

10  
2 Ecu

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**BIBLIOTECA CENTRAL**

"ESTUDIO HIDROELECTRICO DE GRAN VISION DEL RIO  
GRANDE DE SANTIAGO"

TESIS para sustentar Examen  
Profesional para obtener el  
Título de Ingeniero Civil -  
que presenta el señor

BASILIDES JOSE ARANA ARACENA

México, D. F., Agosto de 1985



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.

# I N D I C E

## INTRODUCCION

### 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

1.1 Antecedentes

1.2 Objetivos

### 2. DESCRIPCION DE LA CUENCA

2.1 Aspectos físicos

2.2 Aspectos sociales

2.3 Aspectos económicos

### 3. INFORMACION BASICA

3.1 Topográfica

3.2 Hidrológica

3.3 Geológica

3.4 Sistema eléctrico

### 4. FACTORES DETERMINANTES

4.1 Económicos

4.2 Funcionales

4.3 Circunstanciales

### 5. DEFINICION DEL SISTEMA

5.1 Proyectos obligados

5.2 Proyectos o tramos del río con alternativas

5.3 Análisis de alternativas.

5.4 Definición del sistema

6. DESCRIPCION Y COSTO DE LOS PROYECTOS DETERMINANTES

6.1 Proyectos del tronco del Río Santiago

6.2 Proyectos periféricos

7. PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA

7.1 Proyectos del tronco del Río Santiago

7.2 Sistema completo

8. JERARQUIZACION DE LOS PROYECTOS

8.1 Proyectos exclusivamente eléctricos

9. CONCLUSIONES

DATOS DEL PROYECTO

BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCION

El uso de la energía hidráulica data del tiempo de los romanos, hace 2000 años; se desarrolló lentamente por espacio de 18 siglos debido al inconveniente de que las instalaciones tenían que situarse junto a los ríos, mientras que las máquinas de vapor se podían instalar en cualquier lado.

Las caídas de las masas de agua producidas por los desniveles naturales en los cauces de los ríos fueron, desde antaño, utilizadas para producir energía mecánica por medio de ruedas de paletas y de cajones que, aunque eran artefactos rudimentarios, tenían adecuadas aplicaciones entre otras, para elevar el agua de los ríos.

Al evolucionar la tecnología de la transmisión eléctrica, ésta permitió el gran desarrollo de las plantas hidroeléctricas que se inicia en 1910; desde esta fecha hubo un incremento muy grande en la instalación de plantas hidroeléctricas, principalmente en Europa, Norteamérica y Japón.

Las primeras grandes centrales hidroeléctricas fueron las del Niágara. Después de 1930, proliferaron por diversas razones: por el incremento en la demanda de electricidad, la necesidad de crear empleos y el importante desarrollo en la tecnología de la ingeniería civil para la construcción de grandes presas.

Dado que el sector energético representa el motor de la actividad productiva y por consiguiente reviste un carácter estratégico en el desarrollo económico y social de un país. La mayoría de los países están sufriendo carencia de energía, quemando recursos no renovables, pagando altos precios por los combustibles, importando equipos y materias primas para

mover sus fábricas e iluminar sus hogares mientras se tiene durmiendo la increíble fuerza energética de muchos ríos; por ejemplo, en Centro y Sud América sólo se ha utilizado el 4.7% de su potencial económicamente aprovechable, según lo estimado por la CEPAL.

La energía, pivote básico de la sociedad industrial contemporánea, tiene hoy como fuente más importante a los hidrocarburos, y a juzgar por el panorama internacional, la seguirá teniendo por el resto del siglo. El problema es de tal magnitud que se ha visto reflejado en difíciles confrontaciones originadas por el aprovisionamiento del petróleo a nivel mundial.

La principal utilización de la energía hidroeléctrica es -- transformarla en la corriente eléctrica que se requiere para abastecer las necesidades de la industria, cuya demanda se incrementará conforme al crecimiento de la tasa anual de población de un país. En los países en vías de desarrollo, los requerimientos serán cada vez mayores para cubrir las necesidades de las nuevas industrias y de preferencia, el costo de esta energía deberá ser rentable para poder competir con el mercado internacional.

Por último, México dispone de gran experiencia en el diseño y construcción de proyectos hidroeléctricos. Será necesario aprovecharla para evitar fuga de divisas, que por este concepto se paga, además de que en la actualidad se están fabricando turbinas hidráulicas, grúas puente, generadores eléctricos, transformadores de corriente y potencial, generadores de vapor, cables de control y fuerza; y en general, todo el equipo necesario que se utiliza en las plantas hidroeléctricas.

## 1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

### 1.1 Antecedentes

1.1.1 Sobre el Río Santiago se han construido seis plantas hidroeléctricas; la primera entró en servicio los primeros años de este siglo (reconstruida posteriormente) y la última en 1964. Estas plantas son pequeñas y se han proyectado aisladamente sin integrar un sistema; razón por la que operan con grandes deficiencias. El tramo más aprovechado del río es el comprendido entre Poncitlán y Las Juntas en usos de riego, agua potable y generación de energía eléctrica; de Las Juntas hacia aguas abajo existen barrancas profundas de difícil acceso, por lo que sus aguas en este tramo son ideales para usos en desarrollos hidroeléctricos.

1.1.2 A partir de la confluencia del Río Santiago con el Río Verde hasta las inmediaciones de Yago y Santiago Ixcuintla, no existe otra demanda más que la de generación hidroeléctrica; en el tramo inferior del río se tienen extensos usos del agua para riego, sin existir desniveles aprovechables para fines hidroeléctricos.

La superficie por regar en este tramo inferior de la cuenca del Río Santiago es pequeña, en comparación con los caudales totales del río; por lo tanto, bastaría una regulación moderada para disponer del volumen necesario para el riego de todas las tierras.

1.1.3 El Río Santiago y sus afluentes tienen un gran potencial hidroeléctrico por aprovechar, muchas ve-



pectivas cortinas y demás parámetros que lo de  
finen en forma general;

- e) Generación, forma y magnitud en que una obra se  
afectará con la construcción de las demás obras;
- f) Potencia por instalar en cada aprovechamiento.

En estas determinaciones, se tomarán en cuenta -  
las obras ya construidas, las previstas en otros-  
estudios y los compromisos y necesidades de agua-  
para fines distintos de los hidroeléctricos.

## 2. DESCRIPCION DE LA CUENCA

### 2.1 Aspectos Físicos

2.1.1 La unidad Lerma-Santiago está integrada en su parte alta por el Río Lerma y sus afluentes, entre los principales, los ríos de La Laja, Guanajuato, Turbio y Duero. El Río Lerma desemboca en el Lago de Chapala, de enorme extensión superficial (más de  $1100 \text{ Km}^2$ ) pero de muy escasa profundidad, con capacidad de almacenamiento de  $6354 \text{ Hm}^3$  a la cota de tasación  $1524.60 \text{ m.}$  (que no es conveniente rebasar) con un almacenamiento útil en condiciones normales de  $2467 \text{ Hm}^3$ .

Las salidas de las aguas del lago se hacen por las compuertas de control de extracciones llamadas -Poncitlán, éstas permiten extraer las aguas por gravedad hasta la cota  $1522.30 \text{ m.}$  De ese nivel -hacia abajo las aguas se han extraído por bombeo, o bien, por derivación directa del Río Lerma.

El regimen del río se altera radicalmente en el -Lago de Chapala, que tiene capacidad —cuando no está lleno— para almacenar las aportaciones del Río Lerma durante un período considerable.

2.1.2 El Río Grande de Santiago comprende desde las compuertas de Poncitlán hasta la desembocadura en la Barra o Boca del Titiritero o del Asadero en el -Estado de Nayarit. A partir de Poncitlán, el río baja con poca pendiente sin recibir afluentes importantes hasta el sitio El Salto, en donde las -aguas se despeñan entre rocas basálticas una altura de  $20 \text{ m.}$  De El Salto en adelante, el río desciende en forma rapidísima (más de  $500 \text{ m.}$  en sólo

40 Km. de desarrollo) hasta llegar con el Río Verde, en donde la pendiente del río comienza a reducirse gradualmente de 6 a 2 m. por kilómetro en la parte media del cauce y 1 m. por kilómetro antes de llegar a las llanuras y finalmente, pendientes bajísimas en los últimos 95 m. de recorrido - (ver planos 3-1 y 3-2).

- 2.1.3 A partir del sitio Puente Grande, el río penetra a la Barranca de Oblatos (inmediaciones de Guadalajara) y de ahí hasta la boquilla más baja (El Cora), el río fluye dentro de extensas barrancas que separan dos regiones fisiográficas totalmente diferentes formando las dos márgenes.

Debido a esto los vasos en el tronco del río no son grandes y la eficiencia relativa del almacenamiento de algunos de estos vasos se debe a la presencia de los cauces de afluentes que amplían el volumen de almacenamiento.

- 2.1.4 Todos los afluentes de importancia del Río Santiago confluyen por la margen derecha, el primero es el Río Verde y hacia aguas abajo los ríos Juchipila, Cuixtla, Bolaños y Huaynamota; los afluentes de la margen izquierda son pequeños, siendo el de mayor aportación el Río Mololoa o de Tepic, que confluye aguas abajo del Huaynamota.

En los afluentes que existen, las boquillas y vasos dignos de consideración son en el Juchipila y Bolaños; y no así en el Huaynamota que rápidamente se ramifica en la parte baja del cauce.

- 2.1.5 El área de la cuenca, de Poncitlán hasta la desem

bocadura en el Pacífico, es de 77185 km<sup>2</sup>, alojados en su mayor parte en los Estados de Jalisco - (30548 km<sup>2</sup>) y Zacatecas (24843 km<sup>2</sup>), Aguascalientes, Durango, Guanajuato y una pequeña área en San Luis Potosí.

Las áreas de los principales afluentes hasta su confluencia con el Río Santiago son las siguientes:

AFLUENTE	SUPERFICIE DE CUENCA EN Km <sup>2</sup>
Verde	20502
Juchipila	8552
Cuixtla	854
Bolaños	14757
Huaynamota	12529
Mololoa o Tepic	627

## 2.2 Aspectos Sociales

2.2.1 Los sitios previstos para realizar las obras están poco poblados, aunque existen algunas obras viales importantes. Estos aprovechamientos se escogieron evitando en lo posible afectaciones mayores a poblaciones grandes o pequeñas, como son las siguientes:

No.	NOMBRE	EDO.	CORRIENTE ANEXA	POBLACION APROXIMADA
1	Santa Rosa	Zac	Juchipila	400
2	Moyahua	Zac	Juchipila	2,400
3	Juchipila	Zac	Juchipila	3,600
4	San Cristóbal de la Barranca	Jal	Santiago	1,000
5	San Martín Bolaños	Jal	Bolaños	1,300
6	Chimaltitlán	Jal	Bolaños	700
7	Apozolco y El Lobo	Jal	Bolaños	360
8	Mamantla	Jal	Bolaños	250
9	La Joya	Jal	Bolaños	200
10	Vicentiño o Huamilolla	Nay	Santiago	200
11	San Rafael	Nay	Santiago	150
12	Estación Roseta	Nay	Santiago	200

2.2.2 El poblado de Santa Rosa, Zac. (o Puente Santa Rosa y Alameda Juárez) se afectaría con la construcción de la única presa prevista sobre el Río Juchipila. Es un poblado sin calles bien definidas, disperso, por el que atraviesa el camino Guadajajara-Zacatecas; su principal fuente de ingresos lo constituyen los productos agrícolas de las tierras en las márgenes del Río Juchipila, las que quedarán inundadas dentro del vaso de la presa.

2.2.3 San Cristóbal de la Barranca, quedará inundada con el vaso de Santa Cruz cualquiera que sea la localización de la cortina y el nivel máximo de

embalse para que resulte económicamente factible. Se trata de un poblado pobre (con pocas construcciones nuevas), dispone de servicios de agua potable y corriente eléctrica, las calles no tienen pavimento y existen pequeñas superficies de terrenos que se riegan con aguas del Río Juchipila. Los autobuses hacen parada, ya que está sobre el camino de Guadalajara a García de la Cadena, Mezquitil del Oro, Teul de González Ortega y Tlatenango (poblaciones de Zacatecas).

Para reubicar esta población convendría localizar el sitio dentro del Estado de Jalisco, posiblemente en la margen izquierda del Río Santiago, y además será necesario reponer las fuentes de trabajo que se pierden al inundarse las pequeñas parcelas con riego.

2.2.4 Las rancherías Apozolco y El Lobo, Mamantla, La Joya y otras más pequeñas, se inundarán con la construcción de la presa Apozolco, sobre el Río Bolaños. Se recomienda construir un centro de población que unifique estas rancherías dispersas, dotándoles de los servicios de agua potable, drenaje, electricidad y algo de pavimento en las calles. No se anticipan conflictos sociales por la reubicación, si se atiende debidamente el problema de fuentes de trabajo.

2.2.5 Las rancherías Vicentiño, San Rafael y Estación Roseta se afectarán con la construcción de la presa El Cora, se sugiere tratar estas rancherías en la forma análoga a la anterior, pudiendo quedar muy bien comunicado si se localiza en el centro -

próximo al camino de construcción de la presa Agua milpa.

2.2.6 Los nuevos vasos de almacenamiento podrán originar cambios ecológicos en la región y seguramente reducirán la frecuencia de las inundaciones de algunas poblaciones (Santiago Ixcuintla), como de terrenos.

2.2.7 Las principales vías de comunicación que se afectarán con las obras son:

- a) El camino de Guadalajara a García de la Cadena y Tlaltenango, pasando por San Cristóbal de la Barranca.
- b) Un tramo del camino Guadalajara a Zacatecas, - que incluye el puente sobre el Río Santiago, - otro tramo donde queda situado el poblado de - Santa Rosa, Zac.
- c) El F.C. del Pacífico, en un tramo de 19 kms de longitud, localizado desde un tunel al poniente del vado El Cora hasta un punto al Sureste de la Estación Roseta.

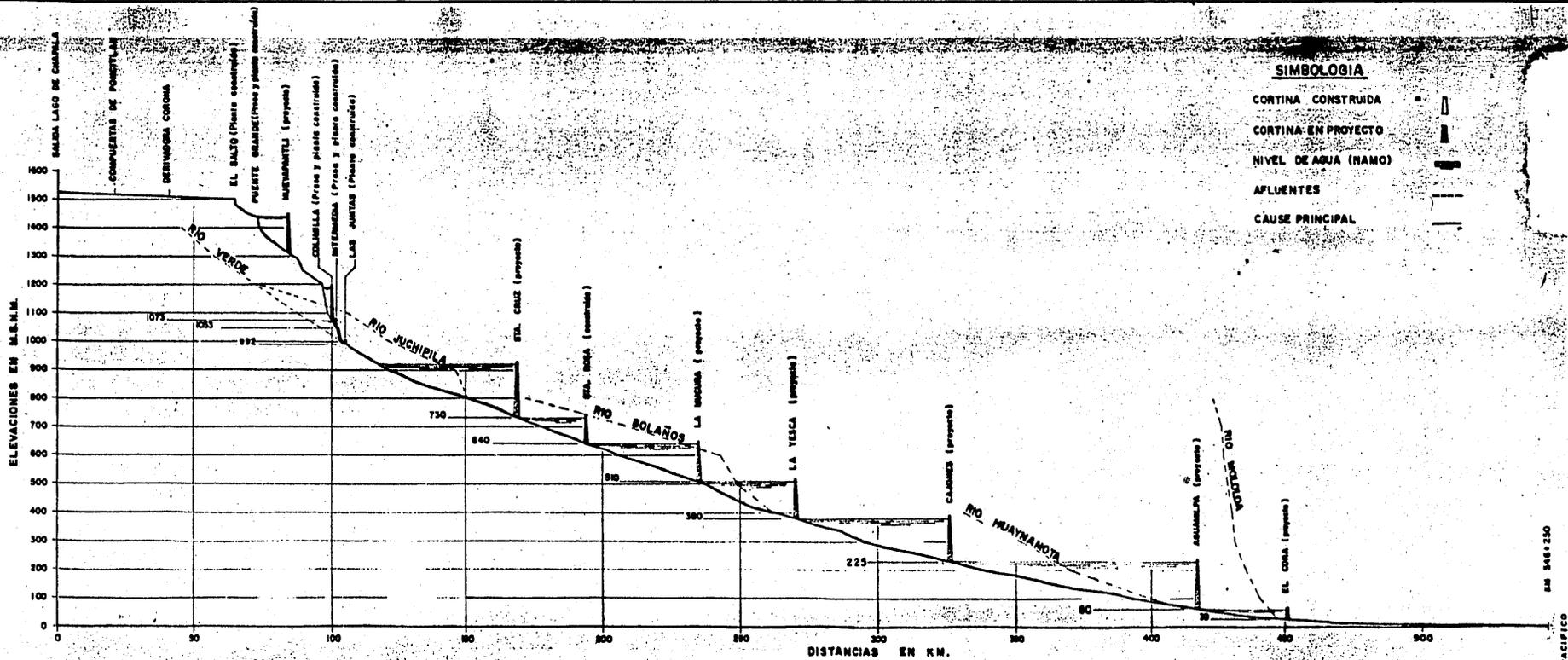
Algunos tramos de estas vías de comunicación deberán relocalizarse al construir las obras que las afecten.

## 2.3 Aspectos Económicos

2.3.1 La reubicación de poblados y relocalización de vías de comunicación inciden económicamente en cada una de las obras de generación hidroeléctrica. En los presupuestos correspondientes de las plan-

tas se han incluido los costos por estos conceptos.

- 2.3.2 Con excepción de algunas tierras de riego, cerca de Santa Rosa, Zac., San Cristóbal y de parcelas aisladas cerca de la zona inferior del Río Santiago, las plantas por construir provocarán pocas afectaciones de tierras de labor o de pastizal.



ESTUDIO DE GRAN VISION  
 RIO GRANDE DE SANTIAGO  
 PERFIL DEL RIO SANTIAGO  
 PLANO 2-1

EN 545750  
 OCEANO PACIFICO

REGION  
HIDROLOGICA No. 11

REGION  
HIDROLOGICA  
No. 36

REGION HIDROLOGICA No. 37

**SIMBOLIA**

ESTACIONES HECI-METRICAS

-  CON ESCALA, MOLINETE Y LIMBIERADO
-  CON SEDIMENTOS
-  SUSPENSAS
-  ENHALSE DE PRESA EXISTENTE.
-  ENHALSE DE LA PRESA AL NIVEL DEL NANO.
-  CORRIENTE PRINCIPAL.
-  CORRIENTES SECUNDARIAS
-  PERTEGOS DE LA CUENCA PRINCIPAL
-  PERTEGOS DE LA SUBCUENCA
-  PERTEGOS LIMITE DE AREA DRENADA



### 3. INFORMACION BASICA

#### 3.1 Topográfica

3.1.1 La mesa central es una meseta interior elevada y accidentada, la mayor parte de la cual se encuentra a alturas comprendidas entre 2000 y 2500 metros - con picos de 3000 metros o más. El borde que forma la barrera septentrional de la Mesa Central - constituye la divisoria de las aguas de los tributarios septentrionales del Río Pánuco y del Río - Santiago. Su cresta se extiende sinuosamente en dirección Este y Noreste. En las proximidades de Zacatecas esta cresta alcanza alturas de cerca de 3000 metros, pero en sus puntos más bajos no pasa de 1700.

Entre este borde y las lejanas estribaciones de la Sierra de Los Volcanes se extiende la superficie de la meseta en forma de silla de montar, salpicada de numerosos conos y sierras en gran parte de origen volcánico.

3.1.2 Se dispone a nivel general de cartas topográficas de la región, elaboradas por DETENAL, a escala de 1:50.000, con curvas de nivel de 10 en 10 mts. en las zonas no muy abruptas, o de 20 en 20 mts. en las zonas abruptas. Estas cartas son relativamente recientes y permiten tener un panorama general de la región, incluyendo las vías de comunicación. De estas cartas se han hecho ampliificaciones a escala de 1:10.000 para los sitios de las boquillas.

- 3.1.3 A nivel local, se cuenta con la topografía levantada por la Comisión Federal de Electricidad de algunas de las boquillas consideradas. En general estos planos están a escala 1:1.000 con curvas de nivel de metro en metro.

### 3.2 Hidrológica

- 3.2.1 Para el estudio hidrológico del Río Santiago y sus afluentes, se dispone de la información hidrométrica y meteorológica contenida en los boletines de la región N° 12 de la S.R.H., con datos hasta el año 1971 y completándose hasta el año 1977 de las estaciones más valiosas con información proporcionada por los Departamentos de Hidrología de la S.R.H. y C.F.E.

La figura 3-1 indica la posición esquemática de las estaciones hidrológicas empleadas en el estudio, así como los años de que se tienen datos.

- 3.2.2 Los datos hidrométricos citados figuran en las tablas 3-1 y 3-2, de éstos, varios han sido depurados y ajustados para lograr una congruencia y consistencia razonable.

Las depuraciones y ajustes se han realizado analizando los escurrimientos mensuales: los aforos de las estaciones próximas; la consistencia y precisión de los datos y ciertas características especiales de las estaciones hidrométricas como el acceso (comunicación con los poblados), características del cauce, estructuras, aforos y aparatos utilizados.

Al revisar la consistencia de la información hidrométrica con el criterio de los escurrimientos y gastos en una estación aguas abajo deberían ser cuando menos iguales a los registrados en una estación aguas arriba; se encontró que dichas condiciones no se cumplen satisfactoriamente, por ej. en la Estación Capomal en épocas de estiaje se registran volúmenes menores a los registrados por Carrizal, lo mismo se repite entre el Sauz y Santa Rosa; hecho el análisis correspondiente se llegó a la conclusión de que la diferencia se debía a algunas derivaciones para riego por canales y otra al flujo subterráneo (para estos efectos se llegó a un valor uniforme de todo el año, de  $26 \text{ Hm}^3/\text{mes}$ ) para las estaciones Yago y Capomal.

Se encontraron períodos críticos de sequía de varios años, como son de 1949 a 1955; sin embargo, algunas estaciones sólo cuentan con datos a partir de 1951, para integrar el período crítico, al análisis, se generaron datos siguiendo los procedimientos de correlación e integración de datos.

- 3.2.3 Los usos conjuntivos del agua de la cuenca de los ríos Lerma, Verde y sus afluentes se han incrementado especialmente a partir del año 1955 en usos de riego, domésticos e industriales.

No puede conocerse con precisión la forma en que cada aprovechamiento afecte los escurrimientos de la parte baja, mucho menos determinarse cuáles serán los nuevos aprovechamientos que se construirán durante la vida útil de las obras hidroeléctricas previstas en el Río Santiago.

Por lo tanto, es necesario adoptar procedimientos que permitan conocer valores extremos de los escurrimientos para determinar cantidades máximas y mínimas que pueden esperarse. Con esta finalidad se analizaron las entradas de agua al Lago Chapala y sus extracciones en lo futuro, así como los del Río Verde, y se propone los siguientes criterios:

- a) Criterio Medio: Se adoptaron los valores de "oferta de agua" calculados por la Comisión del Plan Nacional Hidráulico, los que toman en cuenta los efectos de las obras construidas, así como las planeadas a futuro.
- b) Criterio Optimista: Al valor medio se le agrega un 10% y se determinan los escurrimientos correspondientes.
- c) Criterio Pesimista: Los escurrimientos serán un 10% menores que los correspondientes al criterio medio.

Debe tenerse presente que las obras por usos conjuntivos solo afectan los escurrimientos de la cuenca del Río Lerma, y las del Santiago hasta el sitio Hueyapantli, y las del Verde, en menor escala, hasta su confluencia con el Río Santiago.

3.2.4 Los datos de escurrimientos mensuales de las estaciones hidrométricas, ajustados y completados como se indicó en los puntos 3.2.2 y 3.2.3, fueron transferidos a los sitios de aprovechamiento hidroeléctrico para efectuar los análisis de funcionamiento de vaso y determinar la generación hidroeléctrica propia de cada sitio.

En las tablas 3 y 4 se detalla sólo los escurri-

mientos anuales en cada presa sobre el Río Santiago para los tres criterios (medio, optimista y pesimista), las presas periféricas de Agua Fría - (J-1020) en el río Juchipila y Apozolco (B-640) - en el Río Bolaños, sin que sufran afectaciones por usos futuros.

### 3.3 Geológica

3.3.1 Se dispone de los siguientes antecedentes geológicos:

- a) Geohidrología del Occidente de México  
Libro Guía Excursión A - 16, XX Congreso Geológico Internacional, México 1956.
- b) Veytia, M., Reconocimiento Geológico General del Río Santiago, Departamento de Planeación y Estudios C.F.E., 1963.
- c) Cartas Geológicas de los Estados de Jalisco, Nayarit y Zacatecas, Instituto de Geología -- UNAM.
- d) Cartas Geológicas y Topográficas de DETENAL.
- e) Comportamiento de Presas Construidas en México Contribución al XII Congreso Internacional de Grandes Presas S.R.H., C.F.E. y U.N.A.M., México, 1976.
- f) Estudio de Factibilidad Técnica y Económica del Proyecto Aguamilpa, Nay., Informe de Infraestructura, Recursos y Servicios, S. C. a la Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar C.F.E., Mayo 1980.

### 3.4 Sistema Eléctrico

3.4.1 La zona metropolitana de Guadalajara está suminis

trada por 6 plantas hidroeléctricas existentes sobre el Río Santiago que en su conjunto tienen una potencia instalada de 158 MW además recibe corriente de la planta La Villita que está sobre el Río-Balsas (300 MW potencia instalada), la cual está interconectada con la planta Infiernillo. También recibe de las plantas hidroeléctricas que están construidas sobre el Río Cupatitzio (131 MW potencia instalada en su conjunto).

Las termoeléctricas próximas a Guadalajara son Zapopan (vapor y gas) y El Verde (gas) con 83 MW en su conjunto. A mayor distancia, está la termoeléctrica de Salamanca con 900 MW.

Está en construcción la planta termoeléctrica de Manzanillo, Col., con cuatro unidades de 300 MW, de las cuales la primera ya entró en servicio.

En lo futuro se construirá una planta termoeléctrica en Ocotlán, Jal., de 4 unidades con 350 MW cada una cuyo principal centro de carga será el área metropolitana de Guadalajara.

- 3.4.2 Al contorno del área metropolitana de Guadalajara existe un anillo distribuidor de 230 KV, que conecta las subestaciones periféricas, incluyendo las plantas hidroeléctricas sobre el Río Santiago y las de Acatlán y Guadalajara 2.

A subestaciones con las que conecta el anillo distribuidor llegan por el Sureste, una línea a 400 KV proveniente de la hidroeléctrica La Villita y otra línea por el sur a 400 KV de la nueva termoeléctrica de Manzanillo; por el oriente, una línea de 230 KV y otra de 161 KV provenientes de la subestación Cuitzeo cerca de Ocotlán, Jal., la que

a su vez conecta con líneas de 400 KV y 230 KV, - respectivamente con la termoeléctrica de Salamanca y las hidroeléctricas del Río Cupatitzio y por el poniente llega una línea de doble circuito a - 161 KV de la hidroeléctrica Manuel M. Diéguez.





ESTACIONES HIDROMETRICAS

A N O	ENTRADAS ANUALES EN hm <sup>3</sup>							
	RIO: Santiago EST.: Corona PERIODO: 1948-77	RIO: Santiago EST.: El Salto PERIODO: 1951-77	RIO: Santiago EST.: Las Juntas PERIODO: 1951-77	RIO: Santiago EST.: Arcedianc PERIODO: 1951-77	RIO: Santiago EST.: San Cristóbal PERIODO: 1951-77	RIO: Santiago EST.: Sta. Rosa I y II 1951-57 PERIODO: 1958-77	RIO: Santiago EST.: La Yesca PERIODO: 1949-77	RIO: Santiago EST.: Carrizal PERIODO: 1962-77
1948	455	-	-	-	-	-	-	-
49	432	-	-	-	-	-	2,082	-
1950	289	-	-	-	-	-	1,824	-
51	189	422	-	-	-	-	1,837	-
52	257	446	620	1,269	1,897	2,081	2,075	-
53	417	555	643	1,283	2,147	2,265	2,246	-
54	434	611	705	1,024	1,534	1,713	1,791	-
55	345	607	876	2,174	3,437	3,788	3,820	-
56	412	535	738	1,350	2,291	2,717	2,753	-
57	426	588	688	873	1,232	1,417	1,493	-
58	342	580	985	3,127	4,806	-	5,578	-
59	1,614	1,853	1,995	2,571	3,767	4,072	4,076	-
1960	493	732	855	1,294	-	2,216	2,327	-
61	434	595	760	1,254	-	2,336	2,443	-
62	466	532	641	1,196	-	2,136	2,429	-
63	315	491	701	1,787	-	2,914	2,974	7,584
64	344	523	611	1,122	-	1,767	1,924	5,383
65	1,029	1,339	1,597	3,165	-	4,764	4,668	8,653
66	1,588	2,046	1,923	2,684	-	-	3,842	8,139
67	3,815	4,329	4,476	6,711	-	8,958	9,358	15,069
68	2,323	2,467	2,765	3,543	-	4,936	5,203	9,506
69	580	655	768	954	-	1,627	1,788	3,643
1970	475	588	794	1,859	-	2,963	3,335	6,747
71	2,436	2,777	2,858	4,606	-	6,160	6,641	11,163
72	1,044	1,126	1,202	1,594	-	2,717	2,585	4,658
73	2,229	2,605	2,936	-	-	6,812	8,351	13,296
74	1,261	1,318	1,471	-	-	2,482	2,830	5,747
75	913	1,038	1,373	2,342	-	3,576	3,990	8,779
76	2,867	3,183	3,421	4,606	-	6,005	6,533	11,839
77	1,237	1,349	1,643	2,295	-	3,579	4,067	8,370
SUMA	29,461	33,890	38,044	54,690	21,081		104,682	128,576
PROM.	982	1,255	1,463	2,188	2,635	3,345	3,610	8,571
DEVI. %	31	40	46	70	84	106	114	272

ESTACIONES HIDROMETRICAS

A N O	ENTRADAS ANUALES EN hm <sup>3</sup>								
	RIO: Santiago EST.: Yaco/Capomal PERIODO: 1948-77	RIO: Verde EST.: La Cuña PERIODO: 1947-77	RIO: Juchipilla EST.: Tecomate PERIODO: 1948-77	RIO: Juchipilla EST.: La Boquilla PERIODO: 1948-77	RIO: Cuixtla EST.: Cuixtla PERIODO: 1951-77	RIO: Bolaños EST.: Bolaños PERIODO: 1948-77	RIO: Bolaños EST.: El Caimán PERIODO: 1948-77	RIO: Huaynamota EST.: Huaynamota I y II PERIODO: 1951-77	
1948	10,022	758	-	-	-	1,211	-	-	
49	6,521	388	86	238	-	445	503	-	
1950	5,654	413	70	177	-	239	245	-	
51	4,489	438	154	228	-	313	379	-	
52	6,331	549	62	181	103	274	422	1,189	
53	5,903	519	144	293	94	454	513	958	
54	6,761	303	75	165	90	388	509	2,037	
55	9,464	973	230	500	169	734	939	2,807	
56	4,186	493	154	220	110	458	654	1,207	
57	2,933	172	38	88	45	127	182	926	
58	10,963	1,570	355	605	194	939	1,225	2,339	
59	9,189	528	207	406	171	637	1,098	2,003	
1960	5,030	325	58	194	94	327	456	1,112	
61	6,943	358	60	219	138	530	848	2,217	
62	6,353	438	99	258	106	462	668	1,803	
63	9,076	922	222	446	136	1,138	1,635	2,700	
64	6,600	410	127	254	99	484	846	2,110	
65	9,396	1,241	138	393	163	623	1,128	1,977	
66	9,002	602	267	353	98	708	1,093	2,335	
67	15,832	1,899	543	829	305	1,353	1,795	3,551	
68	11,181	593	209	407	142	627	857	3,032	
69	5,886	196	47	175	85	222	316	1,281	
1970	9,732	873	217	364	68	730	803	2,015	
71	12,807	1,366	564	670	160	1,212	1,320	2,509	
72	6,545	275	50	153	69	198	336	1,186	
73	14,815	1,970	395	652	256	1,660	1,791	3,733	
74	6,714	365	72	269	68	334	504	1,281	
75	9,567	864	275	439	178	1,075	1,438	2,242	
76	13,149	1,448	262	422	130	1,053	1,290	2,562	
77	9,290	570	192	412	165	461	997	2,559	
SUMA	250,334	21,818	5,372	10,010	3,441	19,415	24,790	53,771	
PROM.	8,344	727	185.2	345	132.3	647	855	2,068	
PROM. 74	265	23	6.0	11	4	21	27	66	

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

A N O	ENTRADAS ANUALES EN hm <sup>3</sup>									
	SITIO: S-730 RIO: Santiago PRESA: Santa Cruz			SITIO: S-640 RIO: Santiago PRESA: Santa Rosa			SITIO: S-380 RIO: Santiago PRESA: La Yesca			SITIO: J-1020 RIO: Juchipila PRESA: Agua Fria
	CRITERIO			CRITERIO			CRITERIO			NORMAL
	PESEMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	PESEMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	PESEMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	
1948	1,492	1,828	2,176	1,544	1,880	2,228	2,345	2,681	3,029	257
49	1,694	1,694	1,649	1,739	1,739	1,739	2,154	2,154	2,154	147
1950	1,579	1,579	1,579	1,611	1,611	1,611	1,797	1,797	1,797	115
51	1,656	1,656	1,656	1,694	1,694	1,694	2,011	2,011	2,011	191
52	1,617	1,617	1,617	1,710	1,710	1,710	2,245	2,245	2,245	110
53	2,056	2,056	2,056	2,074	2,074	2,074	2,450	2,450	2,450	205
54	1,378	1,378	1,378	1,537	1,537	1,537	1,868	1,868	1,868	115
55	3,506	3,411	3,506	3,671	3,671	3,671	4,418	4,418	4,418	343
56	2,016	2,352	2,700	2,333	2,669	3,017	3,023	3,359	3,707	223
57	1,049	1,049	1,049	1,279	1,279	1,279	1,251	1,251	1,251	63
58	4,570	4,730	4,912	4,918	5,086	2,560	6,228	6,564	6,912	465
59	3,527	3,863	4,211	3,664	4,000	4,348	4,700	5,036	5,384	293
1960	1,379	1,715	2,063	1,808	2,144	2,492	2,376	2,712	2,060	110
61	1,533	1,869	2,217	1,928	2,264	2,612	2,885	3,221	3,569	122
62	1,397	1,733	2,081	1,701	2,037	2,385	2,690	3,026	3,374	162
63	2,237	2,573	2,921	2,383	2,719	3,067	4,567	4,903	5,251	316
64	1,269	1,605	1,953	1,583	1,919	2,267	2,461	2,797	3,145	182
65	3,181	4,117	4,465	4,442	4,778	5,126	5,592	5,928	6,278	240
66	2,963	3,299	3,647	3,281	3,617	3,965	4,515	4,851	5,199	311
67	8,269	8,605	8,953	8,873	9,209	8,405	10,722	11,058	11,406	675
68	3,976	4,312	4,660	4,605	4,941	5,289	5,614	5,950	6,298	292
69	1,132	1,468	1,816	1,255	1,591	1,439	1,663	1,999	2,347	98
1970	2,050	2,386	2,734	2,546	2,882	3,230	3,526	3,862	4,210	282
71	5,040	5,376	5,724	5,737	6,073	6,421	7,510	7,846	8,194	630
72	1,594	1,960	2,328	1,657	1,993	2,341	2,372	2,708	3,056	93
73	6,284	6,620	6,968	6,485	6,821	7,169	9,199	9,535	9,883	510
74	1,923	2,259	2,607	1,997	2,333	2,681	7,842	3,178	3,536	151
75	2,957	3,293	3,641	3,061	3,397	3,745	4,938	5,274	5,622	348
76	5,695	6,031	6,379	5,881	6,217	6,565	7,321	7,657	8,005	332
77	2,917	3,253	3,601	3,021	3,357	3,705	4,515	4,851	5,199	282
SUMA	82,541	89,765	97,247	90,024	97,248	104,730	119,808	127,190	134,848	7,664
PROM.	2,751	2,992	3,242	3,001	3,242	3,491	3,994	4,240	4,995	255
QNM <sup>3</sup>	87.3	95	103	95.3	102.9	110.9	126.8	134.6	158.6	8.1

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

A N O	ENTRADAS ANUALES EN hm <sup>3</sup>									
	SITIO: S-255 RIO: Santiago PRESA: Cajones			SITIO: S-60 RIO: Santiago PRESA: Aguamilpa			SITIO: S-30 RIO: Santiago PRESA: El Cora			SITIO: B-640 RIO: Bolaños PRESA: Apo- zolco y AZ
	CRITERIO			CRITERIO			CRITERIO			NORMAL
	PESMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	PESMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	PESMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	
1948	3,212	3,548	3,896	9,448	9,784	10,132	10,285	10,285	10,633	
49	2,574	2,574	2,574	6,305	6,305	6,305	6,628	6,628	6,628	484
1950	2,312	2,312	2,312	5,619	5,619	5,619	5,903	5,903	5,903	250
51	2,329	2,329	2,329	4,607	4,607	4,607	4,838	4,838	4,838	346
52	2,576	2,576	2,576	6,294	6,294	6,294	6,612	6,612	6,612	409
53	2,580	2,580	2,580	5,737	5,737	5,737	6,626	6,626	6,626	490
54	2,280	2,280	2,280	6,535	6,535	6,535	6,867	6,867	6,867	488
55	4,572	4,572	4,572	9,189	9,189	9,189	9,659	9,659	9,659	900
56	3,336	3,672	4,020	5,184	5,520	5,868	5,461	5,797	6,145	624
57	1,417	1,417	1,417	2,406	2,406	2,406	3,047	3,047	3,047	176
58	6,740	7,076	7,424	10,303	11,471	10,645	10,673	11,009	11,183	1,173
59	5,259	5,595	5,943	8,678	9,014	9,362	9,140	9,476	9,824	1,048
1960	2,770	3,106	3,454	4,681	5,017	5,365	4,933	5,269	5,617	436
61	3,347	3,683	4,031	6,499	6,835	7,183	6,846	7,182	7,530	811
62	3,168	3,504	3,852	5,939	6,275	6,623	6,257	6,593	6,941	639
63	4,954	5,290	5,638	8,653	8,373	9,121	8,885	9,221	9,569	1,568
64	3,090	3,426	3,774	6,339	6,675	7,023	6,679	7,015	7,366	810
65	6,004	6,340	6,688	8,816	9,152	9,500	9,288	9,624	9,972	1,079
66	5,083	5,419	5,767	8,502	8,838	9,186	8,953	9,289	9,637	1,643
67	10,949	11,283	11,633	14,958	15,289	15,637	15,746	16,082	16,430	1,714
68	6,236	6,572	6,920	10,502	10,838	11,186	11,061	11,397	11,745	1,378
69	2,479	2,815	3,163	5,461	5,797	6,145	5,754	6,090	6,438	304
1970	4,704	5,040	5,388	9,116	9,452	9,800	9,600	9,936	10,284	780
71	8,171	8,507	8,855	12,025	12,361	12,709	12,664	13,000	13,348	1,265
72	3,192	3,528	3,876	6,077	6,413	6,761	6,402	6,738	7,086	327
73	9,590	9,926	10,274	14,138	14,474	14,822	14,886	15,222	15,570	1,762
74	3,530	3,866	4,214	6,204	6,540	6,888	6,534	6,870	7,218	481
75	5,494	5,830	6,178	8,964	9,300	9,648	4,442	9,778	10,126	1,374
76	8,067	8,403	8,751	12,303	12,639	12,987	12,957	13,293	13,641	1,232
77	5,049	5,385	5,733	8,627	8,963	9,311	9,085	9,421	9,769	955
SUMA	135,064	142,456	150,112	238,388	245,612	253,094	250,883	258,107	265,589	24,344
PROM.	4,502	4,749	5,004	7,953	8,220	8,436	8,363	8,603	8,853	839
Q <sub>M</sub> <sup>m3</sup>	143	151	159	2,525	261	267.80	265.5	273.10	281.0	27

TABLA 3-4

## 4. FACTORES DETERMINANTES

### 4.1 Económicos

4.1.1 Los estudios económicos se han realizado con costos y beneficios para el año 1984. Estos datos económicos deberán actualizarse a medida que se desarrollen los estudios de prefactibilidad, factibilidad y proyecto detallado.

Para el análisis de costos y beneficios de cada planta en las fechas en que entrarían en servicio, se ha supuesto una tasa de actualización del 12% anual; por tanto es forma conservadora los valores de los beneficios que una planta rendirá a otras que se construyan posteriormente, y se han afectado de la tasa de actualización.

4.1.2 Respecto a los costos de los combustibles; se ha adoptado el criterio establecido en el programa de Energía de la Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, de 19 de noviembre de 1980, que en su punto 37 dice: "...El precio internacional de los hidrocarburos aumentará en términos reales a una tasa anual de entre 5 y 7% hasta el año 2000' Conservadoramente adoptamos la menor de las tasas y que el precio de los hidrocarburos en el año -- 2000 se mantendrá constante, en atención a una posible competitividad con otras fuentes energéticas. Para analizar la sensibilidad económica de los proyectos consideramos desviaciones de +2% - respecto al valor anterior.

4.1.3 No se prevé el costo de las líneas de transmisión desde las plantas generadoras hasta los centros -

de carga, ya que estos costos no serán significativos porque los centros de carga (Guadalajara, Mazatlán, Tepic) se encuentran relativamente cercanos a las plantas. Por otra parte, la proximidad entre todas las plantas permitirá construir líneas muy cortas que interconecten esas plantas. Por último, es de esperarse que durante el tiempo que tarde en construirse el sistema de plantas hidroeléctricas, también se construirán plantas termoeléctricas o nucleares que necesariamente requerirán líneas de transmisión. Por lo tanto, concluimos que el costo de estas líneas no serán un factor determinante para la factibilidad del sistema.

#### 4.2 Funcionales

4.2.1 Cada planta se beneficiará de la regulación de los escurrimientos que originan los almacenamientos que se encuentren contruidos aguas arriba de ella. Por este hecho, la planta no dependerá sólo de su propia capacidad útil de almacenamiento, sino de su ubicación con respecto a las demás plantas. Además, permite limitar las oscilaciones de su propio embalse, conservando niveles altos con el beneficio inmediato de obtener mayores cargas medias de generación y evitar que se produzcan pérdidas efectivas de potencia (derating) de la planta.

4.2.2 Los beneficios de las plantas dependerán tanto del programa de construcción de la propia planta como del programa de las demás plantas construidas o por construirse aguas abajo de ella. Este criterio nos permite optimizar la prioridad de construcción de las plantas, con base precisamen-

te en factores económicos y funcionales. El programa que resultó satisfactorio para la construcción de las plantas del sistema es el de la gráfica 4-1, pues con él se obtienen los máximos beneficios económicos. La primera planta por construirse será Aguamilpa, que es la de máxima generación y potencia instalada; a continuación cuando Aguamilpa inicie su primer llenado (por tener un gran volumen de almacenamiento muerto y la necesidad de surtir el agua para riego), se continuará con la construcción de la cortina de El Cora.

Esta planta se beneficiará de inmediato con la construcción previa de Aguamilpa, manteniendo la relación beneficio-costos para el conjunto de las dos plantas respecto al que tendrá la planta de Aguamilpa sola; luego, se realizará la construcción de la planta Santa Cruz, porque al quedar terminada, de inmediato beneficiará a la generación de la planta Santa Rosa (de un funcionamiento defectuoso por falta de almacenamiento), Aguamilpa y El Cora.

Por último, cuando se inicie el primer llenado de Santa Cruz, se construirán la cortina de Cajones, para continuar con La Yesca y La Múcura; y las plantas "periféricas" (Apozolco, Agua Zarca y Agua Fría), podrán construirse una vez que estén en servicio todas las plantas del tronco.

#### 4.3 Circunstanciales

- 4.3.1 Existen compromisos de extracción por las compuertas de Poncitlán (origen del Río Santiago) para los siguientes usos: a) Agua potabilizable para -

la zona metropolitana de Guadalajara, b) riego por medio de los canales Atequiza, Zapotlanejo y la - Aurora; c) generación de energía hidroeléctrica - en las plantas El Salto, Puente Grande, Colimilla, Intermedia y Las Juntas; además por estas compuertas se extraen las demásías del Lago Chapala.

El Lago Chapala tiene una extracción muy errática pues los intereses de carácter social y económico de los pueblos ribereños obligan a limitar considerablemente las fluctuaciones del nivel de embalse. Y por último, a pesar de los grandes volúmenes de precipitación directa sobre la superficie del Lago, la enorme pérdida por evaporación, agravada por las bajísimas profundidades medias del lago (6 metros cuando el nivel llega hasta la cota de tasación).

4.3.2 En el tramo de Poncitlán y la confluencia del Río Santiago con el Río Verde se construyeron las siguientes plantas hidroeléctricas que se enumeran con sus características principales:

PLANTA	CARGA ESTÁTICA (m)	CAUDAL DE DISEÑO (m <sup>3</sup> /s)	POTENCIA INSTALADA MW	GENERACION MEDIA ANUAL APROX. (Gwh)
El Salto	20	15	3	20
Puente Grande	71	45	23	70
Colimilla	127	54	51	210
Intermedia (Luis M. Rojas)	22	38	5	30
Las Juntas	62	32	15	70
T O T A L E S :			97	400

La potencia y generación totales son pequeñas en comparación con el potencial total aguas abajo de la confluencia citada, pero su existencia y conservación de estas plantas son de mucho valor para el sistema por su gran cercanía al mayor centro de carga (Guadalajara) para operar como plantas de pico durante los períodos secos, ya que requieren solamente pequeñas dotaciones.

- 4.3.3 La C.F.E. tiene en proyecto la construcción de una planta hidroeléctrica con el nombre de "Picos de Guadalajara" o "Agua Prieta", la que aprovechará las aguas que descargan los colectores de esa población en el arrollo de Atemajac y, después de una conducción al punto apropiado, se utilizarán en generación hidroeléctrica con una caída bruta de 540 m cuyo nivel de desfogue será la cota 920 m.s.n.m.

Mediante esta planta podrán absorberse las necesidades de potencia de pico y reservas regionales durante varios lustros.

- 4.3.4 La Planta M. M. Diéguez (Santa Rosa) tiene una potencia instalada de 61 MW y una generación media-anual de 323 GWh. Esta presa ha operado con grandes volúmenes de derrame, debido a lo reducido de su vaso de almacenamiento (290 hm<sup>3</sup> útiles contra un escurrimiento medio anual superior a los 3000-hm<sup>3</sup>) y a lo limitado de la potencia instalada. De construirse un vaso de almacenamiento con gran volumen útil aguas arriba, mejora en lo futuro el rendimiento de esta planta.

- 4.3.5 La C.F.E. ha realizado estudios de factibilidad -

para la construcción de la planta Aguamilpa, aguas abajo de la confluencia del Río Santiago con el - Huaynamota. La boquilla que hasta ahora parece ofrecer la máxima economía global es la denominada "El Sordo"; en ese sitio, la elevación del fondo del río corresponde a la cota 60 msnm, y el nivel máximo de descarga de las turbinas se ha previsto a la cota 63.50 m.

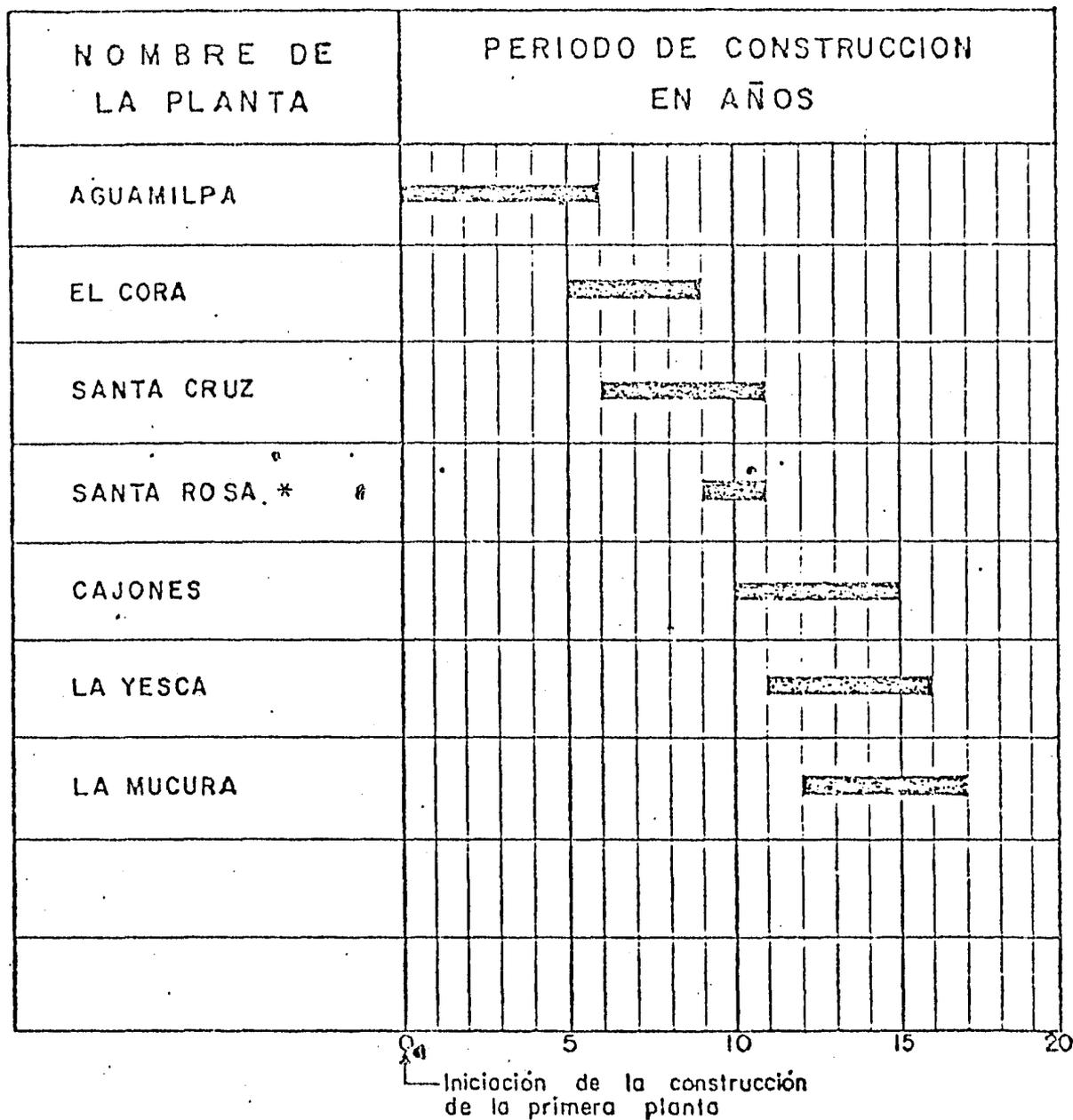
Los estudios realizados recomiendan la construcción de una cortina con algo más de 200 m de altura desde el desplante a la corona,  $9000 \times 10^6 \text{ m}^3$  de almacenamiento total, de los cuales 5000 serían útiles y 2000 se destinarían a control de avenidas; la cortina tendría un volumen de materiales de 31 millones de metros cúbicos, y el nivel de la corona quedaría a la cota 250.50 m.

En el presente estudio se ha respetado la boquilla seleccionada para la cortina, pero se han hecho análisis para determinar el volumen óptimo de almacenamiento considerando esta planta como parte de un sistema general, lo cual es distinto a considerar la planta en forma aislada. Asimismo, el factor de planta de este aprovechamiento debe revisarse a la luz de lo indicado en el punto 4.3.2 así como de los bajos costos de instalación de cada unidad de potencia en la planta Agua Prieta.

- 4.3.6 Aguas abajo del sitio "El Cora" (S-30) se ha construido un sistema de riego con grandes perspectivas de ampliarse, que aprovecha las aguas del Río Santiago mediante derivaciones y canales en ambas márgenes del río. Cualquier obra de la parte media y baja del cauce debe tomar en cuenta los re-

quisitos de agua que origina este sistema que a la fecha se desperdicia la mayor parte de los caudales del Río Santiago, a la altura de las derivaciones correspondientes a este sistema de riego, por falta de almacenamiento de los escurrimientos de la época de lluvias, y solo se aprovechan en riego los escurrimientos de estiaje en este río.

PROGRAMA PROPUESTO PARA LA CONSTRUCCION  
DE LAS PLANTAS DEL TRONCO DEL RIO SANTIAGO



\* Presa ya construida; las obras solo se refieren al sobreequipamiento de la planta.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

GRÁFICA 4-1

## 5. DEFINICION DEL SISTEMA

### 5.1 Proyectos Obligados

5.1.1 La existencia de 185 m de desnivel entre el nivel de aguas máximas de la presa Santa Rosa (cota 735 aproximadamente) y el nivel de Descarga de Agua - Prieta que está planeado a la cota de 920 m permitiría la construcción económica de una o dos nuevas plantas. De optarse por dos aprovechamientos, éstos tendrían cortinas con alturas medias de 90 m y volúmenes pequeños de almacenamiento en relación al escurrimiento medio anual del río en ese tramo y en este caso se tendrían los mismos problemas - que actualmente aquejan a la presa Santa Rosa por falta de capacidad suficiente de almacenamiento. Por lo cual, será necesario construir un solo aprovechamiento con un vaso de almacenamiento que permita una adecuada regulación de los volúmenes escurridos en períodos de lluvia y durante las crecientes. Para cumplir estos requisitos, es imprescindible que la presa tenga una altísima cortina, con altura hidráulica no mayor de 185 m pero no menor de 140 m y esta regularización estacional de los escurrimientos beneficiarán a todas las plantas del tronco del río situadas aguas abajo.

En la "cola" del vaso Santa Rosa existen boquillas que bajo el aspecto topográfico, son suficientemente estrechas para justificar la construcción de una cortina y probablemente satisfagan las condiciones geológicas necesarias de resistencia e impermeabilidad.

5.1.2 Conforme a los estudios realizados hasta la fecha,

el sitio El Sordo resulta el más conveniente para la presa Aguamilpa ya que el nivel de aguas de desfogue varía de la cota 61 a la 64 msnm, aguas-abajo de esta presa se recomienda construir una planta hidroeléctrica de caída moderada para aprovechar en todo lo posible la energía potencial -- del agua.

La boquilla ideal está situada ligeramente aguas-arriba del sitio denominado "Vado El Cora", localizado unos 6 kms. aguas arriba del poblado "El Tambor". En ese lugar, la elevación de aguas mínimas del Río Santiago es la cota 30 m. aproximadamente.

Hacia aguas abajo del sitio El Cora no existen boquillas lo suficientemente estrechas para localizar una cortina y además se tienen poblaciones y construcciones que se afectarían. Por el contrario, aguas arriba se localizan muy buenas boquillas, pero en cambio presentan el inconveniente de que se pierde una carga considerable lo que la hace incosteable.

El mayor problema para la construcción de la cortina en el sitio El Cora es la existencia de un tramo de vía del Ferrocarril del Pacífico, desde este sitio a la estación Roseta, se tienen 11 kms de longitud.

- 5.1.3 En el Río Juchipila existe un sitio ideal denominado "La Boquilla" que puede ser aprovechable por estar dentro del vaso "Santa Cruz" (cualquiera que sea la altura que se de a la cortina) y por otro lado, en ese tramo se tiene una fuerte pendiente en una topografía estrecha. Al ubicar la cortina

en una zona intermedia del cauce del río, se afectarían tierras de labor de los poblados Moyahua y Juchipila, y para evitar problemas de afectaciones costosas y sociales, sólo queda disponible el sitio Agua Fría (J-1020) que tendrá un almacenamiento útil de  $340 \text{ hm}^3$  y una altura hidráulica de 140m.

## 5.2 Proyectos o Tramos del Río con Alternativas

5.2.1 El desfogue de Santa Rosa queda a la cota 640 m.- aproximadamente y el nivel de aguas máximas extraordinarias de la presa Aguamilpa (en el sitio "El Sordo") para un almacenamiento de  $9000 \text{ hm}^3$ , será la cota de 245 m; o para  $6000 \text{ hm}^3$  será la cota de 220 m. Tomando en cuenta condiciones prácticas a la conveniencia de tener pocas plantas de gran capacidad en vez de muchas plantas pequeñas, resulta adecuada la construcción de dos, tres o cuatro presas.

5.2.2 Sobre el Río Bolaños existe una boquilla a la elevación de 640 m. la cual se ha denominado "Apozolco", cuyo nivel de aguas máximas será la cota 790 msnm, con lo que se evita inundar la población de San Martín Bolaños, se propone un almacenamiento útil de  $1030 \text{ hm}^3$ .

## 5.3 Análisis de Alternativas

5.3.1 En el desnivel de 400 a 420 m. del desfogue de Santa Rosa y el embalse máximo de Aguamilpa, pueden construirse dos, tres o cuatro presas. De estas alternativas se ha escogido la de tres presas por las siguientes razones:

- a) La altura media hidráulica de las cortinas resulta de 130 a 140 m., lo que permitirá su construcción con volúmenes razonables.
- b) En el extremo inferior, existe una serie de boquillas que reciben el nombre de Cajones 1, 2 y 3, de las cuales puede escogerse la que presente mejores condiciones, tanto de nivel de fondo como topográficas y geológicas. En el tramo intermedio se localiza la boquilla conocida como "La Yesca" situada un poco aguas abajo de la confluencia con el Río Bolaños; además de ser estrecha, es eficiente porque se aloja en el cauce del Río Santiago como en el del Bolaños. En el extremo superior se encuentra la boquilla conocida como La Múcura, que es muy satisfactoria bajo los aspectos de topografía y geología preliminar.
- c) Los planteamientos con dos y con cuatro aprovechamientos no presentan condiciones especiales que los favorezcan, sino que las boquillas en los sitios correspondientes son menos estrechas que las consideradas para el caso de tres presas.

En consecuencia de lo anterior, se planeó en el tramo Santa Rosa y Aguamilpa la construcción de tres aprovechamientos con los nombres de "Cajones", "La Yesca" y "La Múcura" desde aguas abajo hacia arriba, correspondiendo el nivel máximo de embalse de cada presa de aguas abajo que es sensiblemente el desfogue de la presa situada aguas arriba.

5.3.2 En el río Bolaños se tiene solo una presa en el -

sitio Apozolco que tendría un amplio almacenamiento para una cortina de altura moderada. Para -- aprovechar este vaso en su totalidad, conviene que almacene no solamente las aguas del afluente, sino además, aguas del tronco del Río Santiago cuando - por éste escurren sobrantes. La idea es, si un - poco abajo del NAMO de la presa La Yesca se construye una planta de bombeo y enseguida una presa-intermedia cuyo nivel de embalse coincida con la cota 640 m, la presa "Agua Zarca" permitirá retener aguas bombeadas del vaso "La Yesca" para almacenar en Apozolco en forma estacional.

Este sistema continuado de La Yesca-Agua Zarca - Apozolco aparentemente es un tanto complicado, - pero si se compara con varios aprovechamientos europeos que tienen numerosos escalones de bombeo y larguísimos acueductos de conducción con extensos túneles, resulta ser éste el menos complejo.

- 5.3.3 No se propone la construcción de aprovechamientos sobre el Río Huaynamota por no existir boquillas-respaldadas por amplios vasos.

#### 5.4 Definición del Sistema

- 5.4.1 Las gráficas 5-1 y 5-2 muestran dos alternativas de arreglos propuestos desde la confluencia del - Río Santiago con el Río Verde hasta la presa más baja que puede construirse (El Cora). Constan de siete presas en el Río Santiago de las cuales una (Santa Rosa) ya está construida.

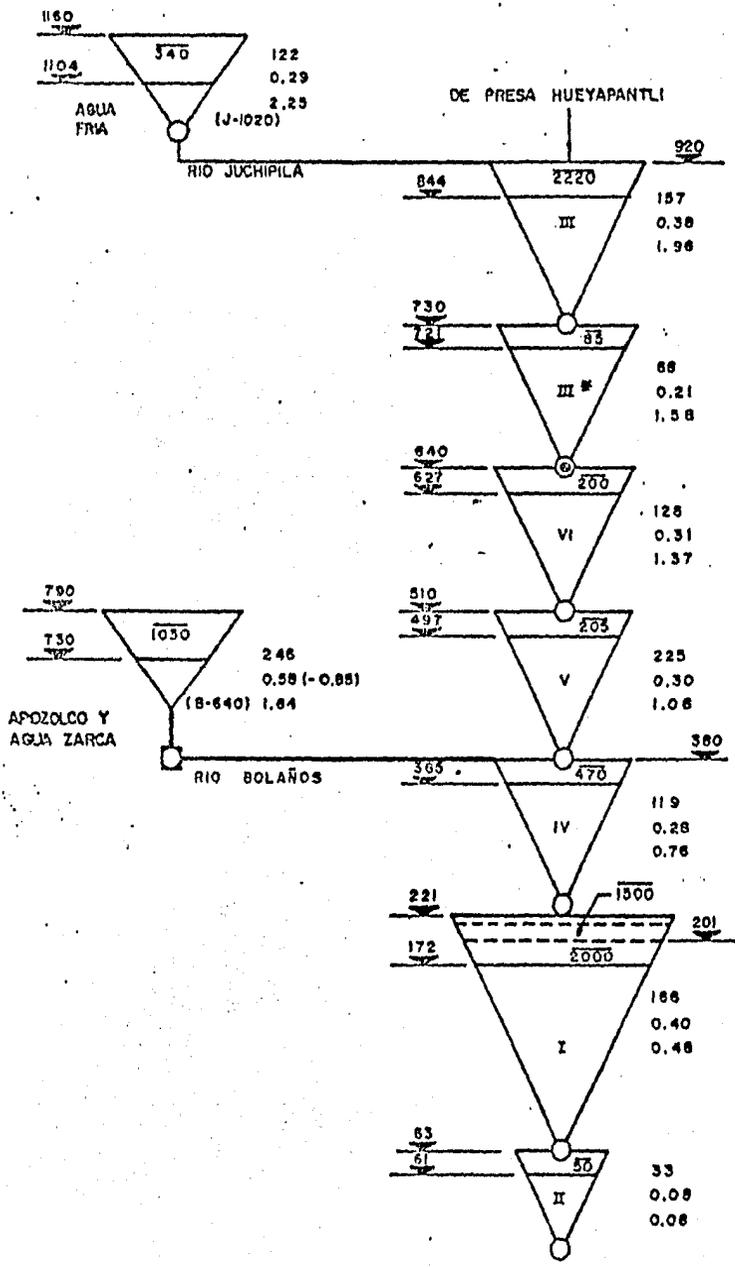
Las curvas elevaciones-áreas-capacidades se muestran en las gráficas 5-3 a 5-10 para las presas - del tronco del Río Santiago y las gráficas 5-11 a

5-13 de las periféricas (Bolaños y Juchipila).

Las nuevas presas, a excepción de El Cora, tendrán cortinas con una altura hidráulica de 130m a 185m.

- 5.4.2 En el Río Bolaños se consideran dos aprovechamientos concatenados, el más alto y de amplio almacenamiento es el Apozolco (del Río Bolaños y La Yesca del Río Santiago); el más bajo Agua Zarca que constituye un escalón intermedio entre Apozolco y La Yesca.

En el Río Juchipila se prevé un solo aprovechamiento, el de Agua Fría. De construirse este aprovechamiento, deberá estudiarse la posibilidad de complementarlo con un túnel para alojar una tubería de presión de unos 4 km de longitud que permitirán aumentar la caída en 60 m. aproximadamente.



**CLAVES**

- 157 CAIDA MEDIA
- 0.38 Kwh PRODUCIDOS (-CONSUMIDOS) POR m<sup>3</sup> CAIDA MEDIA.
- 1.96 Kwh PRODUCIDOS POR m<sup>3</sup> EN TODAS LAS CAIDAS, HASTA EL CORA.
- FUTURA PLANTA DE BOMBEO Y GENERACION
- FUTURA PLANTA GENERADORA
- ▽ VASO
- 2220 CAPACIDAD UTIL DEL VASO EN Hm<sup>3</sup>
- Ⅴ ORDEN DE CONSTRUCCION
- ⊙ PLANTA GENERADORA EXISTENTE
- \* SE REFIERE AL SOBRE-EQUIPAMIENTO

1160  
1104  
122  
0.29  
2.23  
920

844  
2220  
157  
0.38  
1.96

730  
721  
83  
68  
0.21  
1.58

640  
627  
200  
128  
0.31  
1.37

510  
497  
203  
225  
0.30  
1.08

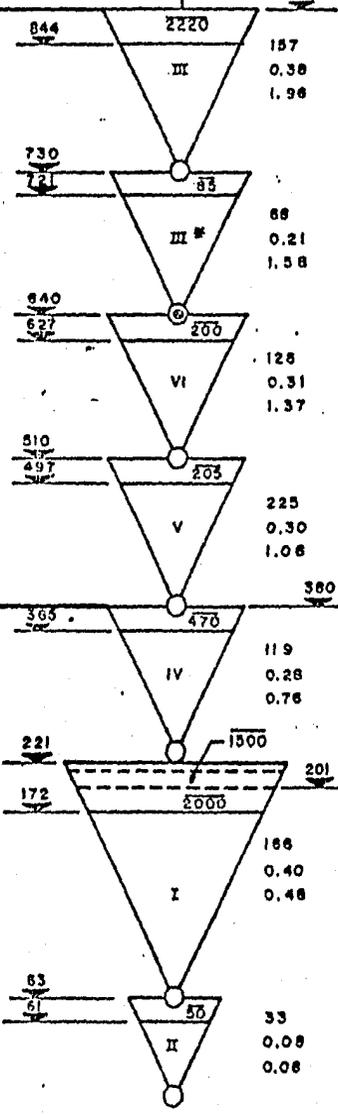
365  
470  
119  
0.28  
0.76

221  
172  
1500  
201  
2000  
166  
0.40  
0.48

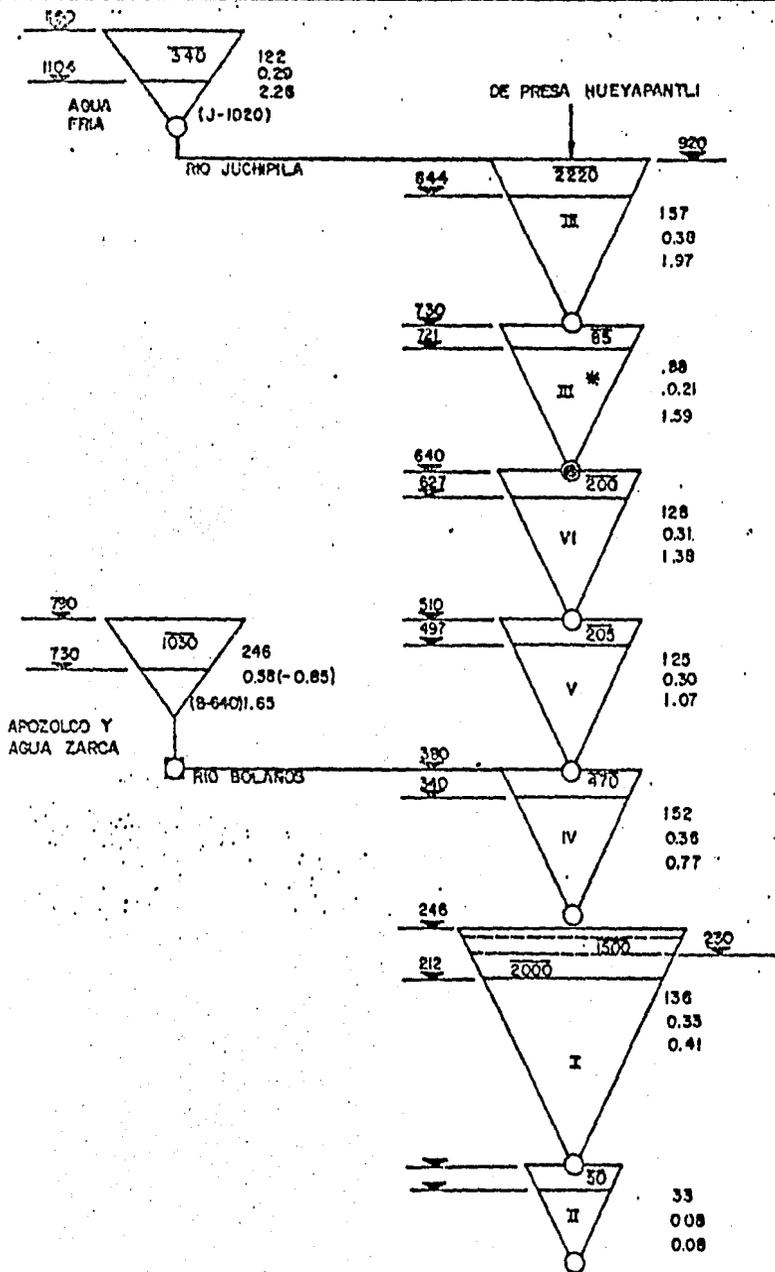
63  
61  
50  
33  
0.09  
0.08

1160  
1104  
122  
0.29  
2.23

790  
730  
1030  
246  
0.58 (-0.85)  
(8-640) 1.64



ESTUDIO DE GRAN VISION  
DEL RIO SANTIAGO  
ALTERNATIVA AGUAMILPA "BAJA"  
GRAFICA 5-1



SANTA CRUZ (S-750) (OTRO)

SANTA ROSA (S-640)

LA MUCURA (S-510)

LA YESCA (S-380)

CAJONES (S-255)

ALTERNATIVA "BAJA"

AGUAMILPA ALTERNATIVA  
"ALTA" (S-60)

EL CORA (S-30)

CLAVES

157 CAIDA MEDIA

0.39 KwH PRODUCIDOS (- CONSUMIDOS) POR m<sup>3</sup>, EN CAIDA MEDIA

1.97 KwH PRODUCIDOS POR m<sup>3</sup> EN TODAS LAS CAIDAS, HASTA EL CORA.

□ FUTURA PLANTA DE BOMBEO Y GENERACION

○ FUTURA PLANTA GENERADORA

▽ VASO

2220 CAPACIDAD UTIL DEL VASO EN .Hm<sup>3</sup>

V ORDEN DE CONSTRUCCION

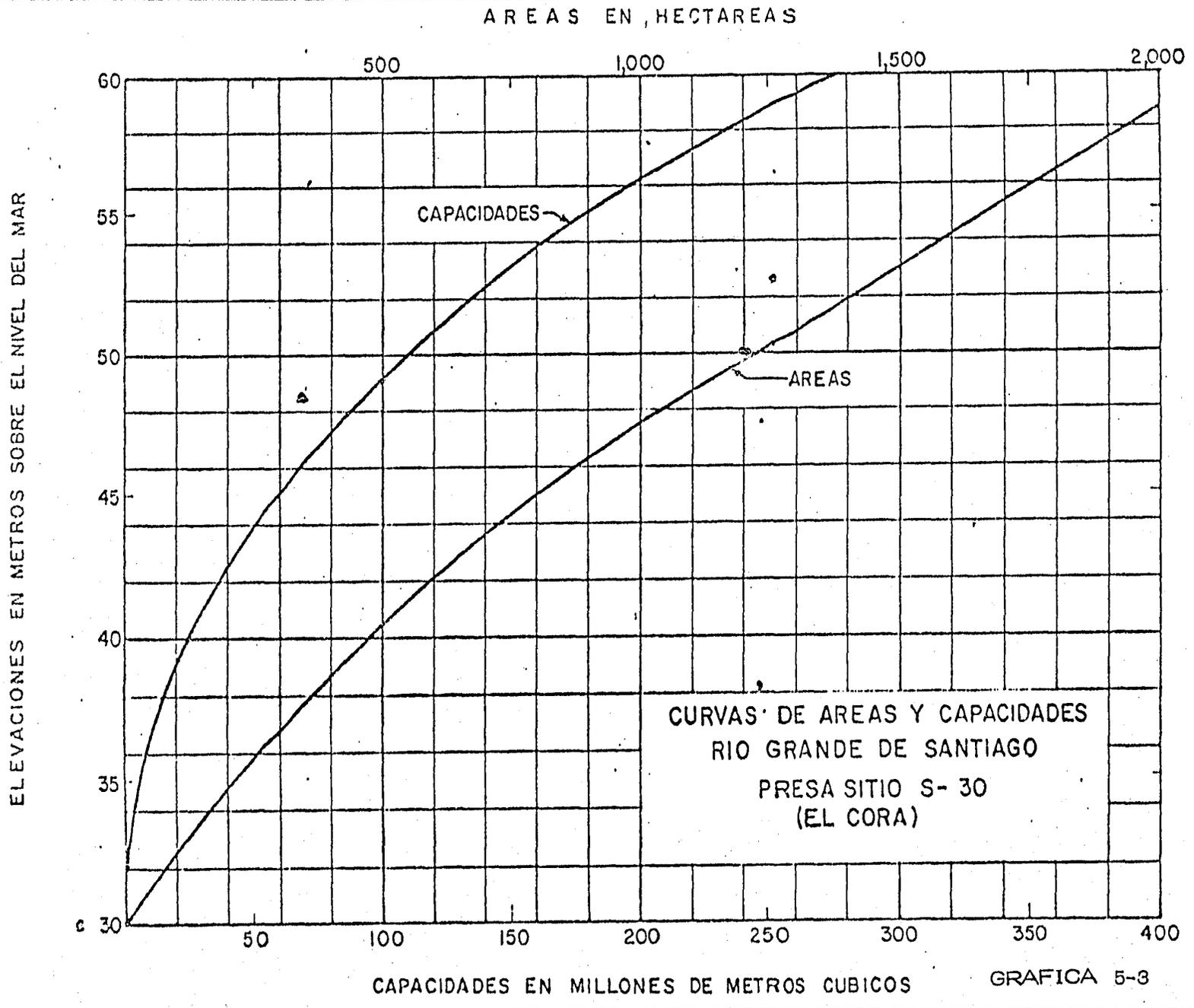
⊙ PLANTA GENERADORA EXISTENTE

\* SE REFIERE AL SOBRE-EQUIPAMIENTO

ESTUDIO DE GRAN VISION  
DEL RIO SANTIAGO

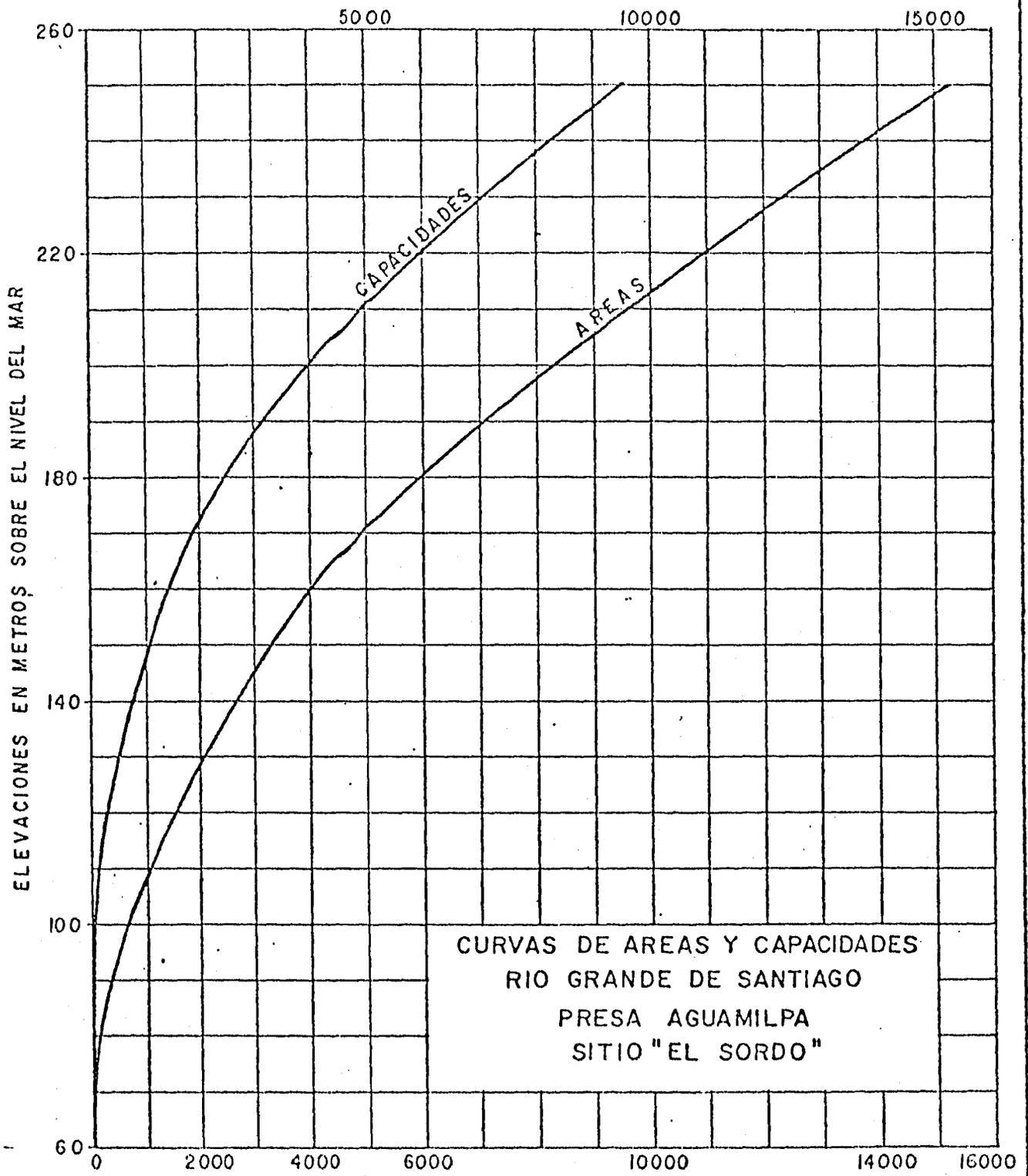
ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"

GRAFICA 5-2



CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
 RIO GRANDE DE SANTIAGO  
 PRESA SITIO S-30  
 (EL CORA)

AREAS EN HECTAREAS

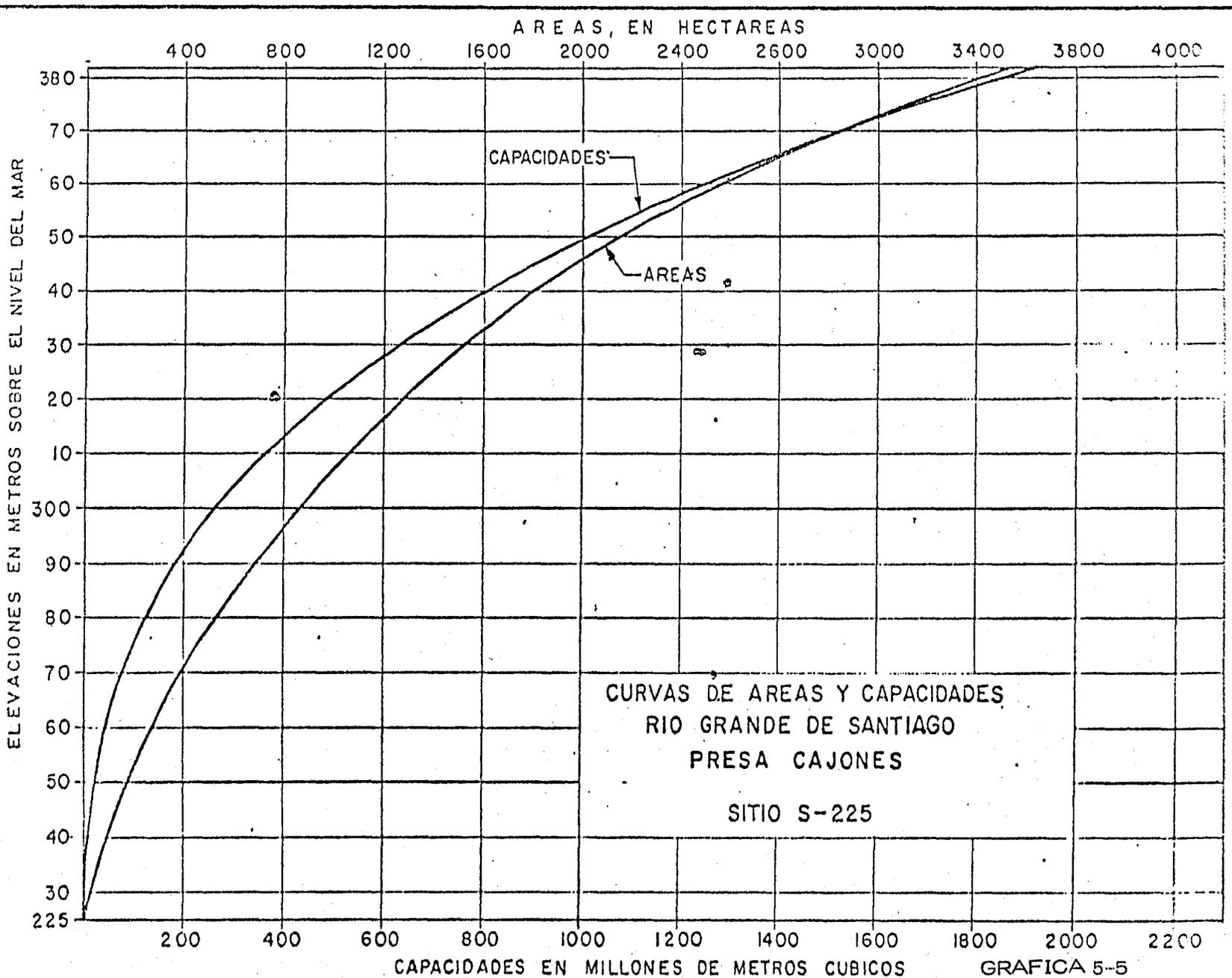


CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
RIO GRANDE DE SANTIAGO  
PRESA AGUAMILPA  
SITIO "EL SORDO"

CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS

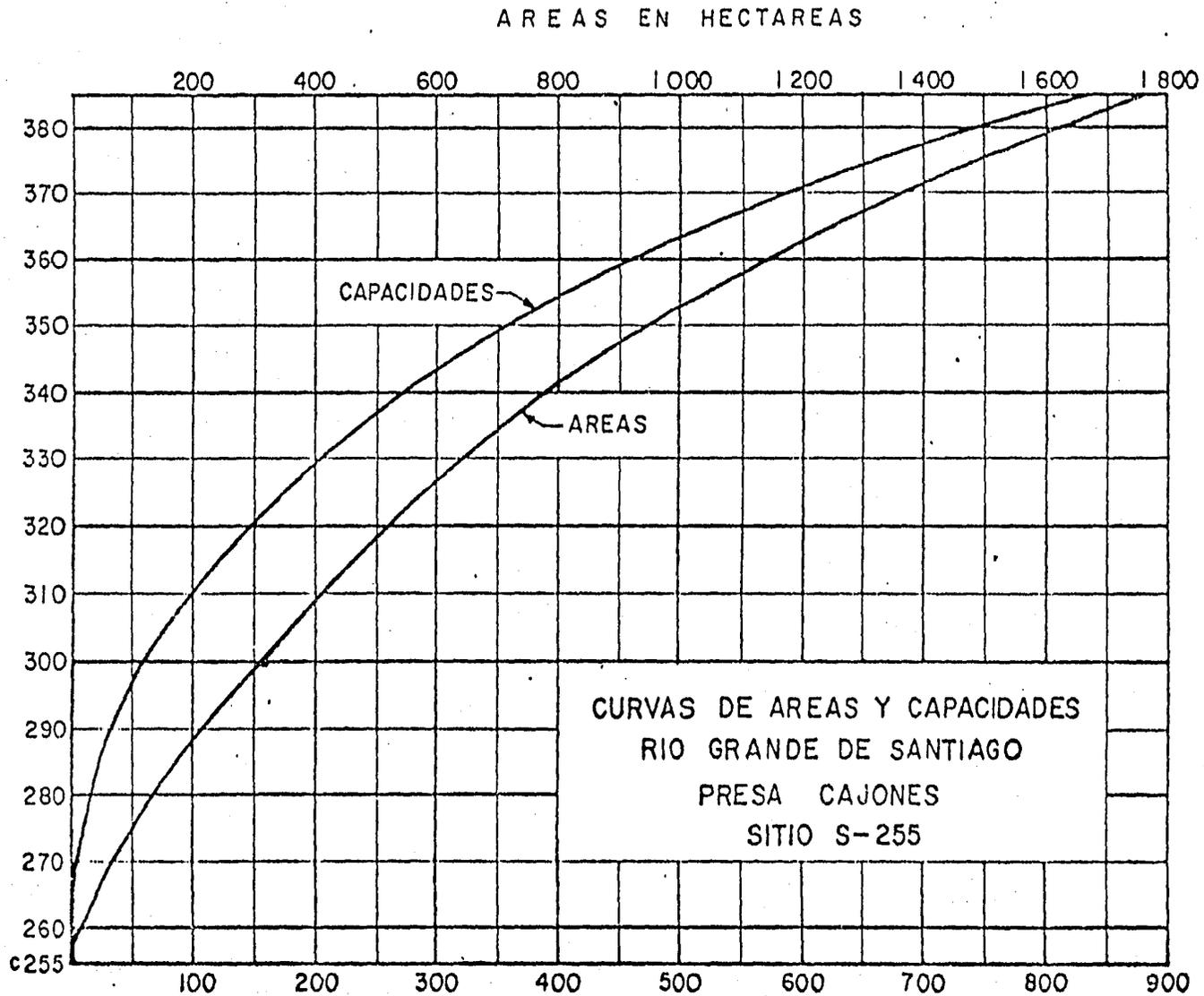
TOVADO DEL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE MAYO  
DE 1980 Y CORREGIDO EN LA CURVA DE AREAS

GRAFICA 5-4



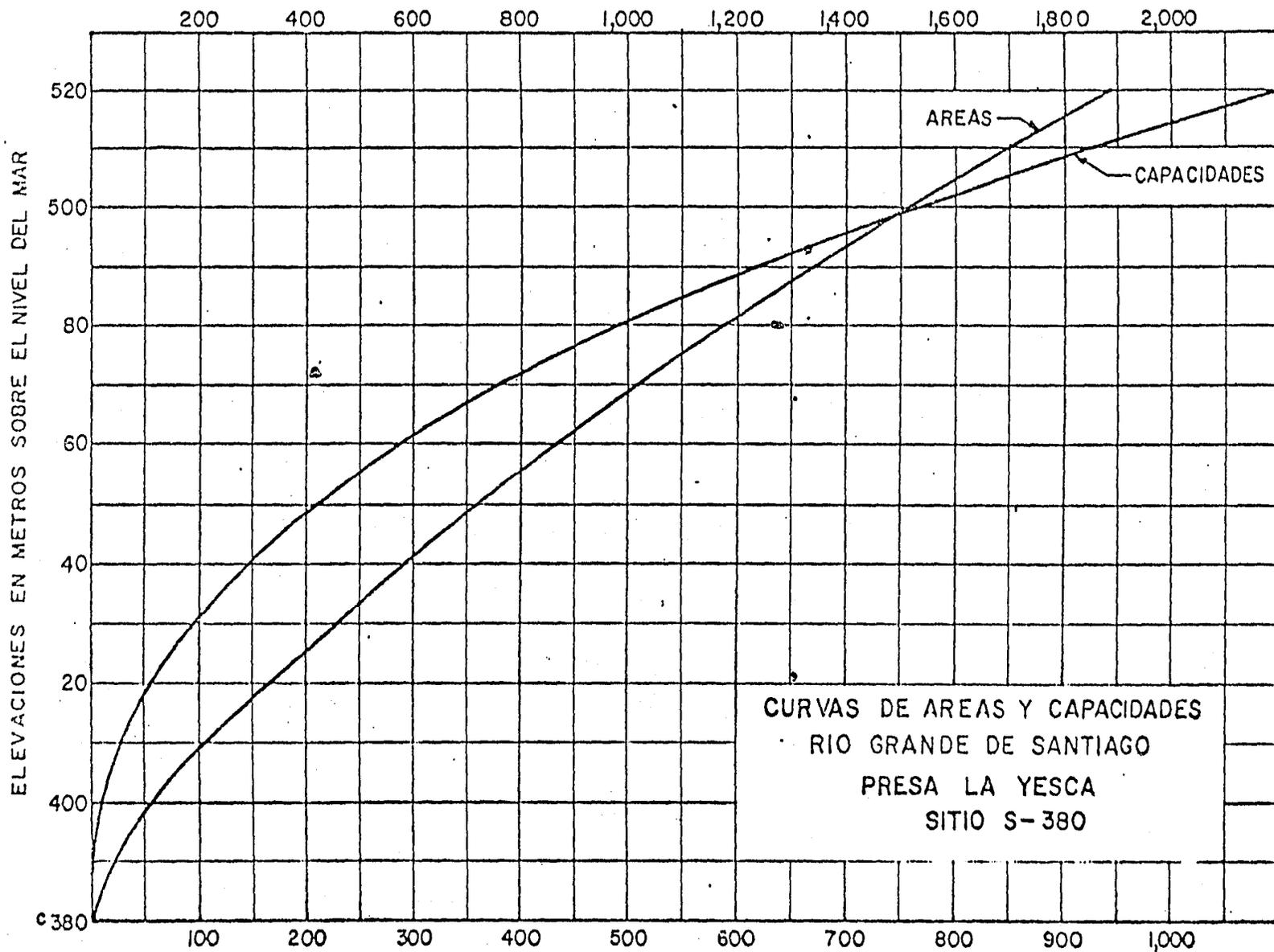
CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
 RIO GRANDE DE SANTIAGO  
 PRESA CAJONES  
 SITIO S-225

ELEVACIONES EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR



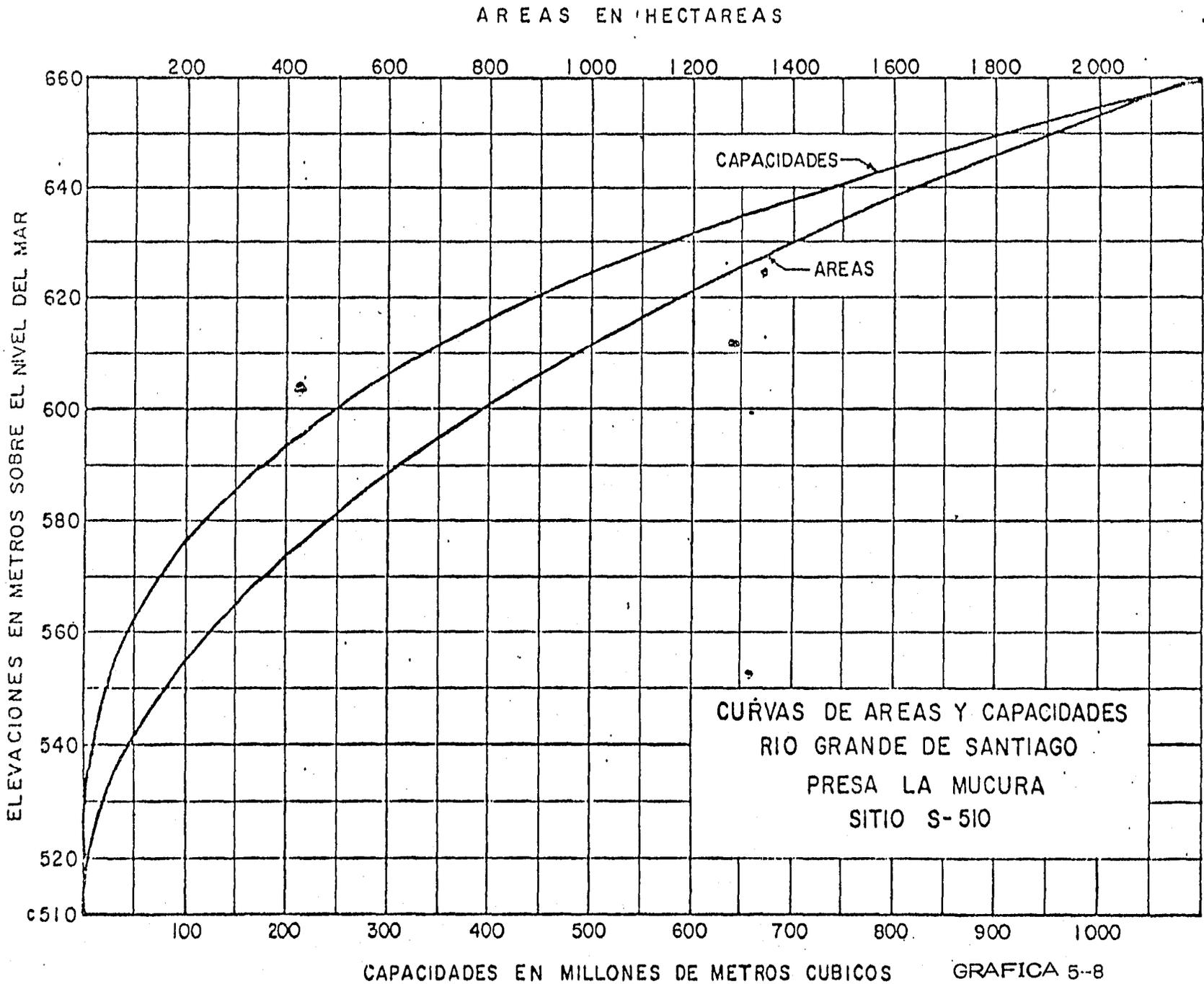
GRAFICA 5-6

AREAS EN HECTAREAS



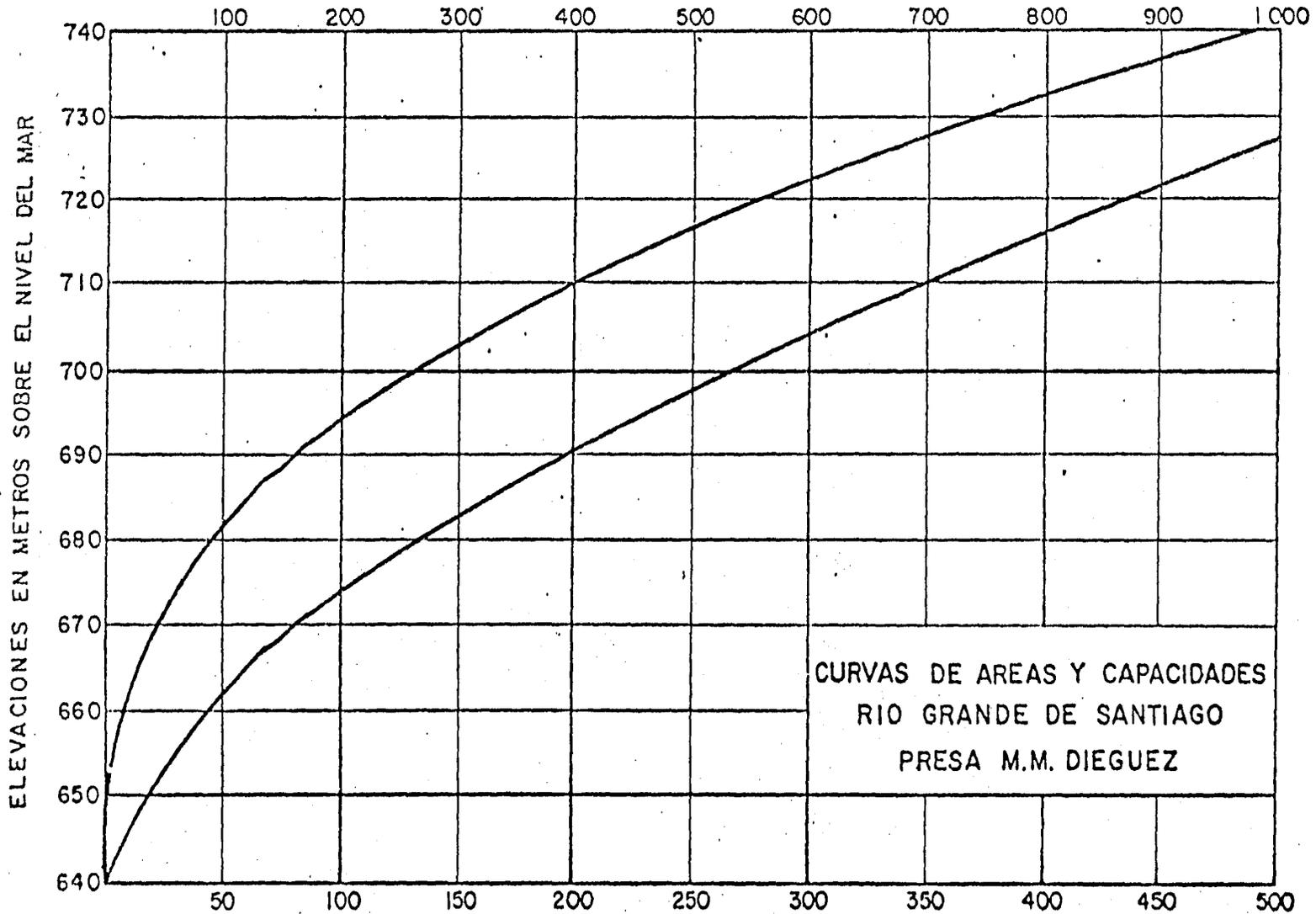
CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS

GRAFICA 5-7



CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
 RIO GRANDE DE SANTIAGO  
 PRESA LA MUCURA  
 SITIO S-510

AREAS EN HECTAREAS



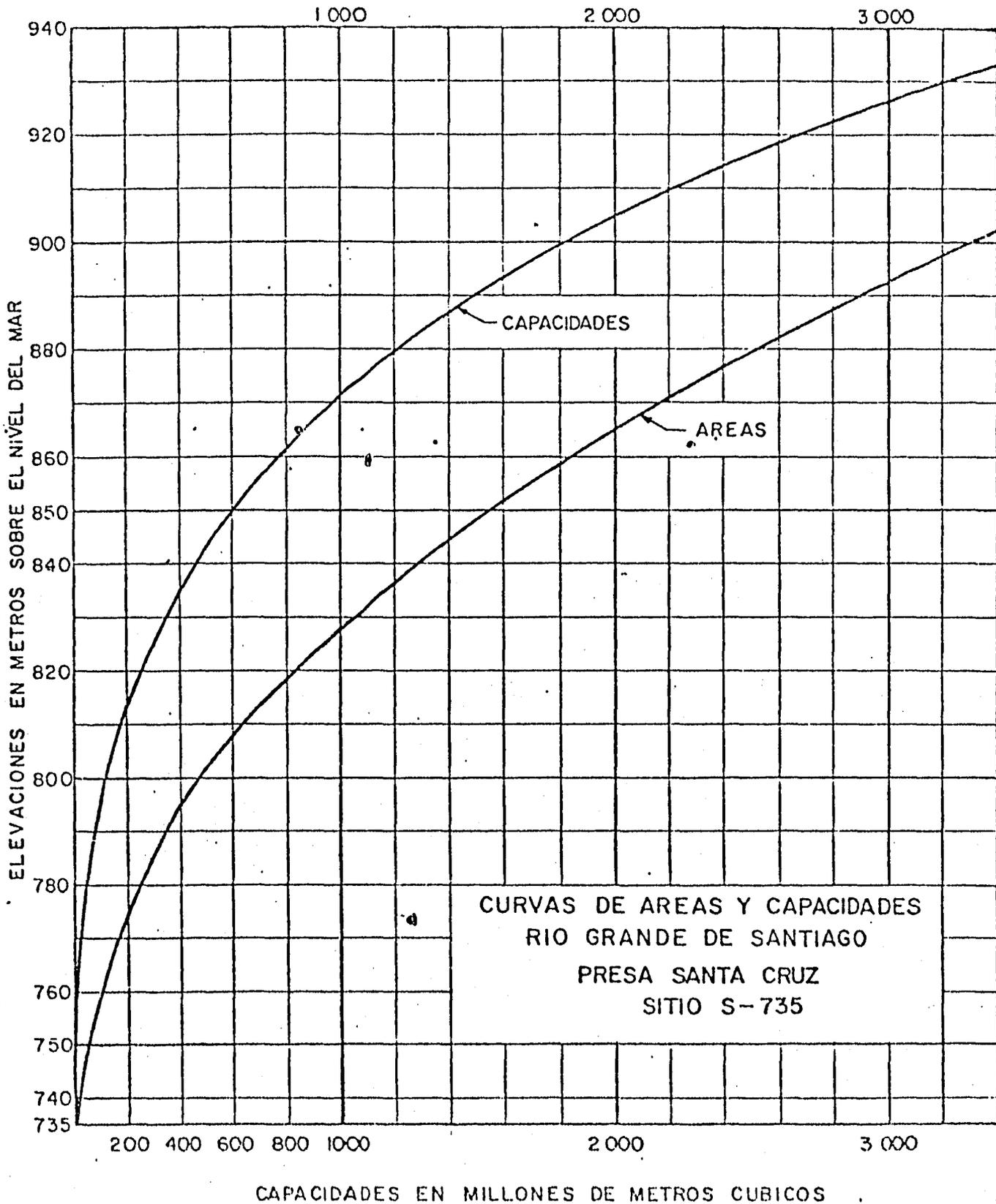
CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
RIO GRANDE DE SANTIAGO  
PRESA M.M. DIEGUEZ

NIVELES APROXIMADOS REFERIDOS A ALTURAS SOBRE EL MAR.-IGUALDAD A APROXIMADA: 650 DE LOS BOLETINES HIDROLOGICOS 640 DE ESTE ESTUDIO.

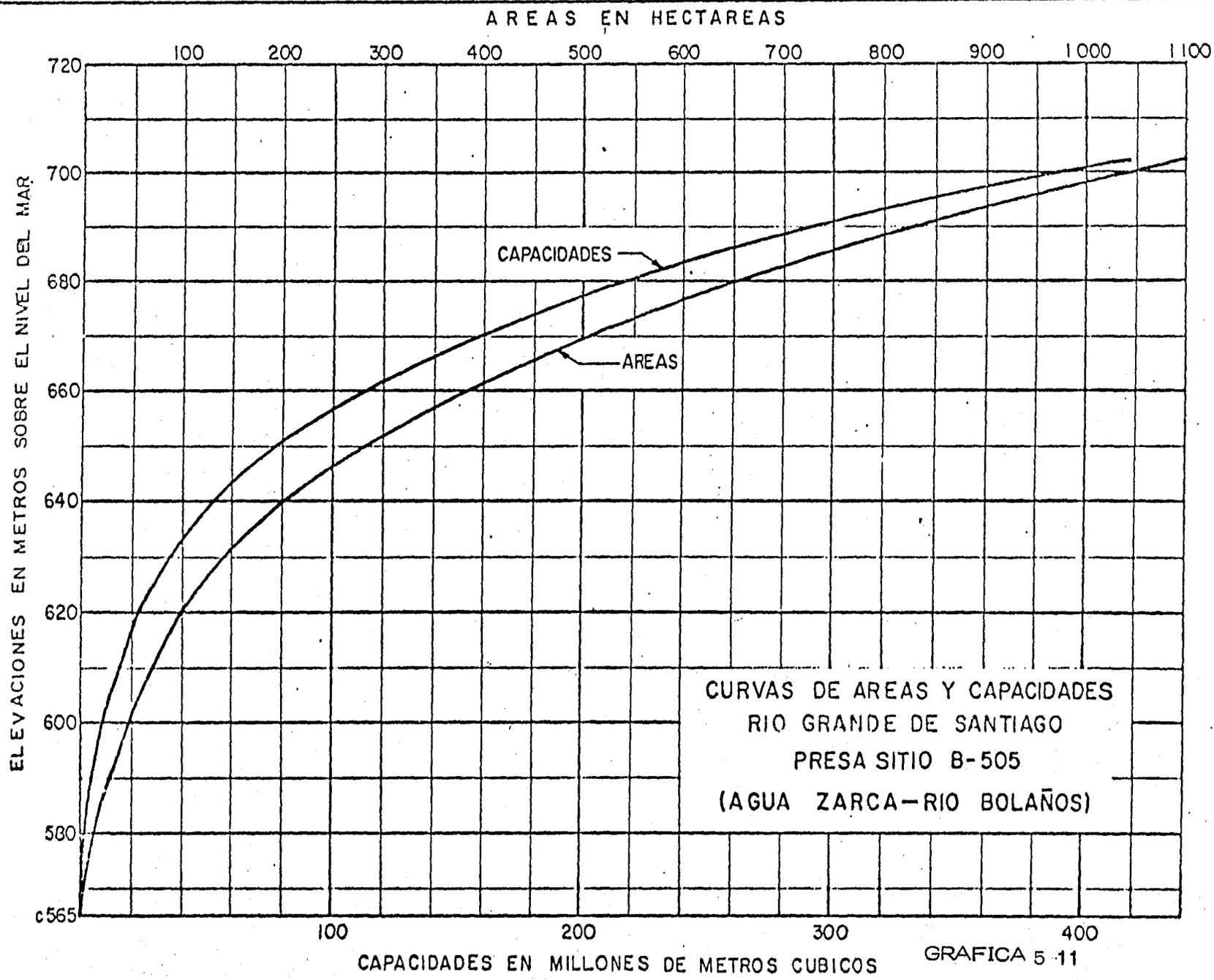
CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS

GRAFICA 5-9

AREAS EN HECTAREAS

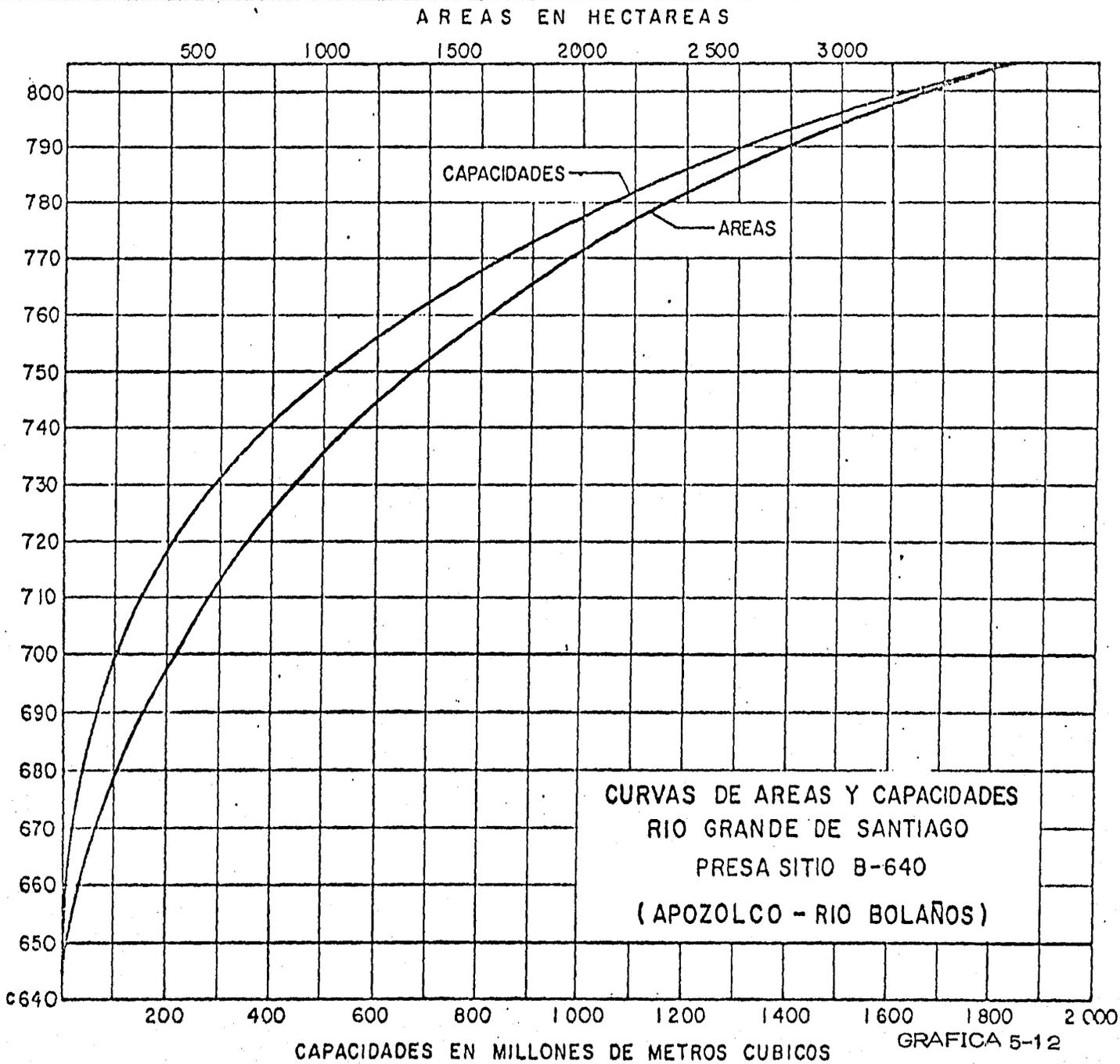


CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
RIO GRANDE DE SANTIAGO  
PRESA SANTA CRUZ  
SITIO S-735



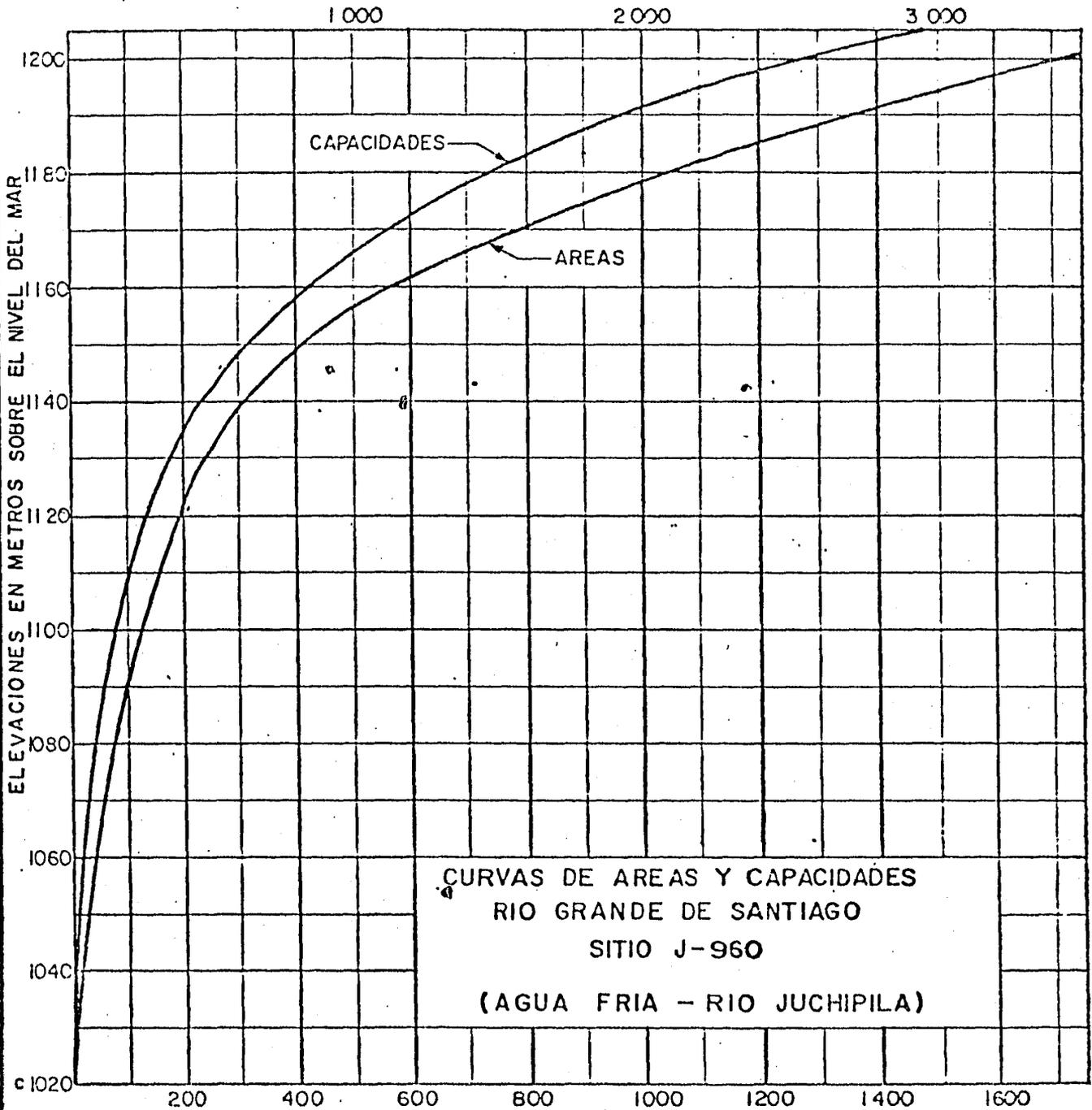
CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
 RIO GRANDE DE SANTIAGO  
 PRESA SITIO B-505  
 (AGUA ZARCA-RIO BOLAÑOS)

ELEVACIONES EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR



GRAFICA 5-12

AREAS EN HECTAREAS



CURVAS DE AREAS Y CAPACIDADES  
RIO GRANDE DE SANTIAGO  
SITIO J-960

(AGUA FRIA - RIO JUCHIPILA)

CAPACIDADES EN MILLONES DE METROS CUBICOS

GRAFICA 5-13

## 6. DESCRIPCION Y COSTOS DE LOS PROYECTOS DETERMINANTES

### 6.1 Proyectos del Tronco del Río Santiago

#### 6.1.1 Aguamilpa

##### a) Descripción

De los sitios estudiados, el que ofrece las mejores ventajas para alojar la cortina, es el denominado "El Sordo", que corresponde a la localización hacia aguas abajo.

De acuerdo a los estudios realizados, la cortina será de materiales graduados, desplantada en roca sana a la cota 48 m, unos doce metros abajo del cauce. La casa de máquinas será subterránea, en la margen izquierda del río, con tomas independientes para cada una de las cuatro unidades turbogeneradoras. La obra de desvío estará integrada por tres túneles de 15 m. de diámetro cada uno, situados en la margen derecha y la obra de excedencias estará formada por 3 túneles de 13 m de diámetro, provistos de dos compuertas radiales para cada túnel.

Conforme el estudio de factibilidad realizado para esta presa, aisladamente, se consideraron almacenamientos totales de 5000, 7000, 9000 y 11000  $\text{Hm}^3$ , de los cuales se reservaron 2000  $\text{Hm}^3$  para almacenamiento muerto y otros 2000  $\text{Hm}^3$  para control de avenidas quedando solo 1000, 3000, 5000 y 7000  $\text{Hm}^3$  como almacenamientos útiles. Aplicando los datos de costos y los principios de análisis establecidos en el informe de factibilidad de mayo de 1980, la solución con mayor relación beneficio/--

costo resultó el de 9000 Hm<sup>3</sup> seguida de cerca por las soluciones de 11000 y 7000 Hm<sup>3</sup> de almacenamientos totales.

La potencia por instalar variará entre 500 y 900 MW según la altura de cortina que se llegue y el factor de planta que resulte conveniente. Cabe señalar que los factores de planta de los aprovechamientos en el tronco del Río Santiago serán relativamente altos, porque los picos quedarán cubiertos al construirse Agua Prieta, máxime que esta planta puede tener instalaciones para funcionar como planta de acumulación o rebombéo.

b) Análisis dentro de un sistema hidroeléctrico

Al quedar integrada la presa Aguamilpa dentro de un sistema de presas en cadena, las premisas de análisis varían considerablemente respecto de las que se analizan aisladamente. Por otra parte el volumen de almacenamiento para control de avenidas resulta indispensable en los meses con alta probabilidad de ocurrencia (ver la gráfica 6-1 donde se aplicó este criterio). Este análisis tiende a reducir el volumen económico de almacenamiento total, respecto al que no permite ocupar el volumen destinado al control de avenidas.

c) Costos del Proyecto

Los costos de las alternativas se han calculado con precios de 1984 basados en el análisis de factibilidad de mayo de 1980, se afectaron ligeramente las partidas correspondientes a obra de desvío, obra de toma para generación y vertedor de demasías para tomar en cuenta la variación según el

volumen de cortina y almacenamiento total. En la tabla 6-1 se detallan los costos de las alternativas.

#### 6.1.2 El Cora

##### a) Descripción

El sitio de la cortina es un aprovechamiento del cauce situado ligeramente aguas arriba del poblado "Vado El Cora". El fondo del cauce estará situado aproximadamente a la cota 30 msnm. La elevación del NAMO quedará a la cota 64 m, correspondiente al nivel máximo de desfogue de la presa Aguamilpa para el sitio "El Sordo". El NAME quedará a la elevación 65 m. aproximadamente, y la corona de la cortina a la elevación 70m.

La cortina será de materiales graduados, con una altura hidráulica de 35 m, altura de la corona - al desplante de los embrocamientos de 48m y una altura al desplante del corazón impermeable aún no determinada por desconocerse el espesor del material de acarreo en el sitio. La longitud de la corona será de 720 m y sus taludes 2:1.

La casa de máquinas podrá alojarse en la margen izquierda, si se construye superficial, o bien, en la derecha si resulta subterránea. El vertedor de demasías puede estar situado en la margen izquierda, a un kilómetro de la cortina, y con un nivel natural a la cota 70.0 m aproximadamente, como solución se requiere relocalizar el poblado Vado El Cora, de unas 20 casas. Existe la posibilidad de alojar el vertedor al extremo de la margen izquierda de la cortina.

Se prevé localizar la obra de desvío sobre la la dera derecha de la boquilla en un pequeño tajo - que permita derivar el gasto del río, controlado por la presa Aguamilpa durante la construcción - de la cortina. En este tajo se construirá un -- conducto con capacidad de unos  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  y de unos 200 m de longitud, una vez construida la cortina, se dejarán abiertas las compuertas del vertedor - de demasías hasta que la obra vaya a entrar en - servicio.

El camino de acceso tendrá unos 7 kms. de longi- tud y un buen alineamiento, durante la construc- ción podrá usarse la vía del F.C. Pacífico para el acarreo de piezas especiales, habiéndose hecho la relocalización del tramo requerido para el - cierre de la cortina.

La potencia por instalar quedará comprendida entre 150 y 200 MW, de acuerdo con los gastos máxi- mos de turbinación de Aguamilpa; la generación - media anual será de 600 GWh y el nivel de embalse del vaso casi no se hará fluctuar.

El plano 6-1 muestra la curva del embalse máximo del vaso y la posición aproximada de la cortina - y el trazo actual del tramo de FC del Pacífico - como su nuevo trazo.

### 6.1.3 Santa Cruz

#### a) Descripción

Aguas arriba de la presa Santa Rosa, existen va- rias boquillas situadas en lugares en que el río tiene fondo entre las elevaciones de 730 y 735 - msnm.

La cortina que se construiría en uno de estos sitios probablemente sea de materiales graduados, con una altura hidráulica de 140 a 185 m, según el sitio que se elija y el nivel máximo de embalse que resulte más conveniente; la longitud de la corona será de 340 a 400 m. El camino de acceso tendrá unos 33 km. de desarrollo desde San Francisco Tesistán (a sólo 20 km. de camino pavimentado al centro de Guadalajara), así mismo, tendrá algunos tramos de costosas terracerías.

Dado lo estrecho de la topografía, probablemente la casa de máquinas sea subterránea, así como la obra de desvío y excedencias requieran construirse mediante túneles excavados en las laderas; existen indicios de los bancos para materiales impermeables que se localizarían a lo largo del camino de construcción o próximos a él.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

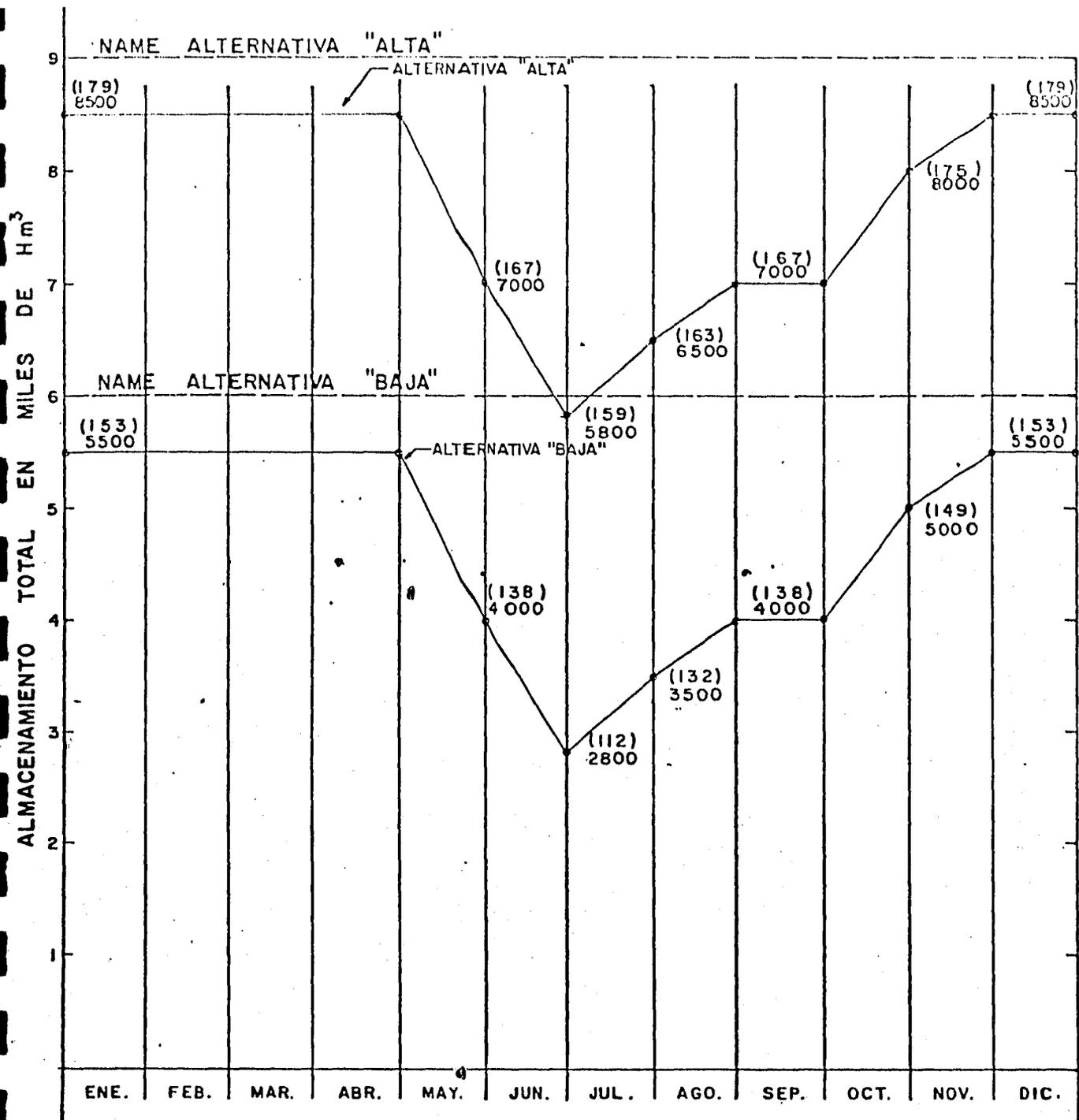
C O N C E P T O :	Capacidad total al NAME (Hm <sup>3</sup> )			
	6000	7000	9000	11000
COSTO:				
Cortina	22.770	26.365	32.978	40.491
Equipo electromecánico	25.461	26.820	28.890	30.717
Desvío	6.380	8.970	9.359	9.736
Toma para generación	9.072	9.615	10.450	11.191
Toma para riego y misceláneos	2.956	2.956	2.956	2.956
Vertedor	7.477	7.688	8.000	8.351
COSTO TOTAL:	74.116	82.414	92.633	103.442

NOTA: Costos en millones de pesos

TABLA 6-1

COSTOS ALTERNATIVOS PRESA AGUAMILPA (SITIO "EL SORDO")\*

\* Datos tomados del Estudio de Factibilidad de mayo de 1980, ajustados a 1985, según las diferencias encontradas en el escurrimiento medio anual y potencia por instalar.



CLAVE: (179) CARGA  
8500 ALMACENAMIENTO MAXIMO PERMISIBLE

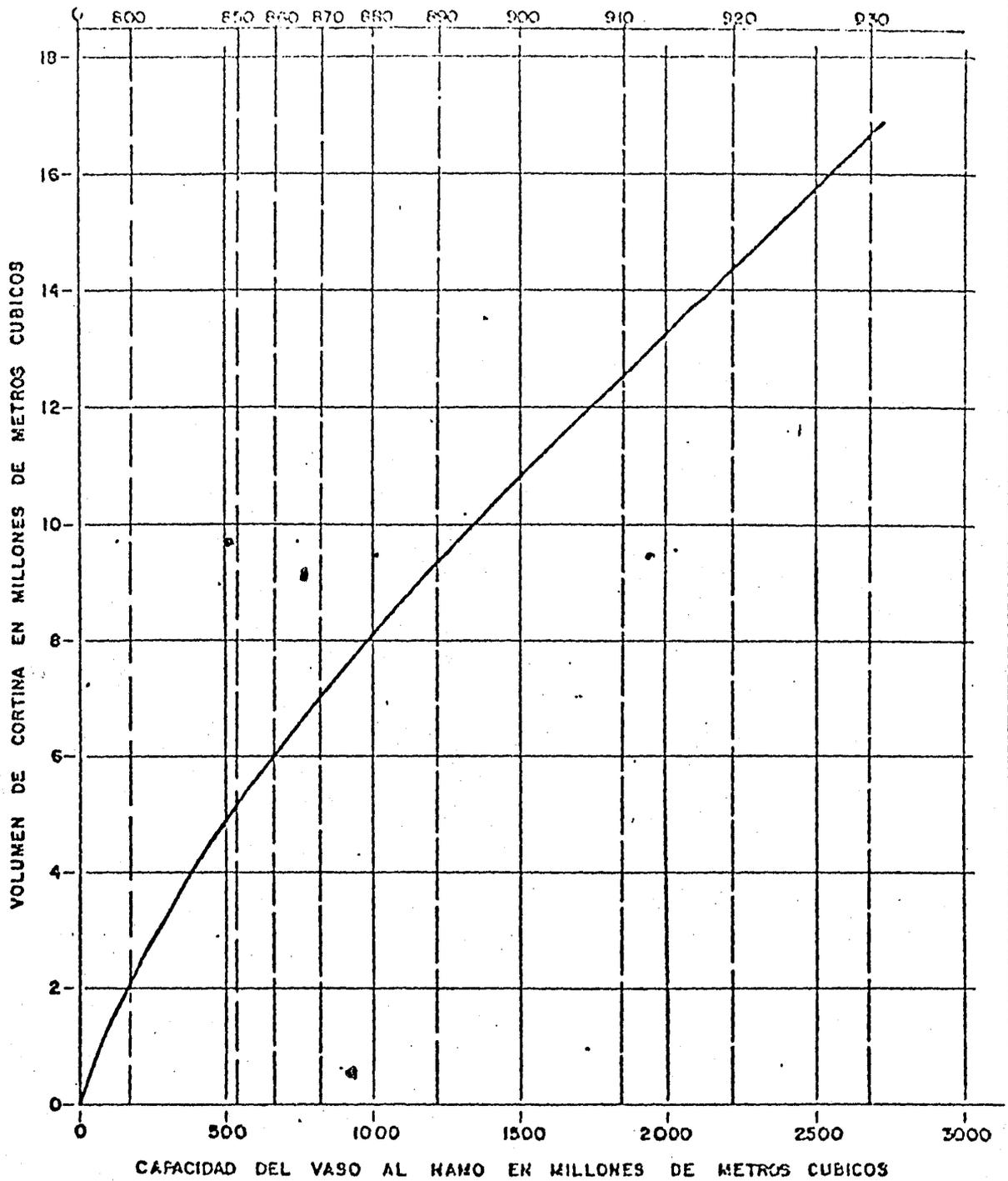
### ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA AGUAMILPA. SITIO "EL SORDO" (S-60)

ALMACENAMIENTOS MAXIMOS PERMISIBLES PARA  
LAS ALTERNATIVAS "ALTA" Y "BAJA"

GRAFICA 6-1

Cota de la corona en msnm.



ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO  
PRESA SANTA CRUZ

GRAFICA 6-2

Volumenes de cortina para diversas capacidades del vaso y alturas de cortina



## 7. PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA

### 7.1 Proyectos del Tronco del Río Santiago

7.1.1 Se analizaron dos alternativas para la presa Agua milpa: la primera, que se denominó "Alta", con una cortina de 192 m. de altura desde el desplante del enrocamiento, almacenamiento total de  $9000 \text{ Hm}^3$  y corona a la elevación de 250 m; la segunda, que se llama "Baja" con una cortina de 168 m. y corona a la elevación de 226 m. En ambos casos, se considera para el control de avenidas un volumen de  $1500 \text{ Hm}^3$ , conforme a la gráfica 6.1, fuera de las épocas de crecimiento; en cambio se deja un volumen máximo de  $3200 \text{ Hm}^3$  para control de avenidas el día 1° de julio de cada año, y volúmenes que varían de  $3200$  a  $2000 \text{ Hm}^3$  entre el 1° de junio y el 1° de septiembre de todos los años.

Para el caso de la presa Santa Cruz se analizaron tres alternativas que se denominaron "alta", "media" y "baja", con niveles máximos de embalse ordinario a las cotas 920, 900 y 880 msnm, respectivamente, volúmenes de cortina de 16.6, 12.4 y 9.0 millones de metros cúbicos y volúmenes de almacenamiento útil de 2220, 1480 y  $950 \text{ Hm}^3$ , también respectivamente.

7.1.2 Con la finalidad de estudiar los efectos de las variaciones de las descargas de Poncitlán, se calcularon las generaciones de cada uno de los aprovechamientos, para los criterios hidrológicos medio, pesimista y optimista, cuyos resultados aparecen en la cuarta columna (productividad propia) de las tablas 7-1 y 7-2. Si se comparan los núme

ros de la tabla 7-1, puede observarse que la generación en Santa Cruz "alta" se reduce en un 10%, - si se considera el criterio pesimista en vez del medio, y que la generación de Aguamilpa apenas se reduce en 3.5% en las mismas condiciones.

Mediante la tabla 7-3 se calcularon las relaciones beneficio/costo de las alternativas "baja" y "alta" de la presa Aguamilpa, sin la construcción de las otras plantas del sistema. La diferencia máxima de esas relaciones beneficio/costo apenas si varía de 2.72 a 2.54 entre las condiciones extremas de criterios hidrológicos, es decir, sólo un 7%.

Se concluye que, el efecto de las descargas en Poncitlán es intrascendente para la productividad del sistema del Río Santiago, y que existen otros factores mucho más importantes para tomar decisiones en este sistema.

7.1.3 Comparando en las mismas condiciones, es decir, - sin otros aprovechamientos para las alternativas de Aguamilpa "alta" y "baja", se da un pequeño diferencial un 2% de la relación beneficio/costo a favor de la presa alta; en cambio, la inversión de la presa "alta" debe ser un 19% mayor que la de la "baja" tabla 7-3.

7.1.4 De compararse económicamente Aguamilpa "alta" como aprovechamiento único del río con la combinación de Aguamilpa "baja" sumada con El Cora, las relaciones beneficio/costo de estas dos alternativas, resultan prácticamente las mismas (ver tabla 7-4). En el análisis económico se actualizan los costos

y los beneficios al año en que entra a operar El Cora, por lo que las cantidades numéricas resultan mucho mayores que las correspondientes para un análisis económico en la fecha en que entra en operación Aguamilpa sola; sin embargo, las relaciones se mantienen, como puede observarse 2.70 y 2.74.

Si se construyese la planta El Cora en forma simultánea con Aguamilpa y entrase en servicio en la misma fecha, habría que comparar costos y beneficios sin actualizar, es decir \$166,691 millones y \$170,235 millones por costos y \$459,271 millones y \$455,152 millones por beneficios, respectivamente, dando relaciones de b/c de 2.72 para Aguamilpa "baja" más El Cora, y 2.67 para Aguamilpa "alta" sola, ligeramente menor que la anterior.

7.1.5 Se procedió a comparar las siguientes alternativas:

- a) Santa Cruz "alta", sumada con Santa Rosa sobreequipada y con Aguamilpa "baja" da una relación b/c de 2.56.
- b) Aguamilpa "alta" como aprovechamiento único del río da una relación b/c de 2.67.

Como podrá observarse la relación beneficio/costo de la alternativa a), es ligeramente menor que la alternativa b) pero de construirse los aprovechamientos intermedios entre Santa Cruz y Aguamilpa, se incrementarán los beneficios a la alternativa a); en tanto que la b) no aportará nuevos beneficios. Los incrementos de los beneficios situados se deben a la regulación de los escurrimientos en los sitios intermedios que permitirán operar los

vasos correspondientes con cargas de generación medias mayores para la alternativa a) que para la b) (ver la columna de incrementos en las tablas 7-1 y 7-2; y además, reducciones en los gastos de las obras de desvío que se obtienen si se construyen la alternativa a) porque se regulan los gastos de crecientes hacia abajo de Santa Cruz. También en este análisis, como en el del número 7.1.4 las comparaciones se hacen actualizando costos y beneficios al año en que entre en servicio la última planta, por lo que en forma semejante, las cantidades comparadas se hacen con números mayores que si todas las plantas se construyesen simultáneamente.

7.1.6 Se muestran todos los datos y los resultados relativos, de los siete aprovechamientos del tronco del Río Santiago, con las alternativas de Aguamilpa "baja" y "alta" y Cajones "alta" y "baja", respectivamente, en las tablas 7-6 y 7-7 para que el lector pueda hacer sus propias consideraciones y comparaciones, así como se indican en forma separada los beneficios de la construcción de la presa Cajones, en sus dos alternativas en la tabla 7-8.

## 7.2 Sistema Completo

7.2.1 Los aprovechamientos en los afluentes del Río Santiago serán los que se definen en 5.1.3, 5.2.2 y 5.3.2, las potencias por instalar y las generaciones medias anuales serán:

APROVECHAMIENTO	POTENCIA POR INSTALAR MW	GENERACION MEDIA GWh
Apozolco	75	233
Agua Zarca	75	241
Agua Fría	30	110

Se puede apreciar que las potencias y generaciones medias de estos aprovechamientos periféricos son pequeños en comparación con las plantas sobre el tronco del río, los beneficios serán los de las propias plantas periféricas, sumados a los que inducen a las plantas situadas aguas abajo de ellas (ver tabla 7-9) y que estarán construidas en su totalidad cuando estas plantas entren en operación.

A pesar de la suma de los beneficios, su relación beneficio/costo actual es menor que la correspondiente a las plantas del tronco, por lo que su construcción deberá diferirse hasta el último.

No obstante, debe tenerse presente que si para esas fechas los combustibles fósiles alcanzaran un elevadísimo precio, en comparación con el vigente, muchos aprovechamientos de mediana o baja rentabilidad actualmente, tendrán entonces grandes incentivos para su construcción.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA	CAPACIDAD UTIL Hm <sup>3</sup>	PRODUCTIVIDAD	PRODUCTIVIDAD PROPIA			PRODUCTIVIDAD CON STA. CRUZ Y SANTA ROSA SOBRE EQUIPADO			PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO EL SISTEMA			INCREMENTOS ATRIBUIBLES A SANTA CRUZ		
			critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista
STA. CRUZ S-730	2220	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	253	304	278	253	304	278	253	304	278	253	304
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124
STA. ROSA S-640 SOBRE EQUIP.	85	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	-	-	-	126	119	150	126	119	159	126	119	150
		GENERACION MEDIA Gwh/año	-	-	-	300	247	360	300	247	360	300	247	360
LA MUCURA S-510	200	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	259	301	278	259	301	278	259	301	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	858	781	945	983	906	1,070	983	906	1,070	125	125	125
LA YESCA S-380	205	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	359	323	364	359	323	364	359	323	364	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,035	951	1,111	1,176	1,092	1,252	1,186	1,102	1,262	141	141	141
CAJONES "ALTA" S-255	470	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	457	434	484	457	434	484	457	434	484	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,419	1,328	1,523	1,602	1,511	1,706	1,614	1,523	1,718	183	183	183
AGUAMILPA "BAJA" S-60	2000 Y 3500	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	619	600	640	619	600	640	619	600	640	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	2,321	2,239	2,414	2,468	2,386	2,561	2,509	2,427	2,602	147	147	147
EL CORA S-30	50	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	178*	174*	185*	178*	174*	185*	178	174	185	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	586*	566*	609*	613*	593*	636*	621	601	644	27	27	27
S U M A		POTENCIA REAL EFECTIVA MW	2,169	2,043	2,278	2,295	2,162	2,428	2,295	2,162	2,428	404	372	454
		GENERACION MEDIA Gwh/año	7,248	6,787	7,726	8,171	7,657	8,709	8,242	7,728	8,780	1,952	1,792	2,107

\*Considera Aguamilpa ya construída.

\*\*Únicamente se consideran beneficios atribuibles al sobre-equipamiento.

TABLA 7-1 RESUMEN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROYECTO. ALTERNATIVA AGUAMILPA "BAJA"

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA	CAPACIDAD UTIL Hm <sup>3</sup>	PRODUCTIVIDAD	PRODUCTIVIDAD PROPIA			PRODUCTIVIDAD CON STA. CRUZ Y SANTA ROSA SOBRE EQUIPADO			PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO EL SISTEMA			INCREMENTOS ATRIBUIBLES A SANTA CRUZ		
			critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista	critorio medio	critorio pesimista	critorio optimista
STA. CRUZ S-730	2220	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	253	304	278	253	304	278	253	304	278	253	304
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124
STA. ROSA S-640 SOBRE EQUIP.	85	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	-	-	-	126	119	150	126	119	150	126	119	150
		GENERACION MEDIA Gwh/año	-	-	-	300	247	360	300	247	360	300	247	360
LA MUCURA S-510	200	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	259	301	278	259	301	278	259	301	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	858	781	945	983	906	1,070	983	906	1,070	125	125	125
LA YESCA S-380	205	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	359	323	364	359	323	364	359	323	364	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,035	951	1,111	1,176	1,092	1,252	1,186	1,102	1,262	141	141	141
CAJONES "BAJA" S-255	470	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	270	256	286	270	256	286	270	256	286	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,128	1,048	1,201	1,263	1,183	1,336	1,272	1,192	1,345	135	135	135
AGUAMILPA "ALTA" S-60	2000 Y 3500	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	839	812	867	839	812	867	839	812	867	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	2,840	2,742	2,954	3,012	2,914	3,126	3,062	2,964	3,176	172	172	172
EL CORA S-30	50	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	178*	174*	185*	178*	174*	185*	178	174	185	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	586*	566*	609*	613*	593*	636*	621	601	644	27	27	27
S U M A		POTENCIA REAL EFECTIVA MW	2,202	2,077	2,307	2,328	2,196	2,457	2,328	2,196	2,457	404	372	454
		GENERACION MEDIA Gwh/año	7,476	7,010	7,954	8,376	7,857	8,904	8,453	7,934	8,979	1,929	1,219	2,084

\*Considera Aguamilpa ya construido

\*\*Unicamente se consideran beneficios atribuibles al sobre-equipamiento

TABLA 7-2 RESUMEN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROYECTO. ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA	CAPACIDAD UTIL Hm <sup>3</sup>	PRODUCTIVIDAD	PRODUCTIVIDAD PROPIA			PRODUCTIVIDAD CON STA. CRUZ Y SANTA ROSA SOBRE EQUIPADO			PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO EL SISTEMA			INCREMENTOS ATRIBUIBLES A SANTA CRUZ		
			criterio medio	criterio pesimista	criterio optimista	criterio medio	criterio pesimista	criterio optimista	criterio medio	criterio pesimista	criterio optimista	criterio medio	criterio pesimista	criterio optimista
STA. CRUZ S-730	2220	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	253	304	278	253	304	278	253	304	278	253	304
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124	1,029	922	1,124
STA. ROSA S-640 SOBRE EQUIP.	85	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	-	-	-	126	119	150	126	119	150	126	119	150
		GENERACION MEDIA Gwh/año	-	-	-	300	247	360	300	247	360	300	247	360
LA MUCURA S-510	200	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	278	259	301	278	259	301	278	259	301	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	858	781	945	983	906	1,070	983	906	1,070	125	125	125
LA YESCA S-380	205	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	359	323	364	359	323	364	359	323	364	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,035	951	1,111	1,176	1,092	1,252	1,186	1,102	1,262	141	141	141
CAJONES "BAJA" S-255	470	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	270	256	286	270	256	286	270	256	286	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	1,128	1,048	1,201	1,263	1,183	1,336	1,272	1,192	1,345	135	135	135
AGUAMILPA "ALTA" S-60	2000 y 3500	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	839	812	867	839	812	867	839	812	867	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	2,840	2,742	2,954	3,012	2,914	3,126	3,062	2,964	3,176	172	172	172
EL CORA S-30	50	POTENCIA REAL EFECTIVA MW	178*	174*	185*	178*	174*	185*	178	174	185	-	-	-
		GENERACION MEDIA Gwh/año	586*	566*	609*	613*	593*	636*	621	601	644	27	27	27
S U M A		POTENCIA REAL EFECTIVA MW	2,202	2,077	2,307	2,328	2,196	2,457	2,328	2,196	2,457	404	372	454
		GENERACION MEDIA Gwh/año	7,476	7,010	7,954	8,376	7,857	8,904	8,453	7,934	8,979	1,929	1,219	2,084

\*Considera Aguamilpa ya construido

\*\*Unicamente se considan beneficios atribuibles al sobre-equipamiento

TABLA 7-2 RESUMEN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROYECTO. ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

CIFRAS DE 1985 EN MILLONES DE PESOS .

C O N C E P T O	ALTERNATIVA AGUAMILPA "BAJA"			ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"		
	PESIMISTA	MEDIO	OPTIMISTA	PESIMISTA	MEDIO	OPTIMISTA
<b>1. COSTOS</b>						
1.1 Cortina de materiales graduados	22,770	22,770	22,770	32,978	32,978	32,978
1.2 Equipo electromagnético y casa de máquinas	25,461	25,461	25,461	28,890	28,890	28,890
1.3 Obra de desvío	8,721	8,721	8,721	9,359	9,359	9,359
1.4 Obra de toma para generación	9,072	9,072	9,072	10,450	10,450	10,450
1.5 Vertedor de demasías	7,477	7,477	7,477	8,001	8,001	8,001
1.6 Misceláneos e imprevistos	7,350	7,350	7,350	10,131	10,131	10,131
1.7 Ingeniería y administración	9,702	9,702	9,702	13,373	13,373	13,373
1.8 Indemnizaciones	198	198	198	198	198	198
1.9 Suma parcial	90,751	90,751	90,751	113,380	113,380	113,380
1.10 Intereses durante la construcción (tasa del 12%)	36,300	36,300	36,300	45,352	45,352	45,352
1.11 Suma parcial	127,051	127,051	127,051	158,732	158,732	158,732
1.12 Operación y mantenimiento	11,435	12,060	12,705	11,111	11,503	11,895
1.13 Suma total de costos	138,496	139,121	139,758	169,843	170,235	170,627
<b>2. BENEFICIOS (Valor presente con tasa del 12% anual)</b>						
2.1 Por potencia disponible	64,260	66,295	68,544	86,965	89,857	92,856
2.2 Por generación de energía	287,991	298,539	310,501	352,690	365,295	379,958
2.3 Suma total de beneficios	352,251	364,834	379,045	439,655	455,152	472,814
<b>3. RELACION "BENEFICIO-COSTO"</b>	2.54	2.62	2.72	2.59	2.67	2.77

TABLA 7-3

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

CIFRAS EN MILLONES DE PESOS, DE 1985

C O N C E P T O	ALTERNATIVA AGUAMILPA "BAJA"	ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"
<p>1. COSTOS</p> <p>1.1 COSTO TOTAL PRESA AGUAMILPA</p> <p>1.2 CARGO POR ACTUALIZACION DEL COSTO TOTAL DE LA PRESA AGUAMILPA AL AÑO EN QUE SE INICIE LA OPERACION DE EL CORA</p> <p>1.3 COSTOS PRESA EL CORA</p> <p>1.3.1 Cortina de materiales graduados</p> <p>1.3.2 Casa de máquinas y equipo electromecánico</p> <p>1.3.3 Obra de toma para generación</p> <p>1.3.4 Vertedor de demasías</p> <p>1.3.5 Misceláneos e imprevistos</p> <p>1.3.6 Ingeniería y administración</p> <p>1.3.7 Indemnizaciones</p> <p>1.3.8 SUMA PARCIAL</p> <p>1.3.9 Intereses durante la construcción</p> <p>1.3.10 SUMA PARCIAL</p> <p>1.3.11 Operación y mantenimiento</p> <p>1.3.12 COSTO TOTAL PRESA EL CORA</p> <p>1.4 SUMA TOTAL DE COSTOS</p>	<p>139,121</p> <p>55,648</p> <p>1,446</p> <p>7,677</p> <p>2,565</p> <p>4,779</p> <p>1,647</p> <p>2,174</p> <p>1,623</p> <p>21,911</p> <p>5,470</p> <p>27,389</p> <p>1,643</p> <p>29,032</p> <p>223,801</p>	<p>170,235</p> <p>68,094</p> <p>1,446</p> <p>7,677</p> <p>2,565</p> <p>4,779</p> <p>1,647</p> <p>2,174</p> <p>1,623</p> <p>21,911</p> <p>5,470</p> <p>27,389</p> <p>1,643</p> <p>29,032</p> <p>267,361</p>
<p>2. BENEFICIOS (valor presente, tasa del 12% anual)</p> <p>2.1 Por potencia disponible y generación de energía en la Presa Aguamilpa</p> <p>2.2 Incremento por actualización de los beneficios de la presa Aguamilpa al año en que se inicie la operación de El Cora</p> <p>2.3 Por potencia disponible y generación de energía en la presa El Cora</p> <p>2.4 SUMA DE BENEFICIOS</p>	<p>364,834</p> <p>145,934</p> <p>94,437</p> <p>605,205</p>	<p>455,152</p> <p>182,061</p> <p>94,437</p> <p>731,650</p>
<p>3. RELACION "BENEFICIO/COSTO"</p>	<p>2.70</p>	<p>2.74</p>

TABLA 7 - 4

Resumen de evaluación económica de las presas Aguamilpa y El Cora, trabajando en conjunto.  
Criterio hidrológico medio.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

CIFRAS EN MILLONES DE PESOS DE 1985

C O N C E P T O :	ALTERNATIVA AGUAMILPA "BAJA"	ALTERNATIVA AGUAMILPA "ALTA"
<p>1. COSTOS</p> <p>1.1 Costo total de las presas Aguamilpa y El Cora (Tabla 7-4)</p> <p>1.2 Cargo por actualización del costo total de las presas Aguamilpa y El Cora al año en que se inicia la operación de Santa Cruz</p> <p>1.3 Costo total de Presa Santa Cruz y sobre-equipamiento de Presa Santa Rosa (ver tabla 9-8)</p> <p>1.4 SUMA DE COSTOS TOTALES</p>	<p>223,801</p> <p>55,950</p> <p>115,932</p> <p>395,683</p>	<p>267,361</p> <p>66,840</p> <p>115,932</p> <p>450,133</p>
<p>2. BENEFICIOS</p> <p>2.1 Por potencia disponible y generación de energía en las presas Aguamilpa y El Cora, trabajando sin Santa Cruz</p> <p>2.2 Incremento por actualización de los beneficios de las presas Aguamilpa y El Cora, al año en que se inicia la operación de Santa Cruz</p> <p>2.3 Por potencia disponible y generación de energía atribuible a Santa Cruz y sobre-equipamiento en Santa Rosa</p> <p>2.4 SUMA DE BENEFICIOS</p>	<p>605,205</p> <p>151,301</p> <p>214,217</p> <p>970,723</p>	<p>731,650</p> <p>182,913</p> <p>217,160</p> <p>1'131,723</p>
<p>3. RELACION "BENEFICIO/COSTO"</p>	<p>2.45</p>	<p>2.51</p>

TABLA 7-51

Resumen de evaluación económica de las presas Santa Cruz, Santa Rosa (sobre-equipamiento), Aguamilpa y El Cora. Criterio hidrológico medio.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA	ELEVACION			CAPACIDAD				Vol. de Cortina Mm	Qm. Esc. m <sup>3</sup> /s	Qmax. Extr. m <sup>3</sup> /s	Qm. Extr. m <sup>3</sup> /s	H min. G. (m)	H n. G. (m)	H max. G. (m)	% Derrames	Potencia mínima disponible (MW)	Potencia instala- lada (MW)	G. media anual (GWh/año).
	NAME msnm	NAMO msnm	NAMIN msnm	NAME hm <sup>3</sup>	NAMO hm <sup>3</sup>	NAMIN hm <sup>3</sup>	UTIL hm <sup>3</sup>											
Sta. Cruz "Alta" S - 730		920	844		2680	460	2220	16.6	95	238	87	145	157	188	9	278	321	1029
Sta. Rosa S - 640 Sobre eq		730	721		375	290	85	ya cons- truida	103	258	94	85	88	90	9	126	134	300
La Mucura S - 510		640	627		740	540	200	7	112	280	102	121	128	129	9	278	308	983
La Yesca S - 380		510	497		930	725	205	6.6	139	348	126	119	125	128	9	359	374	1186
Cajones "Alta" S - 225		380	365		1850	1380	470	14	156	390	141	143	152	154	9	457	510	1614
Aguamilpa "Baja" S - 60	221	201 y 216	172	6000	4000 y 5500	2000	2000 y 3500	21	263	658	245	120	136	142	5	619	770	2509
El Cora S - 30		63	61		350	300	50	1.1	273	683	252	31.5	32.7	33	5	178	192	621
																2295	2609	8242

TABLA 7-6

Datos de funcionamiento de las presas del tronco del Río Santiago trabajando en conjunto.  
Alternativa Aguamilpa "Baja". Criterio hidrológico medio.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

P R E S A	ELEVACION			CAPACIDAD				Vol. de Cortina Mm	Qm. Esc. m <sup>3</sup> /s	Qmax. Extr. m <sup>3</sup> /s	Qm. Extr. m <sup>3</sup> /s	H min. G. (m)	H m. G. (m)	H max. G. (m)	Derrames	Potencia mínima disponible (MW)	Potencia instalada (MW)	G. media anual (Gwh/año)
	NAME msnm	NAMO msnm	NAMIN msnm	NAME hm <sup>3</sup>	NAMO hm <sup>3</sup>	NAMIN hm <sup>3</sup>	UTIL hm <sup>3</sup>											
Sta. Cruz "Alta" S - 730		920	844		2680	460	2220	16.6	95	238	87	145	157	188	9	278	321	1029
Sta. Rosa S - 640 Sobre eq		730	721		375	290	85	ya cons- truida	103	258	94	85	88	90	9	126	134	300
La Micura S - 510		640	627		740	540	200	7	112	280	102	121	128	129	9	278	308	983
La Yesca S - 380		510	497		930	725	205	6.6	139	348	126	119	125	108	9	359	374	1186
Cajones "Baja" S - 255		380	340		740	270	470	5.1	156	390	142	97	119	125	9	270	399	1272
Aguamilpa "Alta" S - 60	246	230 y 242	212	9000	7000 y 8500	5000	2000 y 3500	31	263	658	245	155	166	170	5	839	939	3062
El Cora S - 30		63	61		350	300	50	1.1	273	683	252	31.5	32.7	33	5	178	192	621
																2328	2667	8453

TABLA 7-7

Datos de funcionamiento de las presas del tronco del Río Santiago trabajando en conjunto.  
Alternativa Aguamilpa "Alta". Criterio hidrológico medio.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

PRESA	CAPACIDAD UTIL <sup>3</sup> (Hm )	ALTERNATIVA	PRODUCTIVIDAD	PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO AISLADA	PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO CAJONES	INCREMENTO ATRIBUIBLE A CAJONES
CAJONES	1390	Alta S-225	Potencia Real Efectiva MW	457	457	457
			Generación Media GWh/año	1419	1419	1419
		Baja S-255	Potencia Real Efectiva MW	270	270	270
			Generación Media GWh/año	1128	1128	1128
AGUAMILPA	2000 y 3500	Alta S-60	Potencia Real Efectiva MW	619	619	-
			Generación Media GWh/año	2321	2390	69
		Baja S-60	Potencia Real Efectiva MW	839	839	-
			Generación Media GWh/año	2840	2921	81
EL CORA	50	S-30	Potencia Real Efectiva MW	178*	178	-
			Generación Media GWh/año	586*	596	10

TABLA 7-8

\* Considera Aguamilpa ya construida

Incrementos productivos atribuibles a la presa Cajones. Criterio Hidrológico Medio.

RIO	PRESA	CAPACIDAD UTIL Hm <sup>3</sup>	PRODUCTIVIDAD	PRODUCTIVIDAD PROPIA	PRODUCTIVIDAD TRABAJANDO		INCREMENTOS ATRIB. A LAS PRESAS PERIF
					PRESAS DEL T. RIO SANTIAGO	EL SISTEMA COMPLETO	
S	Santa Cruz "Alta" S - 730	2220	Pot. Real Efectiva MW	278	278	278	---
			Generación Media GWh/año	1029	1029	1067	38*
A	Santa Rosa Sobre equipamiento S - 640	85	Pot. Real Efectiva MW	---	126	126	---
			Generación Media GWh/año	---	300	317	17*
N	La Múcura S - 510	200	Pot. Real Efectiva MW	278	278	278	---
			Generación Media GWh/año	858	983	1005	22*
T	La Yesca S - 380	205	Pot. Real Efectiva MW	359	359	359	
			Generación Media GWh/año	1035	1176	1250	12* 62**
I	Cajones "Alta" S - 225	470	Pot. Real Efectiva MW	457	457	457	---
			Generación Media GWh/año	1419	1614	1671	12* 45**
A	Aguamilpa "Baja" S - 60	2000 Y 3500	Pot. Real Efectiva MW	619	619	619	
			Generación Media GWh/año	2321	2509	2560	11* 40**
G	El Cora S - 30	50	Pot. Real Efectiva MW	178	178	178	
			Generación Media GWh/año	586	621	625	5* 13**
O	Agua Fría J - 640	340	Pot. Real Efectiva MW	23	23	23	23*
			Generación Media GWh/año	110	110	110	110*
SOCIOPOLITICOS	Apozolco B - 640 Agua Zarca B - 505	1030	Pot. Real Efectiva MW	126	126	126	126**
			Generación Media GWh/año	474	474	474	474**
S U M A :			Pot. Real Efectiva MW	2318	2444	2444	23*126**
			Generación Media GWh/año	7832	8826	9096	227*634**

TABLA 7-9

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

\* Atribuibles a Agua Fría

\*\* Atribuibles a Agua Zarca y Apozolco

Productividad atribuible a las presas periféricas.

## 8. JERARQUIZACION DE LOS PROYECTOS

### 8.1 Proyectos Exclusivamente Eléctricos

8.1.1 En la gráfica 4-1 se tiene definido el orden de construcción de los proyectos eléctricos del tronco del Río Santiago y además recomendamos que las obras en los afluentes deberán realizarse posteriormente a las del tronco.

8.1.2 Las tablas del capítulo anterior demuestran, sin lugar a dudas, que conviene construir Aguamilpa como primer aprovechamiento, y El Cora como segundo, en orden cronológico, confirmando el programa de la gráfica 4-1. Debido a que el escurrimiento medio en Aguamilpa es mucho mayor que en los aprovechamientos de aguas arriba y además a que la regulación de Aguamilpa permite una planta con derrames reducidos y generación uniforme en El Cora con los mayores volúmenes de turbinación.

Una vez construidos estos dos aprovechamientos, los que se realicen aguas arriba, y que regulen los escurrimientos del río, traerán beneficios inmediatos a los aprovechamientos de aguas abajo que ya estén en operación, y a los que se construyan en lo futuro a medida que se vayan realizando. Por lo tanto, el beneficio acreditable a un aprovechamiento debe incluir la generación del propio aprovechamiento más lo que induce a los de aguas-abajo; la tabla 8-1 muestra las generaciones acreditables y reales a los grupos de obras integrados por Aguamilpa y El Cora por una parte, Santa Cruz y el sobre equipamiento de Santa Rosa por la segunda; y Cajones, La Yesca y La Múcura, por una

tercera. Puede observarse que la generación propia del segundo grupo es de 1329 GWh/año en promedio, pero por estar ya construidas las obras - del primer grupo, la generación acreditable inmediata a ese segundo grupo de 1503 GWh/año, y se elevará a 1952 GWh/año al concluirse las demás - del tercer grupo.

Si se analiza la relación beneficio/costo de la presa Santa Cruz aisladamente del sobreequipamiento de Santa Rosa, su relación beneficio/costo es todavía mayor, alcanzando el valor de 3.14 (tabla 8-2).

8.1.3 La construcción de Santa Cruz, al mismo tiempo - que el sobreequipamiento de Santa Rosa, deben - preceder a la obra de Cajones, ya que de acuerdo con las tablas 8-2 y 8-3 la relación beneficio/costo de las dos primeras obras, tratadas combinadamente, es mayor que la relación de la segunda, a pesar de que los beneficios de Santa Cruz no se disfrutarán en su totalidad por el transcurso del tiempo hasta que entren en servicio los aprovechamientos intermedios entre Santa Rosa y Aguamilpa. (Ver programa de construcción propuesto, gráfica 4-1).

8.1.4 Analizando combinadamente las gráficas 8-1 y 8-2 confirmaremos la conclusión a la que se llegó en el punto anterior. La gráfica 8-1 presenta los grupos de aprovechamientos previstos en el Río - Santiago y en sus afluentes, con sus constantes de energía correspondientes.

La gráfica 8-2 deducida de la 8-1 representa, -

para el período crítico de 1949-1955, la energía acumulada contra el tiempo del sistema hidrográfico, desde los embalses máximos de la presa Santa Cruz hasta El Cora, sumada con la energía que llega estacionalmente a las presas Apozolco, -- Agua Fría y otra presa en El Verde con embalse a la cota 1115 m.

De estas cantidades de energía, la correspondiente al tronco del Río Santiago es un 93% aproximadamente del total, y la de los afluentes, el 7%- restante.

- Puede observarse en la gráfica 8-2 que para lograr un flujo constante de energía en el período crítico se requiere un almacenamiento total de unos 3000 GWh. Este almacenamiento de energía - puede obtenerse con un almacenamiento de volumen de agua de  $1542 \text{ Hm}^3$  aproximadamente en Santa Cruz, pero requiere almacenar un volumen de  $6700 \text{ Hm}^3$  - en Aguamilpa, o de unos  $3000 \text{ Hm}^3$  aproximadamente en Cajones.

Por tanto, cada  $\text{m}^3$  de agua almacenado en Santa Cruz tiene una eficiencia casi 8 veces mayor que el almacenado en Aguamilpa (3.5 veces mayor que en Cajones) para lograr un flujo uniforme de energía en el período citado.

Las eficiencias anteriores son índices que orientan a decisiones respecto a los almacenamientos más ventajosos. Aunque los datos varían del período crítico al normal.

8.1.5 La construcción de Aguamilpa no solamente respondería a las necesidades del sector eléctrico, - sino además, a los del sector agropecuario. Con-

forme se señaló en el punto 4.3.6. Si a esto se le agrega la integración eléctrica norte-sur con una línea de 400 Kv. entre Guadalajara y Mazatlán y que Aguamilpa queda cercana al punto medio entre estas dos poblaciones, la iniciación de las obras de Aguamilpa resulta de carácter urgente.

8.1.6 Los altos índices de rentabilidad de las plantas hidroeléctricas del Río Santiago le dan gran competitividad respecto a las plantas termoeléctricas planeadas. De realizarse los estudios de factibilidad y proyecto ejecutivo de las plantas propuestas en el Río Santiago, facilitaría llegar a un sano balance entre estos dos tipos de plantas y además, adicionalmente, deberá tomarse en cuenta la revaluación sostenida de los combustibles fósiles en términos reales, lo que originaría un incremento en la rentabilidad de las plantas hidroeléctricas.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

GRUPO DE OBRAS INTEGRADO POR:	Generación media anual al concluirse las obras del grupo y de las anteriores en GWh.	Generación media anual acreditable al grupo al concluirse todo el sistema en GWh	Generación media anual real del grupo en GWh.
Aguamilpa "baja" y El Cora	Parcial 2907	2907	3130
	Total 2907		
Santa Cruz "alta" y sobreequipamiento de Santa Rosa	Parcial 1503	1952	1329
	Total 4410		
Cajones "alta", La Yesca y La Múcura	Parcial 3832	3383	3783
	Total 8242		

8242

8242

TABLA 8-1

Generaciones de grupos de plantas del tronco del Río Santiago.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

C O N C E P T O :	Importe en millones de pesos 1985*
1. Costo de Presa Santa Cruz	93,609
2. Beneficios atribuibles a Santa Cruz al terminarse la obra	214,218
3. Beneficios atribuibles a Santa Cruz al completarse la construcción de las obras del tronco **	80,136
4. Relación "beneficio/costo"	3.14

\* Valor presente al año en que la presa entra en operación

\*\* Producción atribuible a Santa Cruz:

a) Energía media anual = 1952 GWh

b) Potencia efectiva = 404 MW

TABLA 8-2

Evaluación económica de la Presa Santa Cruz considerando los beneficios que induce en las otras presas del sistema.

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

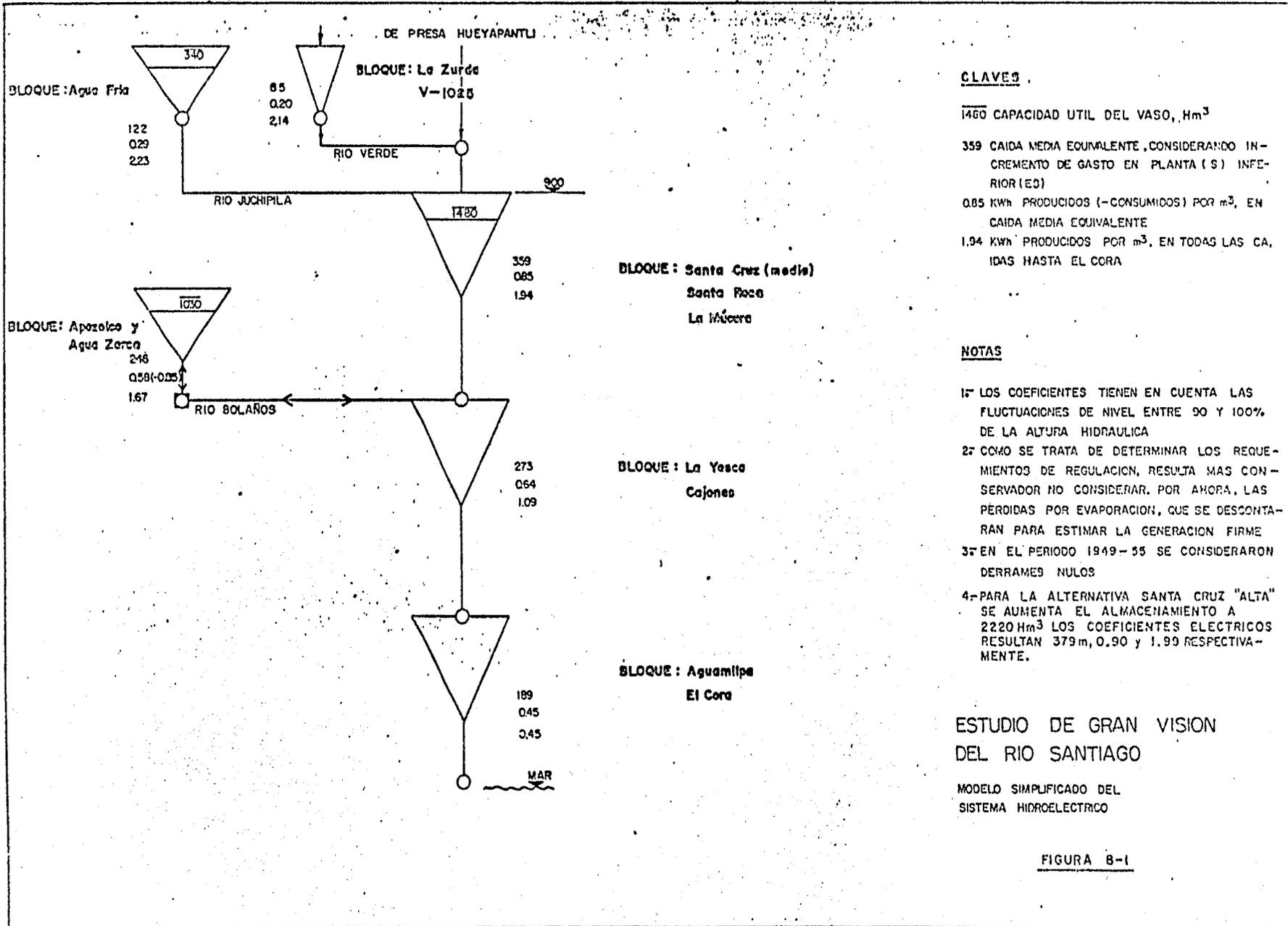
C O N C E P T O :	Importe en millones de pesos 1985*
1. Costo de Presa Cajones	97,141
2. Beneficios atribuibles a Cajones al terminarse la obra **	241,632
3. Relación "beneficio/costo"	2.49

\* Valor presente al año en que se inicia la operación de la Presa Cajones (considerando que sustituyera a Santa Cruz en el programa de construcciones de la gráfica 5-1).

\*\* Producción atribuible a Cajones:  
 a) Energía media anual = 1498 GWh  
 b) Potencia efectiva = 457 MW

TABLA 8-3

Evaluación económica de la Presa Cajones "Alta", considerando los beneficios que induce en las otras presas.



**CLAVES**

1460 CAPACIDAD UTIL DEL VASO, Hm<sup>3</sup>

359 CAIDA MEDIA EQUIVALENTE, CONSIDERANDO INCREMENTO DE GASTO EN PLANTA(S) INFERIOR(ES)

0.85 KWh PRODUCIDOS (-CONSUMIDOS) POR m<sup>3</sup>, EN CAIDA MEDIA EQUIVALENTE

1.94 KWh PRODUCIDOS POR m<sup>3</sup>, EN TODAS LAS CADIDAS HASTA EL CORA

**NOTAS**

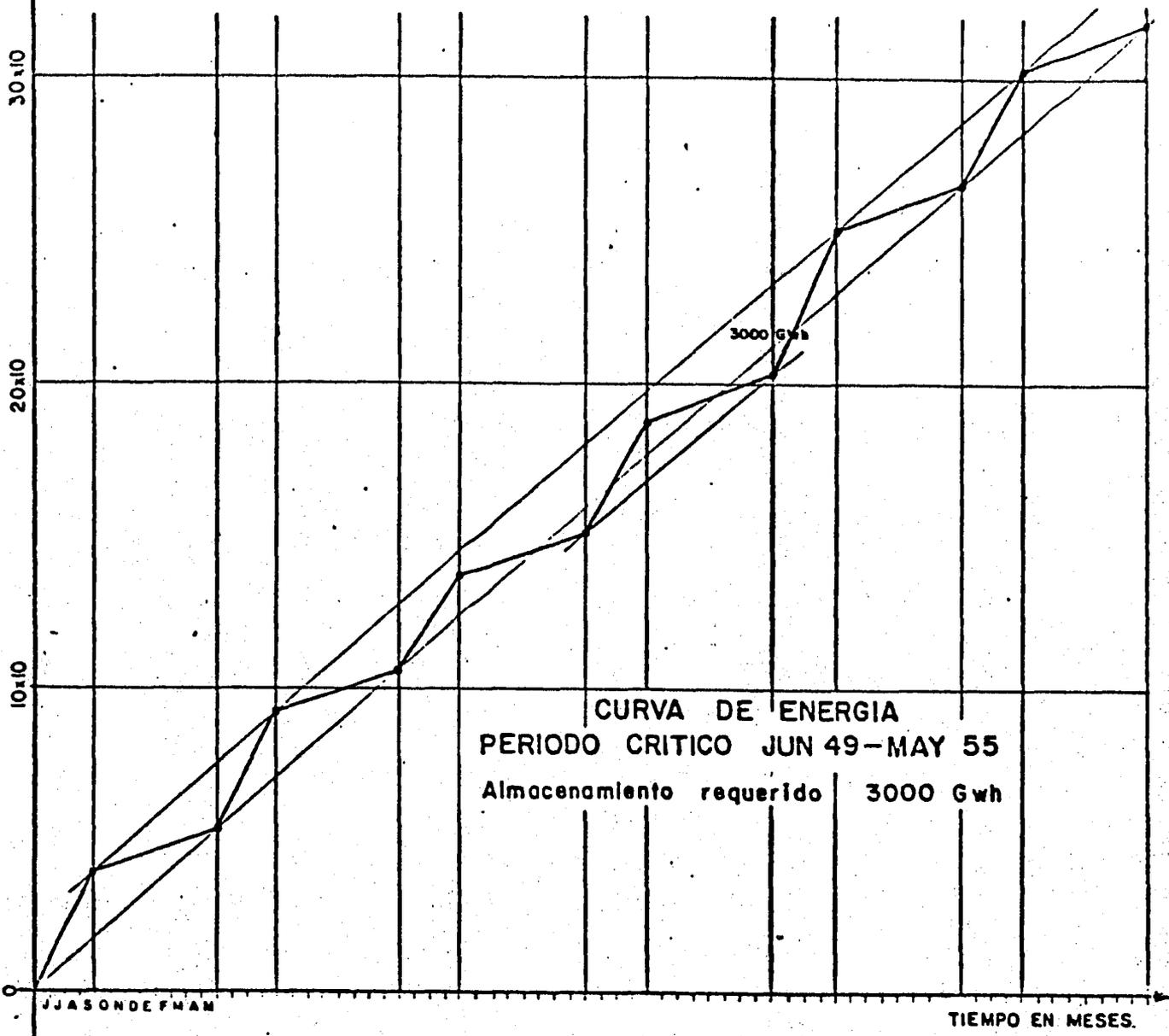
- 1- LOS COEFICIENTES TIENEN EN CUENTA LAS FLUCTUACIONES DE NIVEL ENTRE 90 Y 100% DE LA ALTURA HIDRAULICA
- 2- COMO SE TRATA DE DETERMINAR LOS REQUEMIENTOS DE REGULACION, RESULTA MAS CONSERVADOR NO CONSIDERAR, POR AHORA, LAS PERDIDAS POR EVAPORACION, QUE SE DESCONTARAN PARA ESTIMAR LA GENERACION FIRME
- 3- EN EL PERIODO 1949-55 SE CONSIDERARON DERRAMES NULOS
- 4- PARA LA ALTERNATIVA SANTA CRUZ "ALTA" SE AUMENTA EL ALMACENAMIENTO A 2220 Hm<sup>3</sup> LOS COEFICIENTES ELECTRICOS RESULTAN 379m, 0.90 y 1.99 RESPECTIVAMENTE.

**ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO**

MODELO SIMPLIFICADO DEL SISTEMA HIDROELECTRICO

FIGURA 8-1

ENERGIA ACUMULADA  
Gwh



1949 50 51 52 53 54 1955  
LLUV EST. LLUV EST. LLUV EST. LLUV EST. LLUV EST. LLUV EST.  
AÑO HIDROLOGICO

ESTUDIO DE GRAN VISION DEL RIO SANTIAGO

GRAFICA 8-2

## 9. CONCLUSIONES

El sistema previsto de plantas hidroeléctricas del Río - Santiago, desde la confluencia con el Río Verde hacia - abajo, estará formado por siete plantas en el tronco, de las cuales una ya está construida, pero puede mejorarse, y seis deben construirse en un futuro próximo.

Las plantas por construir en los afluentes serán tres; - su construcción conviene realizarla después de la correspondiente a las plantas del tronco.

La generación media anual del sistema completo será de - casi 10,000 GWh en condiciones normales, reduciéndose a un promedio de 6,000 GWh/año en el caso de presentarse - un período seco sostenido como el de los años 1949 a 1955.

La potencia total por instalar en las plantas del tronco del río estará comprendida entre 2100 y 3200 MW, con va-  
lor probable de 2600 MW.

Juzgada a la luz de un estudio hidrológico exhaustivo y de la inevitable revaluación de los combustibles en tér-  
minos reales, la obra aislada más rentable del sistema, y la que debe atacarse próximamente, es la de Aguamilpa, - seguida después por El Cora, para continuar en orden su-  
cesivo con Santa Cruz, Cajones, La Yesca y La Múcura, y en un futuro lejano las tres plantas de los afluentes.

Tomando en cuenta el sistema de análisis económico del - presente estudio, el uso parcial de estiaje del almacena-  
miento destinado a control de avenidas, y gracias a un - análisis exhaustivo de los datos hidrométricos, la re-  
lación beneficio/costo de las plantas Aguamilpa y El Cora

resulta de 2.6. La de la planta Santa Cruz resultará de 2.9 debido a los beneficios propios y a los que aporta a las plantas de aguas abajo.

De iniciarse la construcción de la presa hidroeléctrica Aguamilpa y si los estudios de campo no se contraponen a la factibilidad, debe iniciarse la construcción de El Cora antes de la terminación de las obras en Aguamilpa.

Conforme al análisis del sistema integrado, para la presa Aguamilpa se obtienen relaciones beneficio/costo muy semejantes si se construye una presa con 9000 Hm<sup>3</sup> de almacenamiento total y 31 millones de metros cúbicos de materiales graduados en la cortina, que si se construye en el mismo sitio una presa con 6000 Hm<sup>3</sup> de almacenamiento total y 21 millones de metros cúbicos en la cortina.

No es trascendente para el sistema determinar con precisión las extracciones futuras del Lago de Chapala por Poncitlán; las variaciones esperadas de esas extracciones no afectan sensiblemente las relaciones beneficio/costo de las plantas o del sistema.

Las obras del Río Santiago, especialmente las más bajas, además de los beneficios eléctricos, producirán grandes beneficios al sector agropecuario, porque permitirán aprovechar en riego la mayor parte de escurrimientos de crecientes que actualmenté se desperdician; las obras hidroeléctricas reducirán los problemas de inundaciones que existen en la actualidad.

Los problemas sociales consisten en la reubicación de poblados pequeños y de pocas tierras de cultivos; de proceder en forma adecuada, no se esperan problemas por la

reubicación de poblaciones y afectaciones de tierras.

Las presas que afectan obras viales existentes son El Cora y Santa Cruz; aparte del costo de relocalización de estas vías de comunicación, no se esperan problemas con los usuarios de las vías porque las obras relocalizadas tendrán menos desarrollo y mejor alineamiento que las existentes.

Las líneas de transmisión a los centros de carga serán cortas, y no presentarán problemas especiales de construcción; (distancia media de 40 km) según las posibles trayectorias de las líneas de transmisión que las integren.

La construcción de la primera obra del sistema (Aguamilpa) facilitará la construcción de la línea eléctrica de alta tensión para integrar sistemas del noroeste, con principal centro de carga en Mazatlán y Guadalajara.

Los accesos a las primeras plantas por construir no presentarán problemas: el de Aguamilpa ya se encuentra muy avanzado; el de El Cora será muy corto y con excelente alineamiento. Para los demás aprovechamientos se tendrán que construir los respectivos caminos de acceso.

Se propone intensificar los estudios de campo para afinar los sitios de cortinas y dictaminar sobre boquillas y vasos previstos en el presente texto.

Este estudio se hizo con los costos y el valor de los beneficios al año de 1985.

## DATOS DEL PROYECTO

- Número de aprovechamientos propuestos en el tronco del Río Santiago: 7
- Número de aprovechamientos propuestos en los periféricos (Río Juchipila 1, Río Bolaños 2): 3
- Generación media anual esperada para el tronco del Río Santiago: 8200 GWh/año
- Generación media anual esperada para el sistema completo: 9100 GWh/año
- Generación media anual garantizada para el tronco del Río Santiago: 5100 GWh/año
- Generación media anual garantizada para el sistema completo: 5200 GWh/año
- Potencia a instalar (recomendada) en el tronco del Río Santiago: 2600 MW
- Potencia a instalar (recomendada) en el sistema completo: 2800 MW
- Potencia mínima disponible en estiaje para el tronco del Río Santiago: 2300 MW
- Potencia mínima disponible en estiaje para el sistema completo: 2400 MW

## BIBLIOGRAFIA

1. Comisión Federal de Electricidad. Estudio de Factibilidad Técnica del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, Nay.- Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar, Civil y Geotecnia. México, D. F., mayo de 1980.
2. Geohidrología del Occidente de México. Libreto Guía Excursión A-16, XX Congreso Geológico Internacional, México 1956.
3. Nacional Financiera. Plan Nacional de Electrificación. - NAFINSA. México 1962.
4. Eduardo Cravioto. Revisión y Actualización del Estudio-Hidrológico del Lago de Chapala, Jal. SARH, Subsecretaría de Planeación, memorandum No. 218-6 y anexos. México D. F., diciembre de 1979.
5. Francisco de P. Sandoval. Guía de Información Técnica sobre el Lago de Chapala. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara, Jal. 1979.
6. Francisco de P. Sandoval. Verdades y Mitos del Lago de Chapala. Gobierno del Estado de Jalisco. Guadalajara, - Jal. 1979.
7. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Programa de Energía. Metas a 1990 y proyecciones al año 2000. -- SEPAFIN. México, Noviembre de 1980.
8. Comportamiento de Presas Construidas en México. Contribución al XII Congreso Internacional de Grandes Presas.
9. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Boletines Hidrológicos No. 52, Tomos I, II y III. SRH, Subsecretaría de Planeación, México, D. F., 1973.

10. United States Department of the Interior. Bureau of -  
Reclamation. Selecting Hydraulic Reaction Turbines. -  
U.S. Government Printing Office. Washington, D.C. 1976
  
11. Veytia, M., Reconocimiento Geológico General del Río -  
Santiago, Departamento de Planeación y Estudios CFE, -  
1963.
  
12. Compañía Mexicana de Consultores en Ingeniería, S.A. de  
C.V. Estudio de Gran Visión del Río Santiago. COMEC,-  
México, D.F. 1981.