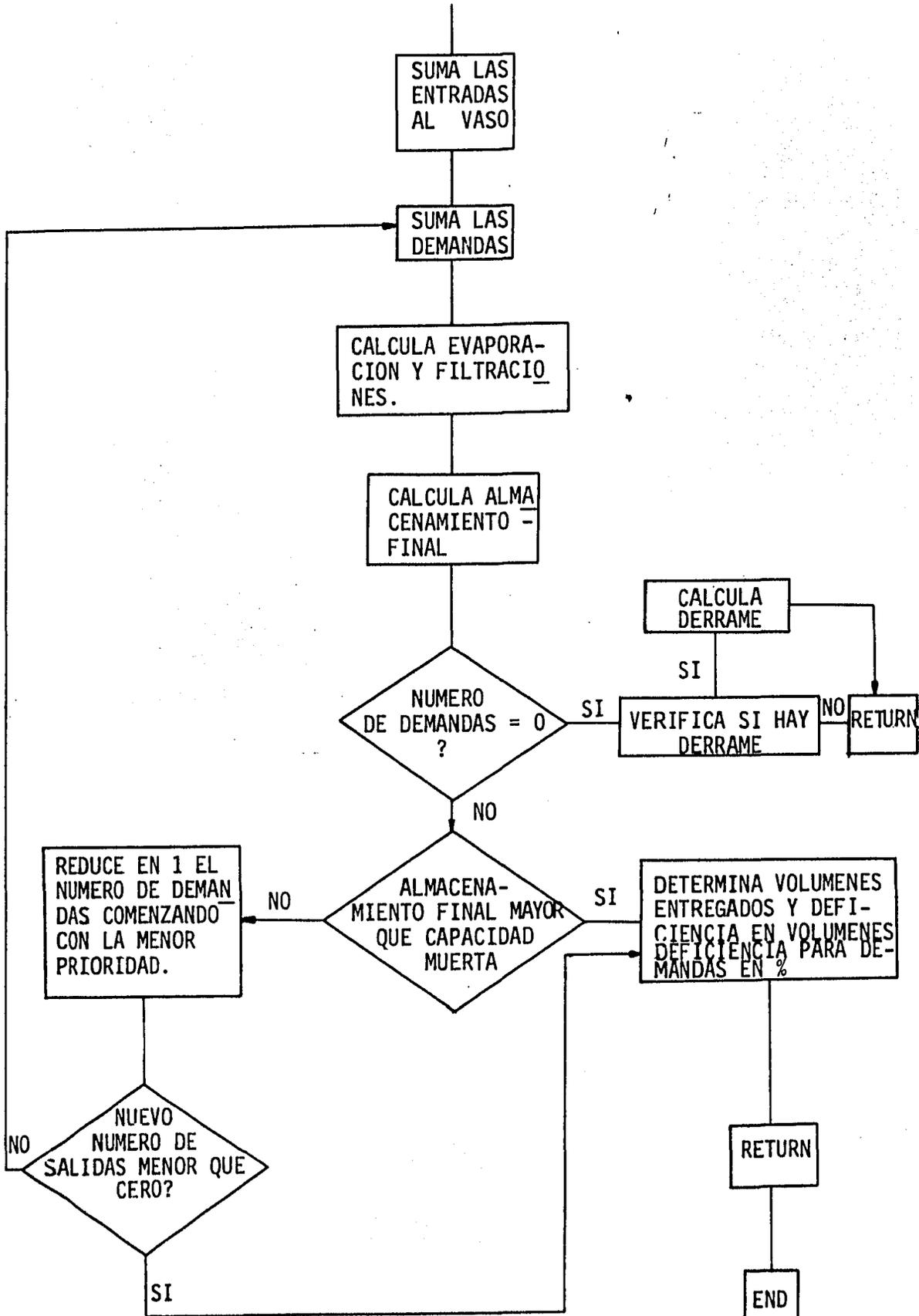


FIGURA Nº 8

## SURUTINA FUNC

## DEFINICION DE VARIABLES

VARIABLE	TIPO	DESCRIPCION
AUXP (I)	REAL	Auxilio Posible Vaso I
FILT	REAL	Filtración
NENTJ	ENT	NENT = NEN (I)
NEN (I)	ENT	Número de Entradas Vaso I
NSAL	ENT	Número de Salidas (puede variar)
NSA (I)	ENT	Número de Salidas Vaso I
ENTØ	REAL	Total de entradas
SALTØ	REAL	Total de salidas (de acuerdo a NSAL)
EMSI	REAL	ENTØ-SALTØ
EMS	REAL	EMSI-FILT-EV
EV	REAL	Evaporación
ALM (I,K)	REAL	Almacenamiento Vaso I, mes K
CMU (I)	REAL	Capacidad muerta vaso I
CTØ	REAL	Capacidad total vaso I
EST (I,J,K)	REAL	Variables que reflejan el estado del Vaso I en el mes K
EST (I,1,K)	REAL	Entrada 1
EST (I,2,K)	REAL	Entrada 2
EST (I,3,K)	REAL	Entrada 3 + Derrames + Auxilios
EST (I,4,K)	REAL	Auxilios Proporcionados

EST (I,5,K)	REAL	Derrames
EST (I,6,K)	REAL	Salida Prioridad 1
EST (I,7,K)	REAL	Salida Prioridad 2
EST (I,8,K)	REAL	Salida Prioridad 3
EST (I,9,K)	REAL	Evaporaciones
EST (I,10,K)	REAL	Filtraciones
EST (I,11,K)	REAL	Deficiencia en volumen Prioridad 1
EST (I,12,K)	REAL	Deficiencia en volumen Prioridad 2
EST (I,13,K)	REAL	Deficiencia en volumen Prioridad 3
EST (I,14,K)	REAL	Deficiencia en % Prioridad 1
EST (I,15,K)	REAL	Deficiencia en % Prioridad 2
EST (I,16,K)	REAL	Deficiencia en % Prioridad 3
JR	ENT	Indice
KR	ENT	Indice
LR	ENT	Indice

de bloques y la definición de variables de la subrutina FUNC.

#### Subrutina INTER.

En esta subrutina se interpola linealmente de las curvas de capacidad-área y capacidad-filtración para obtener el área expuesta o el volumen filtrado, en función del almacenamiento promedio definido en FUNC. En las Figuras Núms. 9 y 10 se muestran el diagrama de bloques y el procedimiento gráfico de interpolación.

#### Subrutina AUXI.

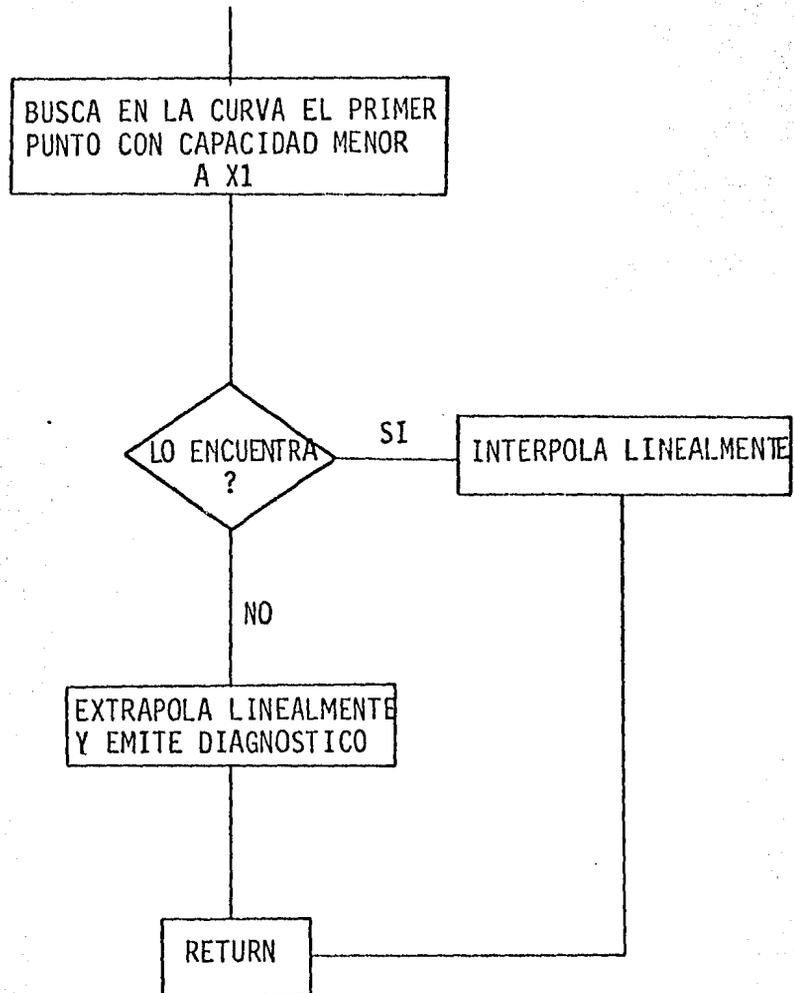
En la Figura N° 11 se muestra el diagrama de bloques de esta rutina, que es llamada cuando el resultado del funcionamiento de un vaso (I), arroja un déficit (DEF), en el mes K.

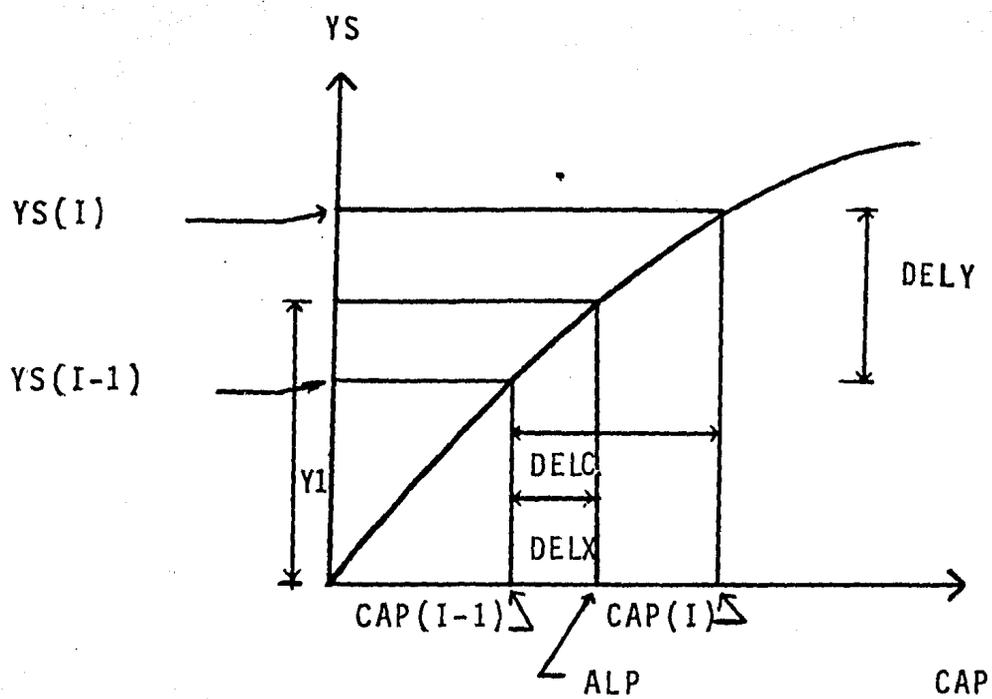
La rutina empieza buscando en la matriz modificadora de entradas MOD(I,ICE), que vasos pueden auxiliar el vaso en cuestión, decodificando los valores hasta encontrar en el renglón de MOD(I, ICE) correspondiente al vaso I, si alguno de los números termina con 4.

Al encontrar un vaso que proporcione el auxilio, define la magnitud tomando en cuenta la capacidad de la conducción AXL(II) y el auxilio posible AUXP(II).

SUBROUTINA INTER (I,CAP,YS,X1,Y1)

DIAGRAMA DE BLOQUES

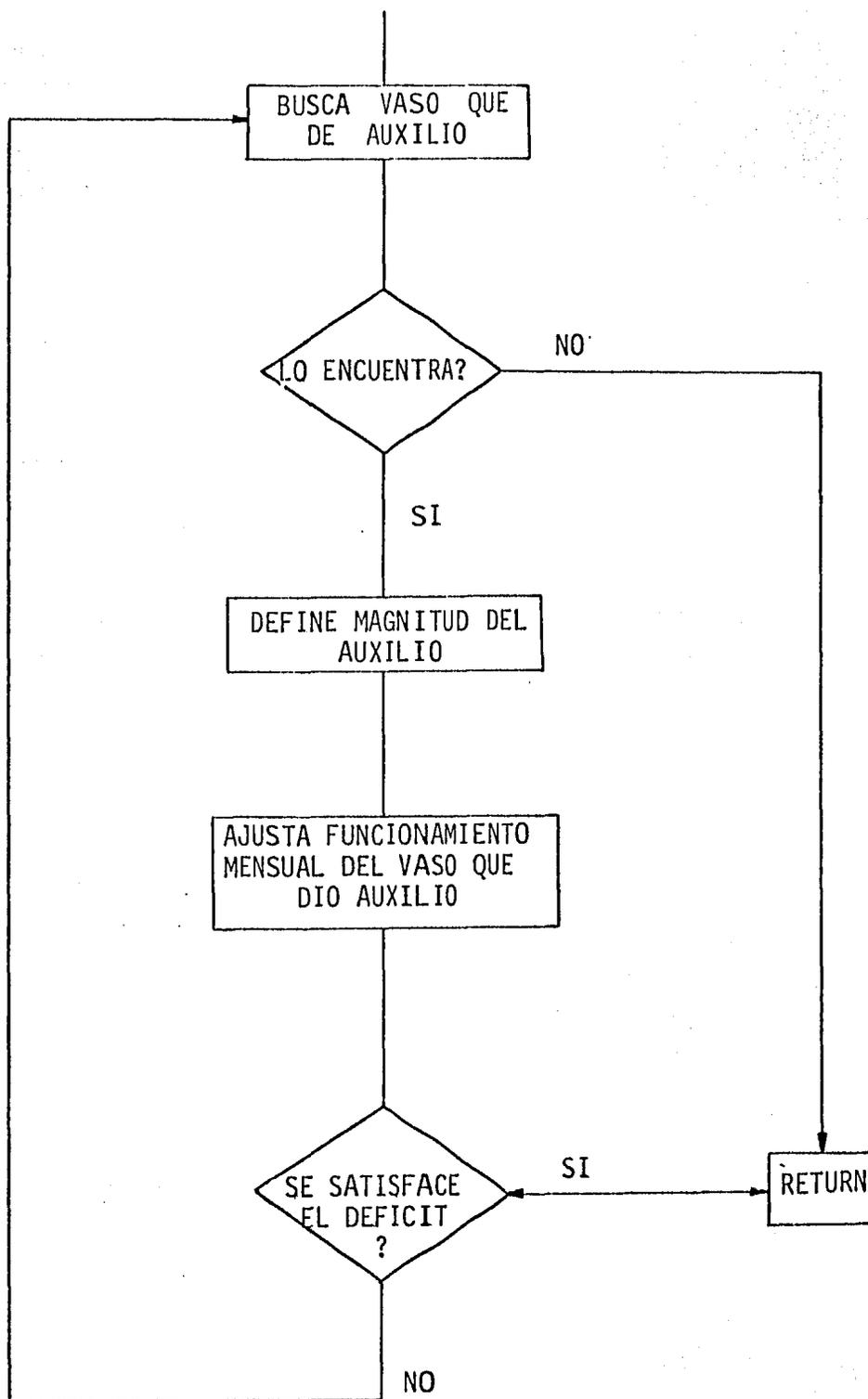




Donde  $I$  es el punto para el que  $ALP \leq CAP(I)$

## SUBROUTINA AUXI (I,J,K,DEF,AUX)

## DIAGRAMA DE BLOQUES



Al encontrar el vaso que auxilie se compara si el auxilio es suficiente, en caso contrario busca auxilio de otro vaso para - - suplir la deficiencia.

Una vez proporcionados los auxilios al vaso que lo necesita, se llama a la subrutina AJUSTE para ajustar el funcionamiento del vaso que dio auxilio, y retorna el control al programa principal.

#### Subrutina AJUSTE.

En esta rutina se ajusta el funcionamiento mensual de un vaso que dio auxilio a otro, en función a la existencia de derrames. Cuando el auxilio proporcionado es menor o igual a los derrames - del vaso en cuestión, sólo se requiere el ajustar los derrames, - el valor del auxilio posible no cambia y regresa el control a la subrutina AUXI.

En caso de tener auxilio mayor que derrames, ajusta el auxilio posible AUX(II), el almacenamiento final y los derrames los hace cero, para retornar el control a la subrutina AUXI.

En la Figura N° 12 se presentan el diagrama de bloque de esta subrutina.

## SUBROUTINE AJUSTE

(II,J,K,AUXP)

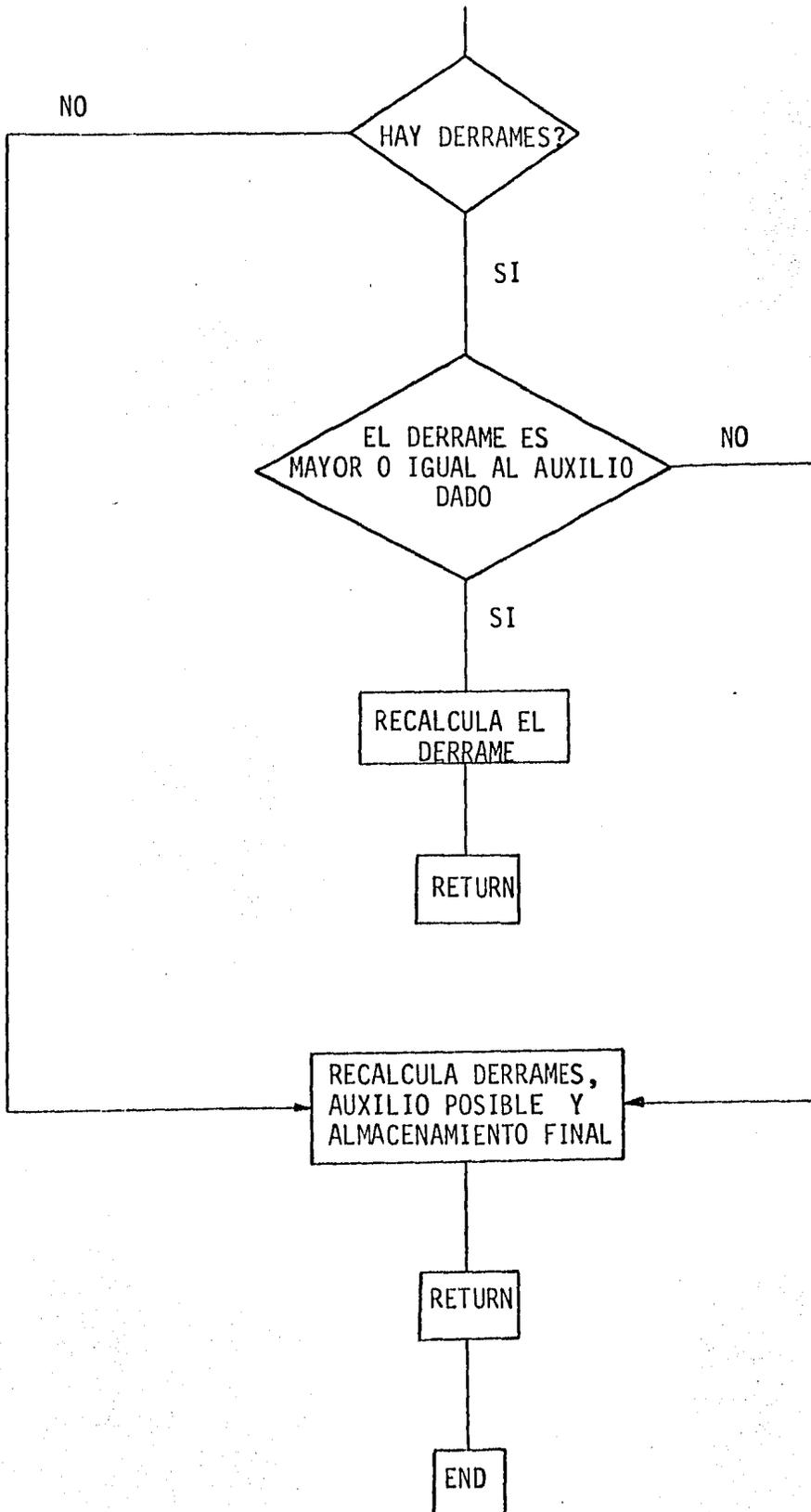


FIGURA Nº 12

### Subrutina TANTEO.

En esta rutina se aumenta o disminuye la demanda de prioridad 1 del vaso seleccionado para cambio.

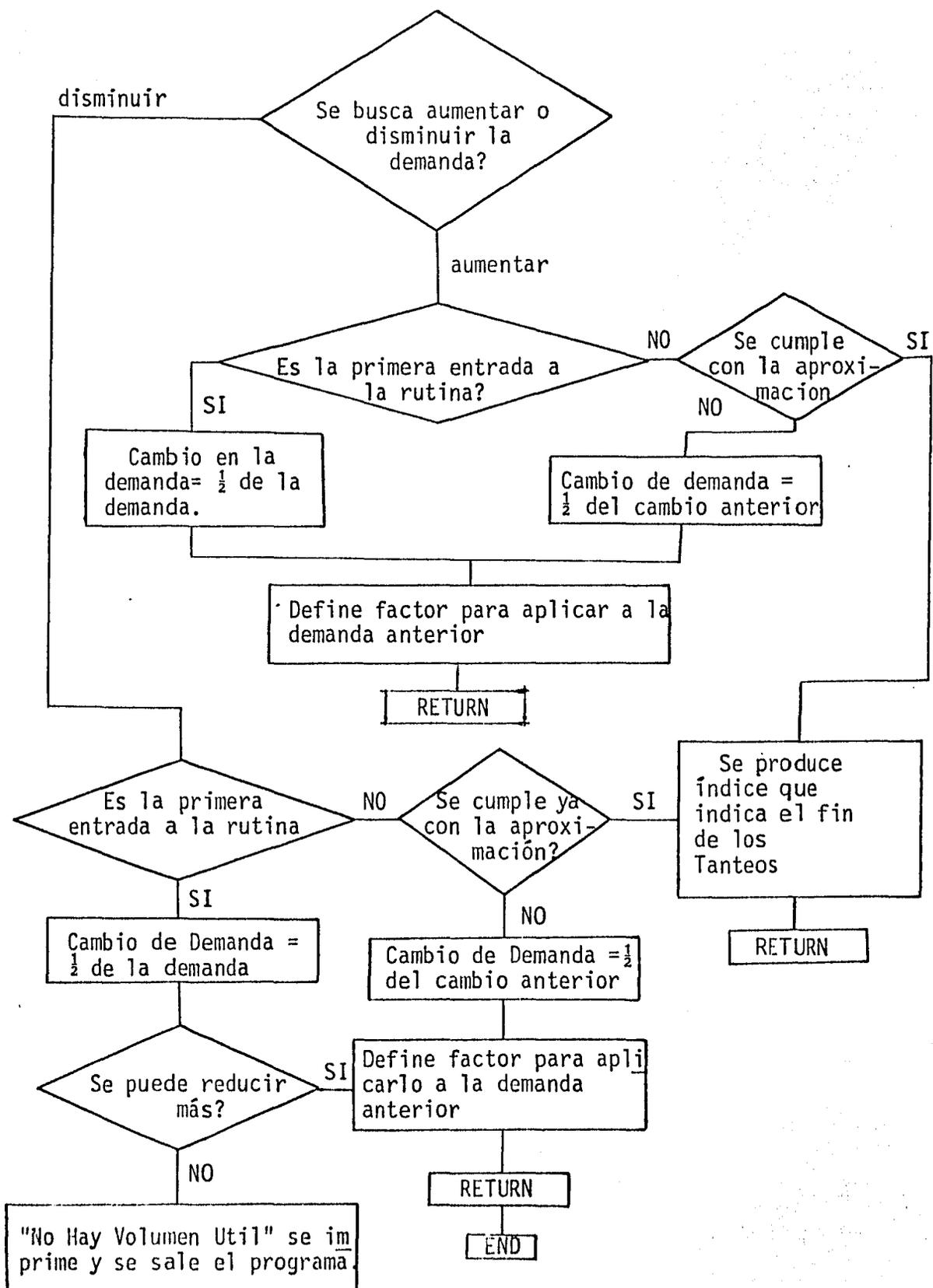
Al inicio se pregunta si se va a aumentar o disminuir la demanda con el valor de la variable entera IRT, si es 1 se aumenta, si es 2 se disminuye. En seguida verifica si es la primera vez que entra a la subrutina TANTEO para el vaso en cuestión, para cambiar la demanda a la mitad o para hacer un cambio igual a la mitad del último cambio y proceder así por incrementos finitos, en una solución recursiva.

Se revisa si el cambio de demanda es mayor o menor a la aproximación deseada APROX, para regresar al programa principal, o calcular el cambio en porcentajes de la última demanda y retornar el control al programa principal.

Puede darse el caso de que cuando se haya reducido la demanda, se encuentre con que ya no puede reducirla más, (cuando el incremento es menor que la aproximación) y emitir el diagnóstico -- "No hay volumen útil" para regresar al programa principal y parar el proceso.

En la figura N° 13 se presenta el diagrama de bloques de esta subrutina.

SUBROUTINA TANTEO  
(IRT, Z, N 1, N 2, APROX, FACT, IT)



En todo proceso que utilice a un ordenador electrónico, se deberá indicar con precisión la información de entrada, y salida de los resultados para su mejor interpretación. El modelo de simulación que se presenta tiene formato de salidas, semejante de presentación en los resultados mensual, anual y del periodo.

La salida principal del modelo describe el estado del sistema, mediante la presentación en 19 columnas con la información que a continuación se enlista:

COLUMNA	DESCRIPCION
1	Nombre abreviado de los vasos del sistema
2	Almacenamiento de los vasos al fin de $\Delta T$
3	Entrada # 1
4	Entrada # 2
5	Entrada # 3
6	Auxilio proporcionado a otros vasos
7	Derrames
8	Salida prioridad # 1
9	Salida prioridad # 2
10	Salida prioridad # 3
11	Evaporación
12	Filtración
13	Deficiencia en volumen de prioritaria 1

14	Deficiencia en volumen de prioritaria 2
15	Deficiencia en volumen de prioritaria 3
16	Porcentaje de deficiencia prioritaria 1
17	Porcentaje de deficiencia prioritaria 2
18	Porcentaje de deficiencia prioritaria 3
19	Demanda total del vaso en volumen

Para resultados mensuales se imprime el año, el mes, volumen y % de deficiencia en los vasos terminales, así como el resultado anual, con las demandas de cada uno de los vasos terminales.

Para los resultados anuales se imprimen todas las columnas a nivel anual y las demandas asociadas a cada vaso terminal.

Si sólo se desea el resultado de periodo de simulación, la presentación incluye las capacidades total, muerta e inicial como encabezado de reporte, en seguida se imprime el periodo de análisis, la deficiencia promedio en los vasos terminales, el número de años con deficiencia y la deficiencia máxima anual presentada en el periodo.

Los valores promedio en el periodo, los índices en %, así como los años con deficiencias y porcentaje son el final de la presentación.

## GENERACION DE ALTERNATIVAS,

Con el modelo matemático desarrollado, como un modelo formal, dinámico y determinista, una vez resuelto su correcto funcionamiento para encontrar las variables dependientes asociadas a las componentes controlables del sistema, fue posible entrar en la etapa de generación de alternativas.

Con el objetivo planteado de encontrar la mejor solución al problema se utilizó el criterio de descartar soluciones, que aunque factibles no son recomendables, y así se tomaron para la simulación diferentes clases, las cuales en el presente estudio -- quedaron representadas por el cambio en las políticas de operación del sistema real.

Las características del sistema real fueron determinantes para definir los criterios de generación de alternativas, así como los límites aceptados para el aprovechamiento de corrientes superficiales.

Se realizó de manera ordenada el análisis observando la variación que se tenía como consecuencia en el cambio de política y así continuar con políticas que cumpliendo con las restricciones del sistema, fueran capaces de ofrecer el mayor beneficio po

sible, (como medida de efectividad) en este caso el gasto factible de obtener en m<sup>3</sup>/s del sistema para exportación al Area Metropolitana de la Ciudad de México, además el considerar como -- factor importante la interconexión física de los diferentes sistemas de distribución, la extracción de agua que para generación de energía eléctrica se debe reservar en el sistema.

La medida de efectividad que agrupó todos los objetivos del sistema fue cuantificada en cada alternativa, para buscar la solución óptima al momento de ir depurando en cada clase las políticas de operación, obteniendo finalmente mediante la simulación trece funcionamientos del sistema real que se describen y analizan más adelante.

## DETERMINACION DE VOLUMENES APROVECHABLES MEDIANTE SIMULACION EN - COMPUTADOR ELECTRONICO.

Para simular el comportamiento hidrológico de la Cuenca Alta del Río Cutzamala en computador electrónico fue necesario analizar la información disponible y compararla con la información necesaria para la simulación. La configuración del sistema, las entradas en cada uno de los aprovechamientos y los datos de evaporaciones utilizados, demandas, capacidades de almacenamiento y regulación, así como las políticas de operación asumidas.

### - Configuración.

Las presas de almacenamiento con mayor capacidad en el Sistema Hidroeléctrico Miguel Alemán seleccionadas para regular los escurrimientos y obtener los volúmenes de exportación fueron Villa Victoria, Valle de Bravo y El Bosque. Se incorporó la Presa de Chilesdo en la parte alta con el fin de aprovechar los escurrimientos del Río San José Malacatepec por cuestiones económicas. Los vasos Tuxpan, Tilóstoc e Ixtapan se consideraron aportaciones a las presas Del Bosque y al vaso regulador Colorines, que cumple con la función de conectar las partes alta y baja del sistema para agua potable a través de la Presa Valle de Bravo.

En la Figura N° 15 se muestra el sistema y sus capacidades de conducción, así como los gastos de diseño que se consideraron.

En la Figura N° 16 se presenta el esquema que operará para exportación de agua potable y en la Figura N° 17 se presenta el esquema de la simulación y la interconexión utilizada en cada uno de los funcionamientos.

- Entradas por cuenca propia.

La variable más significativa al simular el comportamiento hidrológico en una cuenca, a fin de determinar los volúmenes factibles de exportar, una vez que han sido satisfechas las demandas locales; es la que se refiere a las aportaciones por cuenca propia para cada uno de los aprovechamientos que se han definido para el estudio, por lo que el contar con registros históricos lo más extenso posible, asegura que los resultados de los análisis se encuentran siempre cercanos a lo que puede ocurrir en el futuro. Para el presente estudio se utilizó un periodo de 30 años -- compuesto por 25 años de datos históricos y 5 años de datos generados sintéticamente a partir del periodo histórico, que fueron validados con las pruebas de sensibilidad necesarias.

Para simular el comportamiento de la Cuenca Alta del Río Cutzamala para agua potable, en la Tabla N° 8 se presentan las aportaciones por cuenca propia para la Presa Villa Victoria, en la Tabla N° 9 para la Presa Valle de Bravo, en la Tabla N° 10 para la Presa Tilóstoc, en la Tabla N° 11 para el vaso Ixtapan del Oro, y en la Tabla N° 12 la Presa El Bosque.

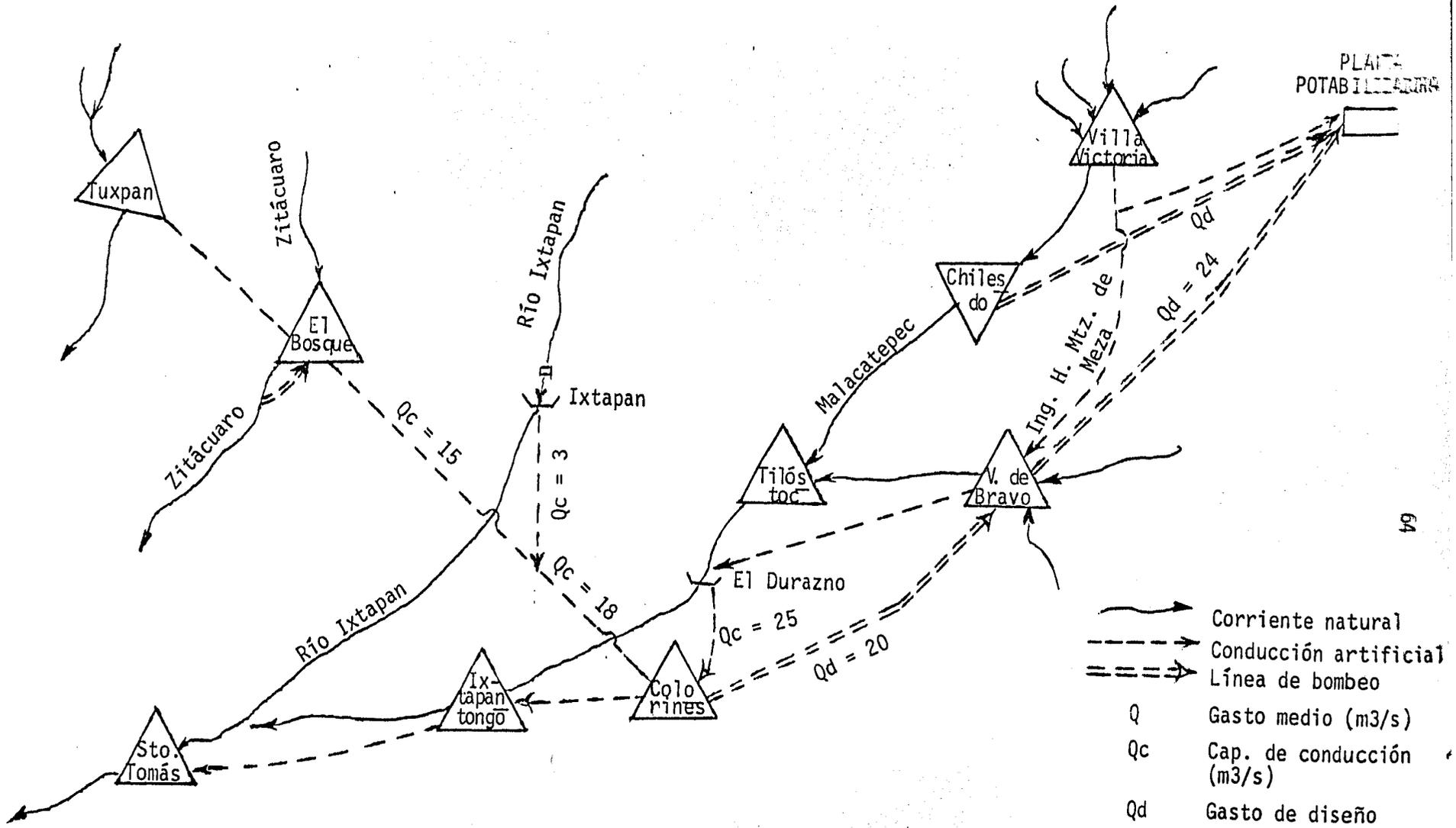
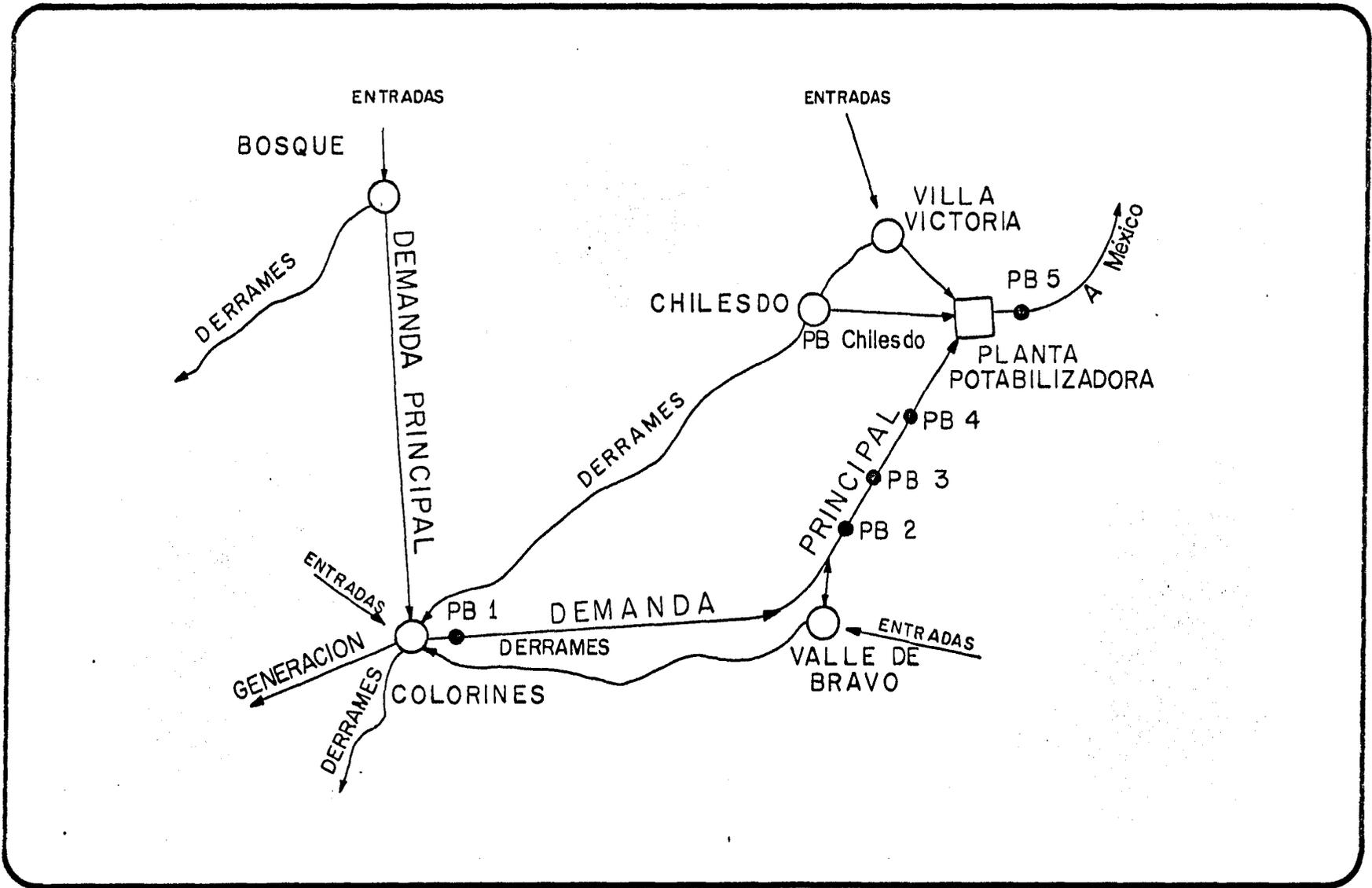


FIGURA N° 15

# ESQUEMA DEL SISTEMA REAL COMO OPERARA CUTZAMALA



# ESQUEMA DE INTERCONEXION DE VASOS (SIMULACION)

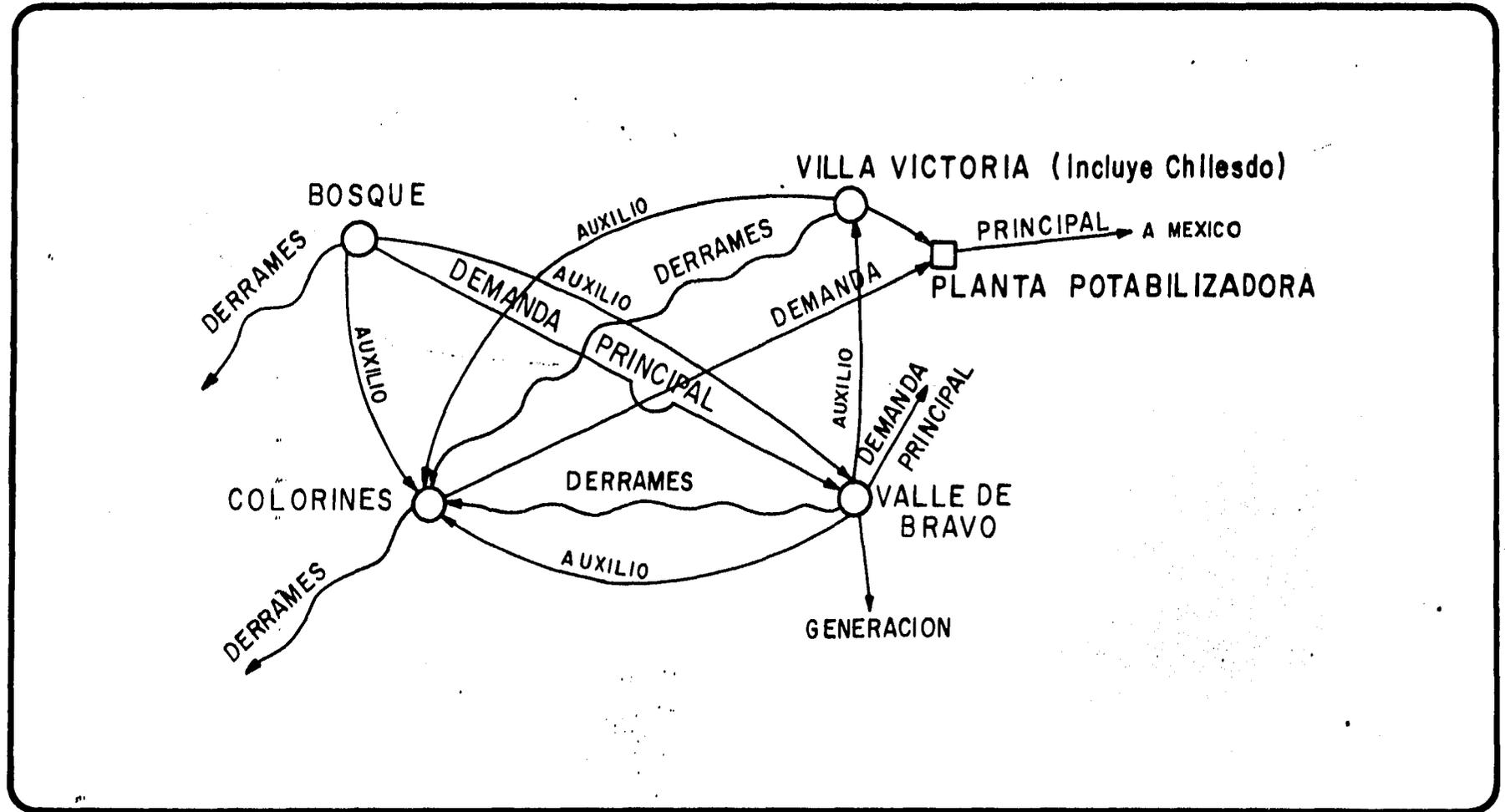


FIGURA N° 17

VASO VILLA VICTORIA. APORTACION POR CUENCA PROPIA. MILL. M<sup>3</sup>

AFI	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
48	1.43	0.00	.05	.43	.41	2.24	21.75	31.96	15.15	.36	.60	1.21	75.59
49	1.36	2.22	1.98	1.89	2.81	5.67	16.73	16.35	14.51	3.82	3.97	2.69	73.44
50	2.29	.88	3.14	2.54	3.04	5.42	22.43	12.85	17.54	6.80	1.97	2.20	81.05
51	2.16	2.17	3.28	.73	2.86	5.99	22.87	23.12	25.50	10.55	3.43	3.40	106.07
52	2.38	1.71	1.18	4.52	8.03	22.58	37.03	45.60	28.69	13.47	7.49	4.74	177.41
53	4.18	4.34	3.88	3.24	4.95	10.55	22.05	27.06	13.39	10.47	7.45	6.95	118.50
54	4.18	3.66	3.40	4.05	9.80	15.02	20.67	24.84	21.06	26.13	7.89	7.31	147.96
55	5.41	3.81	3.51	4.97	4.16	9.20	18.78	36.60	29.93	25.89	17.36	8.61	168.22
56	4.99	5.42	4.75	3.86	6.58	8.50	22.39	31.50	25.21	8.82	6.02	4.54	132.57
57	3.97	2.92	3.90	2.61	3.03	9.62	12.39	18.77	20.47	12.65	4.54	3.08	97.93
58	6.00	3.90	2.78	2.36	3.94	10.89	28.38	53.05	85.93	46.75	31.75	16.51	291.75
59	13.87	11.98	6.27	8.60	9.65	20.44	37.07	53.61	31.88	32.82	14.44	8.53	249.14
60	9.47	6.06	5.53	4.88	5.85	6.33	9.31	12.16	14.38	8.96	6.01	3.44	92.36
61	3.44	2.31	2.74	2.48	2.62	7.51	18.87	21.91	17.04	8.64	5.40	3.85	96.31
62	2.72	4.00	2.08	2.07	2.65	2.87	6.15	11.25	28.15	18.02	5.62	3.93	89.49
63	4.20	2.81	2.60	2.03	2.43	5.89	32.34	53.08	30.01	38.10	12.01	7.68	192.63
64	5.50	3.54	3.65	2.64	6.54	15.36	20.67	20.82	27.25	18.01	6.11	4.04	134.13
65	4.33	3.54	2.65	2.62	3.31	6.76	22.69	68.30	57.38	21.15	8.03	4.75	205.50
66	2.02	2.50	1.59	.05	2.34	5.05	13.53	47.77	27.29	10.45	3.88	2.98	120.33
67	6.88	3.90	1.69	.41	1.25	8.47	23.77	27.02	44.47	36.06	15.96	9.36	179.25
68	6.79	3.44	8.41	5.82	8.46	7.15	25.23	22.95	26.59	19.25	8.33	6.33	148.26
69	5.31	4.12	4.63	4.04	5.60	8.23	21.90	37.66	46.24	16.68	9.21	8.47	172.03
70	7.87	5.52	4.51	5.04	1.72	7.87	19.59	35.02	27.28	19.65	9.56	3.64	147.88
71	7.57	4.26	.56	1.56	2.98	7.45	25.03	28.48	46.22	34.53	10.98	7.35	176.96
72	6.10	5.37	5.77	5.55	4.28	10.49	16.45	17.79	21.20	.73	5.37	7.03	105.12
73	1.45	1.12	1.46	3.75	7.08	6.39	31.87	35.35	40.73	46.20	9.97	4.22	189.59
74	4.34	6.46	9.93	4.55	2.45	16.67	36.39	23.74	28.01	1.40	5.98	1.09	141.01
75	5.50	2.93	1.45	0.41	10.06	19.04	30.96	22.31	50.06	18.39	7.09	2.74	170.95
76	3.72	1.79	5.74	3.40	2.09	2.26	35.57	42.01	39.38	58.04	7.27	5.49	206.76
77	4.72	4.51	2.63	2.98	4.23	12.26	9.16	32.52	28.01	11.80	3.20	5.41	121.43
SUMA	144.07	110.65	105.78	93.87	135.19	282.16	681.48	935.44	928.92	584.60	246.28	161.67	4 410.20
PROMED.	4.97	3.82	3.65	3.24	4.66	9.73	23.50	32.26	32.03	20.16	8.49	5.57	152.08

VASO VALLE DE BRAVO. APORTACION POR CUENCA PROPIA. MILL. M<sup>3</sup>

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN.	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
48	8.18	1.24	.40	9.31	3.46	6.52	16.87	21.72	25.93	19.39	9.62	6.10	128.75
49	12.97	7.17	9.48	10.00	7.73	12.29	19.55	16.63	23.29	22.84	13.34	11.87	167.24
50	9.84	8.75	7.13	6.25	8.58	13.68	19.08	15.74	22.26	23.38	14.34	12.12	162.14
51	10.48	8.67	9.84	11.85	14.86	9.00	19.86	20.36	40.83	19.71	15.01	16.38	196.84
52	15.18	10.62	11.97	10.62	15.02	21.02	23.28	35.03	33.17	26.01	22.14	16.44	246.49
53	18.35	13.37	14.58	11.03	12.73	15.47	21.06	22.10	21.64	22.00	16.91	17.44	206.67
54	13.36	10.60	11.75	11.18	14.96	20.66	29.39	33.33	36.29	33.10	26.43	17.53	253.56
55	0.00	4.37	2.08	15.08	26.34	16.34	23.53	23.03	51.38	31.78	30.13	21.00	246.06
56	22.69	10.57	16.10	14.94	14.36	13.50	26.69	29.87	35.48	28.76	23.79	16.87	259.59
57	15.32	15.94	17.50	13.55	13.37	15.82	21.95	22.03	25.71	23.93	14.89	12.29	212.29
58	14.30	10.20	9.74	8.32	12.08	22.24	34.92	28.85	54.24	53.12	44.32	33.99	316.33
59	35.87	23.92	21.37	24.52	25.44	26.70	28.38	51.32	32.94	50.05	31.52	23.60	375.82
60	20.19	13.93	13.84	14.01	12.92	16.03	19.59	18.70	27.57	25.00	21.80	17.25	220.82
61	14.75	13.84	12.80	11.29	11.16	16.28	39.99	29.02	32.41	26.76	19.13	16.03	243.45
62	15.09	14.87	15.22	14.87	17.55	21.88	25.46	24.81	37.49	29.64	13.90	18.80	254.53
63	14.02	12.23	11.91	12.86	12.94	15.27	22.26	32.18	37.02	47.03	29.11	23.02	268.87
64	21.17	14.69	14.94	16.08	15.62	22.89	31.87	33.37	35.09	30.33	25.04	22.80	283.67
65	17.93	17.18	18.35	17.50	20.47	19.70	24.01	40.06	38.21	35.53	26.43	20.35	295.76
66	16.85	15.69	18.15	18.26	17.07	17.44	23.00	37.12	38.37	30.12	19.07	21.00	273.82
67	23.84	16.21	8.00	14.70	18.53	23.07	28.98	36.73	63.79	67.90	41.08	31.60	374.64
68	23.43	13.5	29.42	18.67	23.06	19.05	29.93	14.17	44.76	32.24	24.16	23.68	296.32
69	21.67	17.70	20.01	16.89	15.15	19.25	22.05	29.19	45.99	29.38	19.52	14.70	270.99
70	15.10	10.75	11.21	13.02	13.42	18.39	28.98	39.93	42.76	32.58	21.79	18.74	263.55
71	14.98	11.59	15.61	13.37	16.48	20.10	26.69	28.84	50.12	57.29	29.40	24.94	309.89
72	20.50	15.62	18.57	15.30	35.32	8.76	30.01	34.01	44.45	41.94	30.58	12.02	305.17
73	13.70	13.21	3.33	12.57	45.00	14.03	27.02	29.51	42.44	37.17	21.26	17.35	276.99
74	14.43	18.99	15.45	11.09	12.06	21.57	43.05	25.39	32.31	27.15	22.78	17.35	259.63
75	39.48	13.21	3.35	9.13	44.44	18.92	39.30	34.08	37.67	29.44	22.22	17.35	308.53
76	13.19	17.86	13.00	12.44	3.70	8.50	33.52	36.87	38.42	46.10	37.01	34.03	294.54
77	21.18	16.22	3.15	14.00	39.09	20.54	28.57	29.90	37.64	32.44	26.03	24.16	298.92
SUMA	518.13	397.06	382.25	402.06	543.79	514.81	808.94	878.88	1 132.65	1 012.15	718.79	578.08	7 877.48
PROMED.	17.87	13.69	13.18	13.86	18.75	17.75	27.72	30.13	39.06	34.90	24.79	19.93	271.64

60

VASO TILOSTOC. APORTACION POR CUENCA PROPIA. MILL. M<sup>3</sup>

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
48	8.12	7.37	6.18	4.00	4.65	6.18	6.89	8.69	8.85	13.35	8.78	5.07	88.13
49	5.65	4.33	3.72	3.41	5.33	3.43	10.73	15.89	11.65	6.36	5.10	2.12	77.73
50	2.87	3.09	1.07	1.99	3.70	5.03	9.84	8.63	8.19	8.34	3.33	4.22	60.29
51	4.88	3.58	3.48	1.74	3.12	7.00	12.19	13.74	14.70	6.74	4.43	4.27	79.85
52	3.71	3.30	5.29	0.00	0.00	6.09	10.33	12.89	10.85	7.66	8.46	5.91	74.99
53	7.12	9.23	.38	0.00	0.00	3.85	6.66	7.90	4.90	6.58	4.40	2.80	53.82
54	1.33	0.00	.27	1.00	4.75	8.03	9.03	9.80	8.10	11.36	4.68	1.30	60.69
55	22.44	12.99	13.19	2.46	2.49	4.84	7.85	10.06	12.28	13.27	8.68	6.23	116.78
56	5.12	5.38	3.08	4.37	7.15	9.47	14.13	14.37	11.05	8.00	6.67	7.30	36.96
57	5.49	3.82	3.12	3.20	4.47	3.47	10.06	8.99	8.73	7.24	4.63	3.23	71.43
58	6.90	3.37	2.47	2.07	4.37	8.08	15.57	11.11	17.38	20.52	17.76	12.56	122.72
59	12.61	7.73	8.27	10.04	10.20	13.47	15.21	21.07	16.02	15.95	11.67	9.69	131.91
60	3.95	7.48	7.29	6.82	7.31	7.81	9.75	9.80	10.04	8.29	5.88	4.61	94.03
61	4.10	3.65	3.44	2.56	3.29	7.06	10.70	11.51	9.07	6.42	3.74	3.26	63.75
62	2.35	2.58	2.47	2.84	3.98	5.43	7.41	8.34	11.82	8.34	4.60	4.30	64.95
63	2.62	2.63	2.74	2.75	4.47	7.06	9.86	11.59	9.66	12.98	7.51	5.33	79.18
64	6.40	3.99	3.71	3.46	5.00	10.99	12.36	11.01	10.73	7.63	5.56	5.67	86.49
65	3.71	3.31	3.31	3.13	5.53	7.41	9.10	13.44	15.04	10.90	7.55	5.64	88.07
66	5.16	4.17	4.76	4.06	5.46	6.75	9.99	12.35	9.41	8.55	5.35	4.63	80.65
67	6.79	3.34	3.30	3.83	5.00	8.53	13.08	11.67	15.68	14.33	9.32	6.67	102.44
68	5.58	5.56	5.11	4.34	6.17	7.08	11.63	13.55	12.65	10.79	6.51	6.39	95.40
69	5.12	3.95	3.83	3.28	3.95	5.96	9.99	10.63	13.11	8.30	5.25	4.64	77.95
70	4.31	4.33	4.41	3.00	3.96	7.45	10.30	11.30	10.74	8.68	4.85	4.03	77.35
71	3.35	3.31	4.00	3.52	4.37	8.01	12.48	12.90	13.90	13.90	8.26	6.58	94.28
72	5.88	5.69	4.44	4.68	5.77	8.84	10.87	9.88	10.87	8.77	6.44	5.09	87.23
73	4.51	3.66	3.60	3.83	5.36	6.53	9.21	11.18	10.50	11.54	8.71	6.39	85.32
74	5.46	4.92	5.32	4.92	5.35	8.29	11.66	10.09	9.51	8.02	5.91	4.90	84.35
75	6.69	4.42	3.95	3.54	6.37	9.14	12.05	13.20	12.33	8.58	5.85	5.46	90.93
76	5.31	4.27	3.52	3.65	3.85	5.91	8.72	9.72	8.76	12.98	7.90	6.91	81.60
77	4.96	4.52	4.51	3.97	4.74	8.55	10.19	10.57	11.44	7.89	5.85	4.55	81.73
SUMA	177.55	140.46	125.11	102.51	141.56	220.70	318.78	345.84	337.70	302.23	203.62	159.74	2 575.52
PROMED.	3.11	4.34	4.31	3.53	4.38	7.61	10.99	11.93	11.64	10.42	7.02	5.51	88.81

69

TABLA N° 10

Para la simulación se consideraron 2 tipos de entradas a los vasos. Las que provienen por cuenca propia y las que se obtienen de sumar las contribuciones de otras presas, ya sea a través de una conducción o por derrames de ésta. En la Tabla N° 13 se presenta la entrada a los vasos y la forma en que se toman en cuenta.

- Evaporación Neta.

El 70% de la evaporación menos la precipitación, de los registros históricos en cada uno de los sitios, fue lo que se tomó como evaporación neta para el presente estudio.

- Demandas Locales.

Para satisfacer las demandas locales estudiadas por el Plan Nacional Hidráulico, descritas en la Tabla N° 4; en cada uno de los sitios donde éstas se presentan, se tomaron como demandas secundarias de las presas o se restaron de los escurrimientos en las mismas. En la Tabla N° 14 se presenta la forma en que estas demandas fueron satisfechas.

- Capacidades-Areas-Filtración.

Los datos actualizados del sistema correspondientes a las Areas-Capacidades de las Presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque proporcionados para los últimos levantamientos batimétricos son los correspondientes a las gráficas 1, 2 y 3.

## ENTRADAS A LOS VASOS

V A S O	ENTRADA POR CUENCA PROPIA (Mill m3/mes)	OTRAS ENTRADAS (Mill m3/mes)
Valle de Bravo	Tabla 9	Salida principal de Bosque
Bosque	Tabla 12	$E = \text{Tuxpan} - 4.336$ Si $E < 0$ $E = 0$ Si $E > 50$ $E = 50$ ; (limitación en conducción Tuxpan-Bosque).
Villa Victoria	Tabla 8.B	$E = \text{Tilostoc} \times 0.68$ Si $E < 0$ $E = 0$
Colorines	Ixtapan -0.683 Tabla 11	$E = \text{Tilostoc} \times 0.32 - 0.368 +$ + Derrames (Valle de Bravo) + + Derrames (Villa Victoria)

## DEMANDAS LOCALES

P R E S A	( DEMANDA LOCAL ) GASTO TOTAL (m3/s)	FORMA DE SATISFACER LA DEMANDA
Villa Victoria	0.11	De la presa, como demanda secundaria.
Tilostoc y Chilesdo.	0.94	De los escurrimientos que llegan a Chilesdo se toman 0.8 y de los escurrimientos que llegan a Tilostoc se toman 0.14
Ixtapan del Oro.	0.26	De los escurrimientos que llegan a la presa.
Valle de Bravo	0.35	De la presa, como demanda secundaria.
Tuxpan	1.65	De los escurrimientos que llegan a la presa.
Bosque	0.69	De la presa, como demanda secundaria.

No se presentan las curvas de Chilesdo y Colorines por no -- ser datos trascendentes para el presente análisis, dada su poca - capacidad de almacenamiento.

- Políticas de Operación.

La Comisión de Aguas del Valle de México ha adoptado para -- sus estudios de hidrología superficial en el suministro de agua - potable las siguientes deficiencias permisibles:

Deficiencia máxima anual	10%
Deficiencia total en el periodo	3.5%
No se toman en cuenta deficiencias anuales menores del	1%
Relación de años con déficit respecto al total de años de estudios considerados.	25%
Máximo número de años consecutivos de déficit.	3 (años)

Cabe mencionar que el nivel de incertidumbre asociado al suministro mediante los acuíferos es bastante menor al asociado con fuentes superficiales, de manera que los límites arriba señalados que son validos para sistemas basados sólo en aguas superficiales puede relajarse importantemente al considerarse la operación con junta de aprovechamiento de agua superficial y subterránea.

Debido a lo anterior los límites aceptados para aprovechamientos hidráulicos superficiales prácticamente se podrían duplicar.

Sin embargo una restricción a la operación conjunta del sistema subterráneo y el sistema superficial lo constituye la interconexión física de los sistemas de distribución asociados a cada una de estas fuentes de abastecimiento.

Cumplir con las restricciones impuestas anteriormente y con el fin de reducir los costos asociados a la operación del sistema deberá aprovecharse la mayor cantidad de agua cuando ésta se encuentre a la mayor elevación posible, lo que significa tomar de la Presa Villa Victoria todo lo que ésta sea capaz de regular.

La magnitud de las filtraciones que se presenta en la Presa Del Bosque, hace razonable pensar en procurar tener este vaso lo más bajo posible, debido a que las mismas son mayores cuanto mayor es, la elevación que guardan los niveles; por lo tanto se procurará transferir el agua a la Presa Valle de Bravo. Con esta operación la capacidad de almacenamiento de la Presa Valle de Bravo se aprovecharía mejor sirviendo para guardar agua en años escasos, ya que ésta es la mayor presa del sistema. La demanda de agua potable a la Zona Metropolitana se hace con aportaciones de la Presa Villa Victoria y la Presa Valle de Bravo. Cuando la Presa Villa Victoria no pueda satisfacer la demanda, el auxilio lo dá la

Presa Valle de Bravo, la cual enviará su aportación respectiva -- más la deficiencia de Villa Victoria.

La Presa Del Bosque auxiliará a la Presa Valle de Bravo en caso de que ésta no pueda aportar los volúmenes demandados, además de estar enviando un volumen constante a fin de aprovechar ma yor volumen de la cuenca.

La razón de enviar un volumen constante del Bosque a Valle de Bravo es evitar los sobredimensionamientos antieconómicos que pudieran resultar en el Vaso regulador Colorines, ya que a éste -- llegan prácticamente sin regulación, los escurrimientos de los -- Ríos Ixtapan y San José Malacatepec, que son los que introducen -- la aleatoriedad en las entradas al Vaso Colorines y consecuentemente de Colorines a Valle de Bravo.

Otra política de operación que se asume es la de satisfacer la demanda para la generación de energía eléctrica que asciende a 3 m<sup>3</sup>/s para Ixtapantongo, Santa Bárbara y Tinganbato, así como las demandas locales que ascienden a 4 m<sup>3</sup>/s.

Con la información anterior y cumpliendo con las políticas -- propuestas se realizaron varios funcionamientos en los que se con sideraron diferentes periodos para el análisis. Se consideró ade más si se aprovechan o no las filtraciones en el Bosque, se implan

tó el criterio de "Capacidades Índice", para gastos constantes y para gastos variables mensuales, a fin de poder hacer una comparación que se resume en la Tabla N° 15.

FUNCIONAMIENTO	PERIODO CONSIDERADO AÑOS	GASTO MEDIO (M <sup>3</sup> /SEG)	DEFICIENCIA MAXIMA ANUAL (%)	APROVECHAMIENTO (%)	GASTO MENUAL	OBSERVACIONES SOBRE LA OPERACION DEL SISTEMA	SE REGISTAN FILTRACIONES A BOSQUE	CAPACIDADES INDICE EN
1	1948-1977	21.802	9.990	84.79	CONSTANTE	SI		No se utilizan Capacidades índice como política de operación en su lugar se tiene un programa de demandas de acuerdo a la época del año no se limita el derrame en Villa Victoria
2	1948-1977	21.474	9.790	83.43	CONSTANTE	NO		
3	1954-1977	24.600	9.888	88.81	CONSTANTE	SI		
4	1954-1977	24.080	9.978	87.07	CONSTANTE	NO		
5	1948-1977	21.650	9.920	83.64	CONSTANTE	SI		EN Villa Victoria Capacidad Muerta V.Vic.=0.0
6	1948-1977	21.500	10.060	83.21	CONSTANTE	SI		En Villa Victoria Capacidad Muerta V.Vic.= 25.0
7	1954-1977	24.000	9.970	86.17	CONSTANTE	SI		Villa Victoria.
8	1948-1977	21.750	10.386	84.27	CONSTANTE	SI		Villa Victoria y Valle de Bravo.
9	1954-1977	24.630	9.820	88.36	CONSTANTE	SI		Villa Victoria y Valle de Bravo.
10	1948-1977	23.000	23.609	87.61	CONSTANTE	SI		Villa Victoria y Valle de Bravo.
11	1948-1977	26.200	23.837	96.12	VARIABLE	SI		Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque (Q máx=32 m <sup>3</sup> /seg).
12	1948-1977	25.240	23.630	95.44	VARIABLE	SI		Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque (Q máx.= 24 m <sup>3</sup> /seg)
13	1948-1977	25.444	23.722	94.20	VARIABLE	SI		Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque (Q máx = 24 m <sup>3</sup> /seg).

CAPACIDAD MUERTA CONSIDERADA EN VILLA VICTORIA = 0.0

RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS FUNCIONAMIENTOS DE VASOS ANALIZADOS

TABLA 15

## DESCRIPCION DE LAS POLITICAS ASUMIDAS EN CADA FUNCIONAMIENTO.

## Funcionamiento N° 1

Este funcionamiento se realizó para un gasto constante, simulando el periodo 1948-1977, con una demanda constante del sistema de 21.802 m<sup>3</sup>/s para agua potable y generación. Se tomó una demanda mensual variable en cada vaso, obteniendo un aprovechamiento de 84.79%, y en el cual se contemplaron dos políticas de operación. Los periodos de extracción en los vasos de julio a octubre y de noviembre a junio, con la finalidad de que en la época de lluvias se extrajera el mayor caudal de los vasos, que por tener una pequeña capacidad de regulación derramarían y extraer menos caudal en Valle de Bravo que tiene una gran capacidad de regulación y puede almacenar el agua que excede en otros vasos del sistema. -- Con lo anterior se prepara al sistema para poder surtir en la época de estiaje.

En este funcionamiento se considera que las filtraciones del Bosque regresan íntegramente a este vaso.

## Funcionamiento N° 2

Para este funcionamiento el gasto mensual fue constante, el periodo considerado de simulación fue de 1948-1977, con una demanu

da constante del sistema de 21.474 m<sup>3</sup>/s para agua potable y generación, teniendo un aprovechamiento de 83.43% y una deficiencia - máxima anual de 9.790%.

Las políticas de extracción para este funcionamiento fueron similares a las del funcionamiento N° 1; dos periodos de extracción en los vasos, de julio a octubre y de noviembre a junio pero las filtraciones del Bosque se consideraron perdidas en su totalidad.

Se consideró la restricción de deficiencia máxima anual del 10% en la demanda total, que incluye agua potable y generación y quedaría a juicio de la operación del Sistema Cutzamala si las deficiencias se cargan a generación, agua potable o a ambas.

### Funcionamiento N° 3

Para un gasto constante el periodo considerado fue de 1954—1977, con una demanda constante del sistema de 24.600 m<sup>3</sup>/s (agua potable y generación), para una demanda mensual variable en cada vaso resultó un porcentaje de aprovechamiento de 88.81.

La política de extracción fue similar a la del funcionamiento N° 1, con dos políticas de extracción en los vasos, de julio a octubre y de noviembre a junio, se consideró que las filtraciones

del Bosque regresan íntegramente al vaso.

Se omitieron los años 1948-1953 (período seco del registro) para tener una idea de cuánto más se puede extraer del sistema, pensando en que este período no volverá a ocurrir en el futuro o que los datos de que se dispone en estos años, no hubieran sido tomados adecuadamente conduciendo por consiguiente a resultados erróneos.

En este funcionamiento las demandas para cada vaso fueron -- las siguientes:

VASO	DEM. JULIO - OCTUBRE	DEM. NOVIEMBRE - JUNIO
Bosque	15.000	7.040
Valle de Bravo	14.212	17.249
Villa Victoria	6.849	4.851
Colorines	<u>3.539</u>	<u>2.500</u>
SUMA	24.600 m <sup>3</sup> /s	24.600 m <sup>3</sup> /s

En la suma no se toma en cuenta la demanda del Bosque por -- ser agua que se queda en el sistema al entrar íntegramente a Valle de Bravo, como se mostró en el esquema de simulación. La suma incluye las demandas de agua potable (21.6 m<sup>3</sup>/s) y generación de energía eléctrica (3 m<sup>3</sup>/s).

La Presa Villa Victoria se considera con una capacidad total de 232 millones de m<sup>3</sup> como en los anteriores funcionamientos.

En esta alternativa resultó una deficiencia máxima anual presentada en el sistema de 9.88% con 4 años de deficiencia, sin tener consecutivos más de uno.

#### Funcionamiento N° 4

Para un gasto constante se analizó el periodo de 1954-1977, con una demanda constante del sistema de 24.080 m<sup>3</sup>/s constantes - (agua potable y generación) y teniendo una demanda mensual de cada vaso variable, resultó un aprovechamiento de 87.07% con una deficiencia máxima anual de 9.978%.

La política de extracción fue similar a la del funcionamiento N° 3, con dos políticas de extracción en los vasos: de julio a octubre y de noviembre a junio. Se consideró además que las filtraciones del Bosque se pierden totalmente. Por la misma razón -- que se mencionó en el funcionamiento anterior se omitieron los -- años 1948 a 1953.

Las demandas para cada vaso fueron las siguientes:

VASO	DEM. JULIO - OCTUBRE	DEM. NOVIEMBRE - JUNIO
Bosque	14.619	6.613
Valle de Bravo	13.654	16.709
Villa Victoria	6.849	4.871
Colorines	<u>3.577</u>	<u>2.500</u>
SUMA	24.080 m3/s	24.080 m3/s

Las capacidades en los vasos son las mismas que en los funcionamientos anteriores y fueron como a continuación se enlista:

VASO	CAPACIDAD TOTAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD MUERTA $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD INICIAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD DE RESERVA $10^6 \text{ m}^3$
Bosque	197.9	25.0	197.9	80.0
Valle de Bravo	394.4	50.0	394.4	50.0
Villa Victoria	232.7	50.0	232.0	90.0
Colorines	1.0	0.0	1.0	0.0

#### Funcionamiento N° 5

A un gasto constante para el periodo de 1948 a 1977 la demanda constante del sistema en este funcionamiento fue de 21.650 m3/s (agua potable y generación), con demanda mensual variable en cada

vaso resultó un aprovechamiento de 83.64%, asumiendo que se recuperarían íntegramente las filtraciones del Bosque.

Este funcionamiento es especialmente importante porque se empezó a implantar en las políticas de extracción, el criterio de "Capacidades Índice" para Villa Victoria.

En esta alternativa se buscó que Villa Victoria no deramara, que se aprovechara al máximo el almacenamiento en este sitio por ser el más cercano a la Planta Potabilizadora y porque el agua potable obtenida aquí es la más económica del sistema.

La política de extracción para obtener un gasto constante del sistema está en función del almacenamiento que Villa Victoria tenga en el mes, a mayor almacenamiento mayor demanda, a menor almacenamiento menor demanda en este vaso.

Al igual que en los funcionamientos anteriores la demanda total del sistema incluye agua potable y generación de energía eléctrica.

Las capacidades en los vasos en esta alternativa son las siguientes:

VASO	CAPACIDAD TOTAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD MUERTA $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD INICIAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD EN RESERVA $10^6 \text{ m}^3$
Bosque	197.9	25.0	197.9	25.0
Valle de Bravo	394.4	50.0	394.4	50.0
Villa Victoria	185.0	0.0	185.0	0.0
Colorines	1.0	0.0	1.0	0.0

#### Funcionamiento N° 6

Para un gasto constante el periodo considerado fue de 1948—1977, con demanda constante del sistema de 21.500 m<sup>3</sup>/s (agua potable y generación), demanda mensual variable en cada vaso, regresando integralmente las filtraciones al Bosque, el aprovechamiento que resultó fue de 83.21%, con una deficiencia máxima anual de --10.060%, con dos años consecutivos de siete que presentaron déficit en el periodo analizado.

La diferencia con el funcionamiento anterior radica en la capacidad muerta de Villa Victoria que fue de 25 millones de m<sup>3</sup>, en lugar de 0.0 millones de m<sup>3</sup> y la suma de las demandas de Valle de Bravo, Villa Victoria y Colorines invariablemente será la misma - en cualquier caso e igual en la demanda total del sistema. Como ya se especificó esta suma incluye la demanda de agua potable y - generación de energía eléctrica por facilidades de cálculo.

### Funcionamiento N° 7

Para un gasto constante de 24.000 m<sup>3</sup>/s (agua potable y generación), el periodo considerado fue 1954-1977 obteniéndose 86.17% de aprovechamiento con una deficiencia máxima anual de 9.970%, considerando que se regresan íntegramente las filtraciones al Bosque.

Como en el funcionamiento N° 5 la política de extracción pretende no derramar en Villa Victoria para lo cual se establece el criterio de "Capacidades Índice" en este vaso, indica cuando conviene extraer mayor gasto de Villa Victoria.

En este funcionamiento se omitieron los años de 1948 a 1953 (periodo seco), por la misma razón indicada con anterioridad.

Otra vez se consideró la restricción de deficiencia máxima anual del 10% en la demanda total que incluye agua potable y generación y quedaría a juicio de la operación del Sistema Cutzamala para agua potable, si las deficiencias se cargan a generación, -- agua potable o a ambas.

### Funcionamiento N° 8

En este funcionamiento se analizó el periodo 1948 a 1977 para un gasto constante de 21.750 m<sup>3</sup>/s (agua potable y generación), con demanda mensual en cada vaso variable, resultó un aprovecha—

miento de 84.27% para una deficiencia máxima anual admisible de - 10.386%.

En este funcionamiento la política de extracción se define - utilizando "Capacidades Índice" en Villa Victoria y Valle de Bravo.

Las "Capacidades Índice" en Villa Victoria, tiene por finalidad disminuir los derrames aprovechando así al máximo el agua que cuesta menos.

Las "Capacidades Índice" en Valle de Bravo tiene por objeto disminuir los derrames en este vaso, limitando las extracciones - hechas en Bosque. Con esto se eliminan los bombeos innecesarios de agua en Colorines, que posteriormente se convierten en derrames en Valle de Bravo. Carece de sentido bombear el agua para derramarla.

Para implantar el criterio de "Capacidades Índice" en Villa Victoria y "Capacidades Índice" en Valle de Bravo primero se determina la demanda de cada vaso con el criterio "Capacidades Índice" en Villa Victoria y después se modifican de acuerdo al criterio de "Capacidades Índice" en Valle de Bravo y las demandas que resultan serán las demandas en cada vaso en el mes analizado.

La suma de las demandas de Valle de Bravo, Villa Victoria y Colorines, invariablemente será la misma e igual a la demanda total del sistema, en donde una vez más la suma incluye las demandas de agua potable y generación de energía eléctrica.

Las capacidades de los vasos utilizadas en la simulación de esta alternativa son las siguientes:

VASO	CAPACIDAD TOTAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD MUERTA $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD INICIAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD EN RESERVA $10^6 \text{ m}^3$
Bosque	197.9	25.0	197.9	25.0
Valle de Bravo	394.4	50.0	394.4	50.0
Villa Victoria	185.0	0.0	185.0	0.0
Colorines	1.0	0.0	1.0	0.0

Una vez más se consideró la restricción de deficiencia máxima anual del 10% en la demanda total.

#### Funcionamiento N° 9

Con un gasto constante de 24.630 m<sup>3</sup>/s (incluye agua potable y generación) se analizó de 1954 a 1977, obteniendo un aprovechamiento de 88.36% con una deficiencia máxima anual de 9.820% en -- donde se consideró también que las filtraciones del Bosque regre-

saban íntegramente a este vaso.

La política de extracción para este funcionamiento fue la -- misma que se mencionó en el funcionamiento anterior, "Capacidades Índice" en Villa Victoria y Valle de Bravo.

Los años 1948 a 1953 (período seco) fueron omitidos por las mismas razones explicadas en el funcionamiento nº 3.

La suma de las demandas de Valle de Bravo, Villa Victoria y Colorines es la misma e igual a la demanda total del sistema al -- considerar la restricción de deficiencia máxima anual del 10% en la demanda total que incluye agua potable y generación, quedando a juicio de la operación del Sistema Cutzamala si las deficiencias se cargan a generación, agua potable o a ambas.

#### Funcionamiento Nº 10

Para un gasto constante de 23 m<sup>3</sup>/s, asumiendo que se regre-- san íntegramente las filtraciones del Bosque y para un período -- considerado de 1948 a 1977 resultó el 87.61% de aprovechamiento -- con una deficiencia máxima anual de 23.609%.

Se tiene en este funcionamiento una variación importante en cuanto a la deficiencia máxima permisible.

En los funcionamientos anteriores se había considerado el -- 10% de la demanda constante como deficiencia máxima anual permisi- ble, ya que incluía agua potable y generación. En esta alternati- va se asumió 10% de deficiencia máxima anual admisible sólo para agua potable y utilizar los 3 m3/s de generación de energía eléc- trica para completar esta demanda, no se está tomando como defi- ciencia del sistema los 3 m3/s que se toman de la generación para destinarlo a agua potable.

Como se indicó anteriormente la máxima deficiencia anual que se presentó fue 23.609% respecto a los 23 m3/s que se demandan, - esta deficiencia implica lo siguiente:

$$\text{Déficit} = 0.23609 \times 23 = 5.430 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gasto correspondiente a generación que se entrega a Agua Potable para completar la demanda y que no se - toma en cuenta como déficit. 3.000 m3/s

Deficiencia en Agua Potable 2.430 m3/s

El gasto correspondiente a la generación que se entrega a -- agua potable para completar la demanda y que no se toma en cuenta como déficit igual a 3 m3/s, por lo tanto la deficiencia real de agua potable es de 2.43 m3/s que representa aproximadamente el -- 10% de la demanda total de 23 m3/s, por lo que indirectamente se sigue cumpliendo con la restricción de deficiencia máxima anual -

permisible de 10% respecto a la demanda total del sistema.

Las capacidades de los vasos en esta alternativa se presentan a continuación:

VASO	CAPACIDAD TOTAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD MUERTA $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD INICIAL $10^6 \text{ m}^3$	CAPACIDAD EN RESERVA $10^6 \text{ m}^3$
Bosque	197.9	25.0	197.9	25.0
Valle de Bravo	394.4	50.0	394.4	50.0
Villa Victoria	185.0	0.0	185.0	0.0
Colorines	1.0	0.0	1.0	0.0

La restricción de deficiencia máxima anual del 23.04% en la demanda total que incluye agua potable y generación de energía eléctrica se cumple y quedaría a juicio de la operación del Sistema Cutzamala si las deficiencias se cargan a generación, agua potable o a ambas.

#### Funcionamiento N° 11

En esta alternativa se analiza con un gasto variable en el periodo 1948-1977, teniendo un mínimo de 23 m<sup>3</sup>/s, un máximo de 35 m<sup>3</sup>/s y un promedio en el periodo de 26.2 m<sup>3</sup>/s que incluye agua potable y generación. La deficiencia máxima anual admisible fue

de 10% de agua potable y 100% en la generación, obteniéndose un aprovechamiento de 96.12%.

Las políticas de extracción utilizan "Capacidades Índice" en Villa Victoria cuyo objetivo es evitar derrames en este vaso y las "Capacidades Índice" en Valle de Bravo para evitar bombeos innecesarios desde Colorines. Las "Capacidades Índice" en Bosque indican los periodos en que se puede extraer más agua al sistema. Esto se logra determinar en este vaso, toda vez que los derrames en Villa Victoria y Valle de Bravo han sido controlados, lo cual da como consecuencia que los mayores derrames del sistema tengan lugar precisamente en el Bosque, por esta razón el almacenamiento en Bosque marcará las posibilidades de extraer más agua del sistema.

En esta alternativa se suministra como mínimo un gasto de 23 m<sup>3</sup>/s (para agua potable y generación) de este gasto se permite una deficiencia máxima anual de 10% (2.3 m<sup>3</sup>/s) y el 100% de deficiencia para generación de energía (3 m<sup>3</sup>/s), lo que hace un total que corresponde al 23.04% de deficiencia máxima anual permisible en el sistema con respecto al gasto mínimo utilizado que es de 23 m<sup>3</sup>/s.

Lo anterior implica que en las épocas de deficiencia se podrá disponer del gasto destinado para generación y utilizarlos en

agua potable. Con ésto se permite tener una mayor deficiencia -- permisible en el sistema lo que implica extraer y aprovechar un mayor caudal para agua potable.

Se consideró la restricción de deficiencia máxima anual del 23.04% en la demanda total y quedaría a juicio de la operación -- del sistema si las deficiencias se cargan a generación, agua potable o a ambas.

#### Funcionamiento N° 12

Con un gasto variable se analizó el periodo 1948-1977 teniendo como mínimo en la extracción 23 m<sup>3</sup>/s y como máximo 27 m<sup>3</sup>/s, -- con un promedio en el periodo de 25.24 m<sup>3</sup>/s que incluye agua potable y generación de energía eléctrica.

La deficiencia máxima anual admisible fue de 10% en la demanda de agua potable y el 100% de la generación, obteniéndose un -- aprovechamiento de 95.44% para una deficiencia máxima anual de -- 23.63%.

En esta alternativa la política de extracción es la de utilizar "Capacidades Índice" en Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque, como se dijo anteriormente tiene como objetivo evitar los derrames en este sitio y aprovechar así al máximo el agua que cues-

ta menos y las "Capacidades Índice" en Valle de Bravo tienen como objetivo evitar los bombeos innecesarios desde Colorines. En la Figura N° 18 se presenta el esquema de flujo, de esta política de extracción "Capacidades Índice" que se utilizó a partir del Funcionamiento N° 5 y que nos permite extraer del sistema una mayor cantidad de agua, así como controlar la operación adecuada del mismo.

Las "Capacidades Índice" en Bosque indican en que periodo se puede extraer más agua del sistema, lo que se logra determinar en este vaso porque los volúmenes derramados en Villa Victoria y Valle de Bravo han sido controlados, lo cual trae como consecuencia que los mayores derrames del sistema ocurran precisamente en este lugar, por esta razón el almacenamiento en el Bosque indicará las posibilidades de aumentar la extracción del sistema.

En esta alternativa se consideró suministrar como mínimo un gasto de 23 m<sup>3</sup>/s (que incluyen agua potable y generación). Sobre este gasto se admite una deficiencia máxima anual de agua potable del 10% y el 100% para generación de energía eléctrica, lo que implica una deficiencia de 5.3 m<sup>3</sup>/s en volumen y 23.04 en porcentaje de deficiencia máxima anual permisible en el sistema respecto al gasto mínimo de 23 m<sup>3</sup>/s. Lo anterior implica que en las épocas de deficiencia se podrá disponer del gasto destinado a la generación (3 m<sup>3</sup>/s) para usarlo en agua potable.

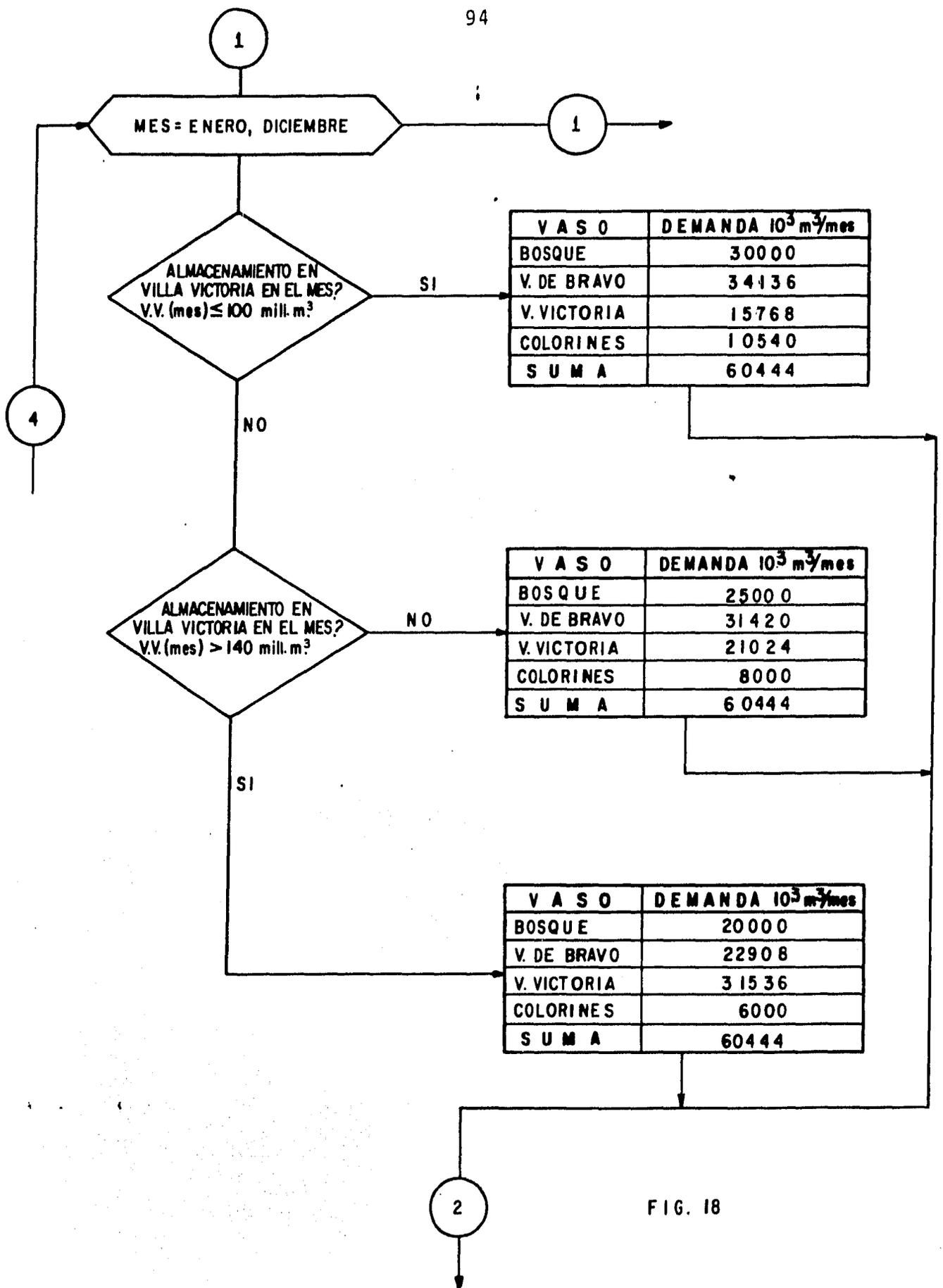


FIG. 18

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA POLITICA DE EXTRACCION "CAPACIDADES INDICE EN VILLA VICTORIA"

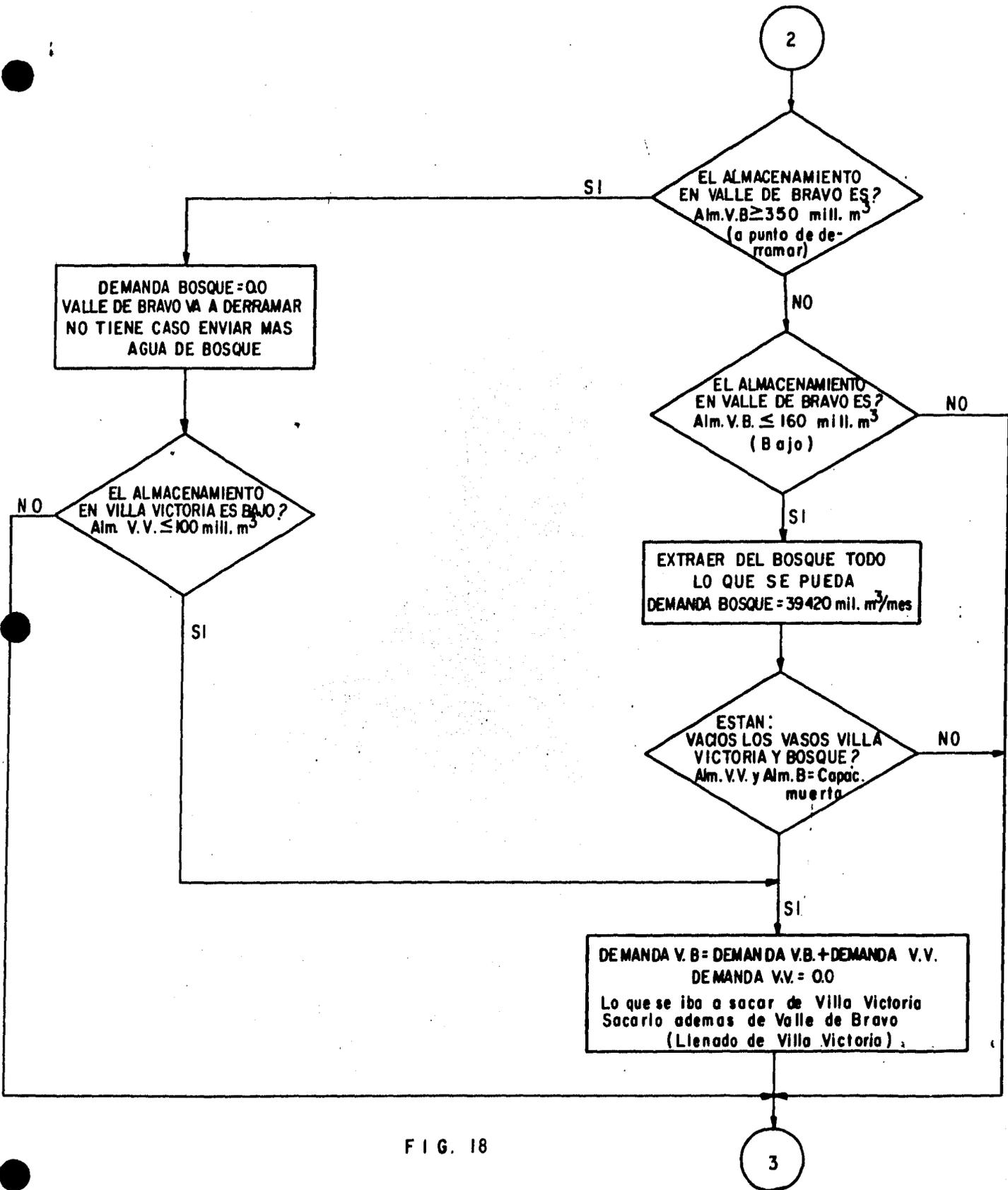


FIG. 18

"CAPACIDADES INDICE EN VALLE DE BRAVO"

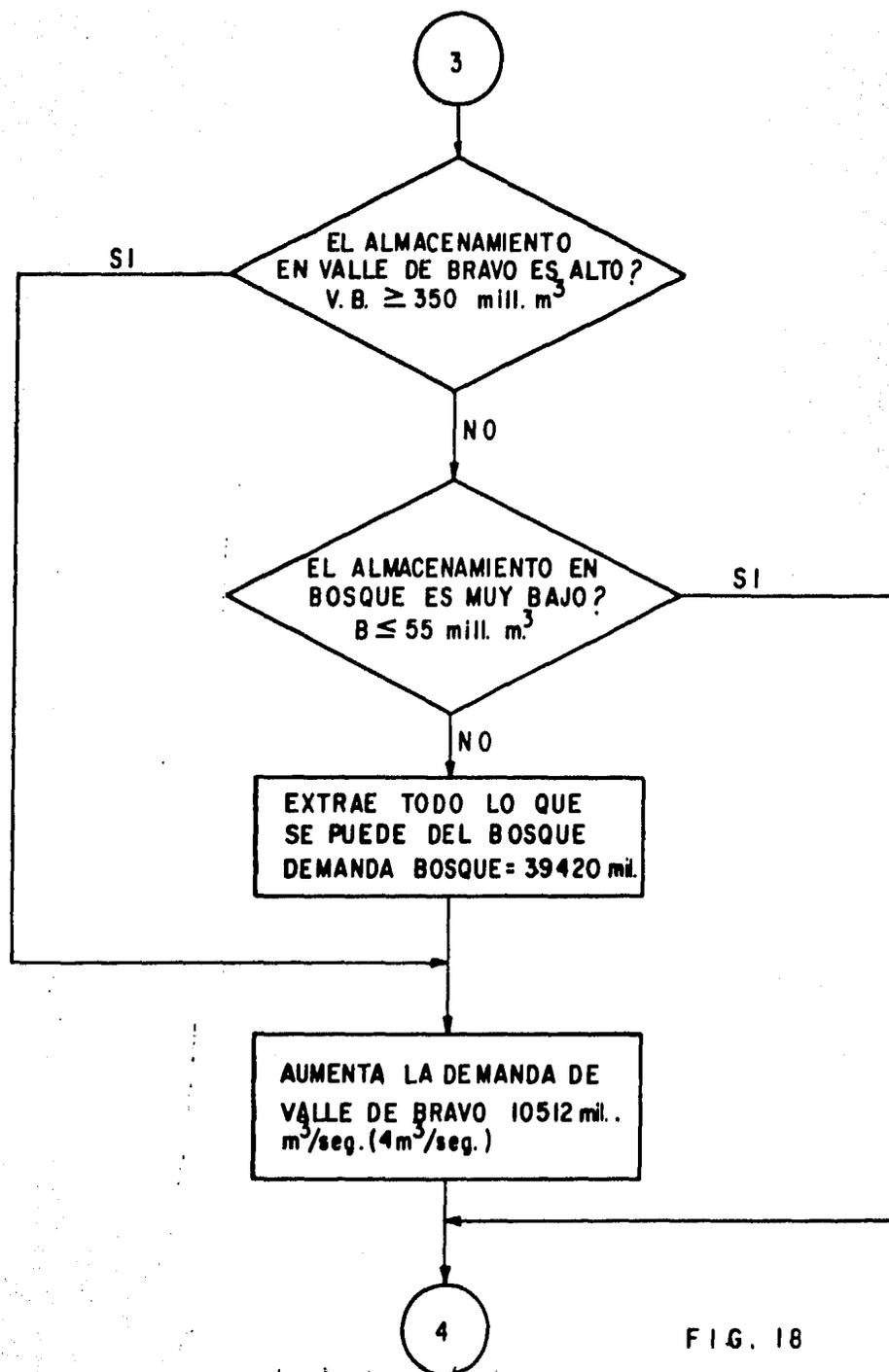


FIG. 18

"CAPACIDADES INDICE EN EL BOSQUE"

Esta decisión permite extraer y aprovechar un mayor caudal para agua potable. La demanda mínima del sistema es de 23 m<sup>3</sup>/s y la máxima de 27 m<sup>3</sup>/s en donde la demanda promedio en el periodo analizado resultó ser de 25.24 m<sup>3</sup>/s, una vez más estas demandas incluyen agua potable y generación. La limitación de 27 m<sup>3</sup>/s se debe a que la capacidad de conducción a partir de la planta potabilizadora que es de 24 m<sup>3</sup>/s, los 3 m<sup>3</sup>/s que se han descontado corresponden al gasto de generación que se extrae en Colorines.

#### Funcionamiento N° 13

En este funcionamiento el periodo considerado fue de 1948--1977 con una demanda mensual del sistema variable, tomando como mínimo 23 m<sup>3</sup>/s, y máximo de 27 m<sup>3</sup>/s con un promedio en el periodo de 25.44 m<sup>3</sup>/s (demandas que incluyen agua potable y generación).

La deficiencia máxima anual permisible fue de 10% en la demanda de agua potable y el 100% en la de generación para dar un total de 23.04%. Resultó un aprovechamiento de 94.20% y una deficiencia máxima anual de 23.722% en donde una vez más la política de extracción que se utilizó fue la de "Capacidades Índice" en Villa Victoria, Valle de Bravo y el Bosque en las cuales la forma de determinar las demandas en cada uno de los vasos y que deberá deregir la operación en el Sistema Cutzamala es la siguiente:

Primero se determinaran las demandas en cada vaso de acuerdo al criterio de "Capacidades Indice" en Villa Victoria. Tomando como base las demandas determinadas para Villa Victoria se modificarán de acuerdo al criterio "Capacidades Indice" en Valle de Bravo y en base a este resultado se modificarán las demandas de acuerdo al criterio de "Capacidades Indice" en Bosque.

En la Figura N° 18 se puede observar gráficamente cuales serán las demandas en cada vaso del sistema en el mes en cuestión.

La suma de las demandas podrá ser variable en cada mes y esta suma incluye una vez más la demanda de agua potable y generación de energía eléctrica.

La restricción de deficiencia máxima anual que se consideró (23.7 %) en la demanda total incluye agua potable y generación y quedaría a juicio de la operación del Sistema Cutzamala si las deficiencias se cargan a generación, agua potable o a ambas.

En el anexo se presenta el listado de computador que muestra los resultados de la alternativa recomendada.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los resultados descritos en los 13 funcionamientos muestran la forma en que se fue depurando la política de extracción para cada uno de los vasos del sistema. Primero se propusieron a gasto constante alternativas que variaban la extracción en cada vaso, en la mayoría se consideró que las filtraciones ocurridas en el Bosque se regresaban íntegramente, en otras que no se regresaban, todas éstas cumplieron con los criterios de deficiencia para agua potable impuestas y aceptadas por la Comisión, el menor gasto que se pidió en la alternativa más desfavorable fue de 21.74 m<sup>3</sup>/s, considerando que las filtraciones en Bosque se perdían, en ésta se tiene un aprovechamiento para agua potable de 18.74 m<sup>3</sup>/s a gasto constante.

Se implantó el criterio de "Capacidades Índice" en Villa Victoria, Valle de Bravo y Bosque para satisfacer las principales políticas de no perder el agua en las partes altas y evitar bombeos innecesarios. Por último se planteó la posibilidad de considerar gastos variables en el sistema que junto con el incremento en la deficiencia máxima anual permisible, permitió aprovechar al máximo el agua del sistema. Este criterio de "Capacidades Índice" -- tiene como objetivo principal establecer un control sobre la extracción de cada uno de los vasos del sistema para minimizar los volúmenes derramados, que en caso de presentarse se procurará -

tenerlos en los vasos más bajos (Bosque y Colorines), en los cuales no se tiene aún el cargo correspondiente al bombeo.

Con el criterio de "Capacidades Índice" se resuelven también situaciones políticas y sociales como las de no permitir derrames excesivos en Villa Victoria y Valle de Bravo. En Villa Victoria por los problemas que ocasionarían al inundar las zonas del cauce que han sido invadidas. En Valle de Bravo para preservar el centro turístico al conservar alto el nivel del agua cuando no hay - deficiencia en el sistema pero controlando la sobreelevación en - el vaso.

Resumiendo:

La alternativa que reúne las ventajas y políticas mencionadas con anterioridad, aportando un mayor gasto de acuerdo a las capacidades de almacenamiento y conducción del sistema es la política probada en el funcionamiento N° 12 con un gasto medio en el periodo de 25.24 m<sup>3</sup>/s, que una vez satisfecha la demanda para generación y usos locales aporta aproximadamente 20 m<sup>3</sup>/s constantes - - para exportación.