

29  
58



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

## EVALUACION HIDROECONOMICA DE LAS OBRAS DEL SISTEMA DEL TRAMO TERMINAL DEL RIO BALSAS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
JUAN GARCIA VELASCO

FALLA DE ORIGEN



## **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

	Pág.
<b>1.- INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Problemática Actual	4
1.4 Avenida de diseño	4
1.5 Estudio del tránsito de avenidas	6
1.6 Objetivos	10
<b>2.- METODOLOGIA UTILIZADA</b>	<b>11</b>
2.1 Generación de registros sintéticos	17
2.2 Modelo de funcionamiento de vaso	12
2.3 Equivalencias financieras	15
2.4 Conceptos de evaluación de proyectos hidroagrícolas	16
<b>3.- ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO</b>	<b>19</b>
3.1 Análisis de la demanda anual	19
3.2 Planteamiento de alternativas-enfoque determinístico	21
3.3 Elaboración de curvas de almacenamiento-generación media anual.	23
3.4 Estudio con enfoque estocástico	24
<b>4.- GENERACION DE ALTERNATIVAS</b>	<b>26</b>
4.1 Sobrelevación de la cortina	27
4.2 Canalización de la desembocadura del Río Balsas	28
<b>5.- EVALUACION HIDROECONOMICA</b>	<b>29</b>
5.1 Estimación de valores de la producción	29
5.2 Estimación de la productividad del agua para uso agrícola industrial y generación hidroeléctrica.	31
5.3 Pérdidas por extracción del agua	32
5.4 Inversiones presentes y futuras en el Puerto Industrial Lázaro Cárdenas.	33
5.5 Estimación de los daños causados por inundaciones	33
5.6 Aplicación de la teoría de decisiones para seleccionar el nivel de conservación óptimo	36
5.7 Análisis hidroeconómico de la canalización de la desembocadura del Río Balsas	39
<b>6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>42</b>
<b>ANEXO (tablas y figuras)</b>	
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## 1.- INTRODUCCION

### 1.1 Generalidades.

El río Balsas es uno de los más importantes de la República Mexicana, su cuenca de 117,405.6 km<sup>2</sup> comprende las zonas ubicadas entre los paralelos 17º 00' y 20º 00' de latitud norte y los meridianos 97º 27' y 103º 15' longitud de Greenwich.

Tiene su origen a unos 40 km al norte de la ciudad de Tlaxcala, Tlax., en los límites de este estado y el de Puebla; desde su nacimiento se llama río Zahuapan y al confluir con el río Atoyac, a unos 10 km al norte de Puebla, éste le impone su nombre con el que se le conoce posteriormente.

Después de su confluencia con el río Mixteco, se le llama río Poblano. Penetra en los estados de Guerrero y Morelos, recibiendo varios tributarios, arroyos y vertientes de manantiales, hasta el paso de Mezcala, aquí recoge las aguas del propiamente llamado Mezcala.

Al salir de las primeras cañadas, el Balsas recibe las aguas del río Amacuzac por su margen derecha, a unos 50 km al NE de Chilpancingo, Gro. Sigue un curso este-oeste y recibe afluentes por ambas márgenes, siendo los más importantes los de la margen derecha, como los ríos Cutzamala y Tepalcatepec. Sirve de límite entre los estados de Michoacán y Guerrero, hasta más abajo del paso llamado de las Balsas.

Prosigue su curso y antes de Zacatula, Gro., se bifurca para unirse 8.5 km más abajo de la Villa y desembocar en el Océano Pacífico.

La cuenca hidrológica comprende parte de ocho estados de la república que son: Veracruz, Puebla, Tlaxcala, Oaxaca, Guerrero, Morelos, México y Michoacán.

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos denomina a la cuenca del río Balsas como la Región Hidrológica No. 18, y debido a la extensión de la cuenca la divide en tres zonas principales, siendo éstas las siguientes:

- a).- Cuenca del río Amacuzac.
- b).- Cuenca de los ríos Atoyac y Mixteco.
- c).- Cuenca del medio y bajo Balsas.

Grandes presas en la cuenca contribuyen al beneficio de esta zona en particular y del país en general, contándose entre ellas, principalmente las presas: Infiernillo, Villita Vicente Guerrero, Manuel Avila Camacho, el Caracol, etc.

Hasta la cortina de la presa Infiernillo, el área de la cuenca del río Balsas es de 109,443.5 km<sup>2</sup>, a partir de aquí se le denomina Bajo Balsas.

Aguas abajo de la cortina, después de que el río recorre 38 km, el Balsas recibe por su margen derecha al río las Juntas; 17 km aguas abajo, se localiza el sitio en el que se construyó la cortina de la presa José Ma. Morelos (La Villita). Dos kilómetros aguas abajo de la cortina, el río Balsas se bifurca entrando en una zona déltica hasta su desembocadura al Océano Pacífico.

## 1.2 Antecedentes.

La presa Infiernillo se encuentra ubicada sobre el río Balsas, entre los límites de los estados de Guerrero y Michoacán. Sus coordenadas geográficas son: 18° 16' 30" latitud N y 101° 53' 40" longitud W del meridiano de Greenwich.

Su construcción se inició el 21 de agosto de 1961, y se terminó el 6 de diciembre de 1963.

El objetivo de la misma, fué el de utilizar los escurrimientos del río Balsas para la generación de energía eléctrica. Tiene 624,000 KW de capacidad instalada (original de diseño).

Como ya se mencionó, aguas abajo, se localiza la presa la Villita, que fué construida para aprovechar en riego y en la generación de energía eléctrica los escurrimientos del río Balsas una vez que han sido aprovechados en la presa Infiernillo, beneficiando en riego 108,000 ha.

En la margen derecha se encuentra la planta hidroeléctrica con sus 301,000 KW de capacidad instalada.

Los datos principales de proyecto de las presas Infiernillo y Villita, son:

### PRESA INFIERNILLO

DATOS GENERALES	Capacidad	Elevación
	Mm3	m.s.n.m.
Corriente río Balsas		
Corona (B=10.0 m)	14,000	181.00
N.A.N.E.	12,000	176.40
Bordo libre (parte central)		4.6 m
Nivel de conservación	9,340	169.00

Cresta del vertedor	4,940	154.00
Super almacenamiento para control	2,660	
Almacenamiento útil	7,170	
Obra de toma	496	117.80
Gasto máximo avenida de proyecto	38,777 m <sup>3</sup> /seg	
Area de cuenca	109,443.5 km <sup>2</sup>	
Gastos máximos registrados	25,200 m <sup>3</sup> /seg (sep. 1967)	
(deducidos)	20,930 m <sup>3</sup> /seg (oct. 1976)	
Gasto máximo derramado	7,500 m <sup>3</sup> /seg (sep. 1967)	
Periodo de construcción	21 ago. 1961 a 6 dic. 1963	
CORTINA (enrocamiento)		
Longitud total	350.00 m	
Altura máxima	148.50 m	
VERTEDDR (controlado)		
Longitud de cresta	66.78 m = 3 x 22.26 m	
Capacidad máxima (H=22.4 m)	13,800 m <sup>3</sup> /seg	
Coficiente de descarga (de diseño)	c = 1.95	
Capacidad del cauce aguas abajo	3,000 m <sup>3</sup> /seg	
(sin causar daños)		

PRESA LA VILLITA

DATOS GENERALES	Capacidad	Elevación
	M <sup>3</sup>	m. s. n. m.
Corriente: Rio Balsas		
Corona (B=14.0 m)		59.73
N.A.M.E.	710	56.73
Nivel de Conservación	541	49.73
Cresta del vertedor	280	39.73
Almacenamiento útil	211	
Obra de toma	213	36.73

Gasto máximo avenida de proyecto 13,886 m<sup>3</sup>/seg.  
Area de cuenca 110,920.3 km<sup>2</sup>

### 1.3 Problemática Actual.

Agua abajo de la presa la Villita, se encuentra la zona industrial de la desembocadura del río Balsas, por lo que el aspecto del control de avenidas reviste una extraordinaria importancia también, ya que es necesario proteger las cuantiosas inversiones que se han hecho, y las que se tienen programadas en dicha zona industrial.

Con base en la escasa información hidrométrica y climatológica disponible hasta la fecha de construcción de la presa Infiernillo, se calculó un valor de 38,777 m<sup>3</sup>/seg como gasto máximo de la avenida de proyecto. En septiembre de 1967, el ciclón Beulah generó una creciente cuyo gasto máximo alcanzó los 25,200 m<sup>3</sup>/seg y volúmen de 5206 Mm<sup>3</sup>. Así mismo, el ciclón Medeline provocó una avenida con gasto máximo de 20,930 m<sup>3</sup>/seg y volúmen de 3,856 Mm<sup>3</sup>.

Dado que las avenidas que se han presentado alcanzaron valores cercanos al gasto máximo de la avenida de diseño, y debido a la disponibilidad de mayor información hidrometeorológica, se hace necesario realizar varias revisiones hidrológicas con el fin de llegar a determinar la avenida de diseño que se adopte.

Por otra parte, esa incertidumbre que existe en cuanto a cuál debe ser la avenida de diseño que garantice la seguridad de la presa, se refleja también en la fijación de los niveles de operación del embalse de tal forma que se satisfagan los aspectos de aprovechamiento y de control de avenidas de la mejor manera posible para ambos usos. Estos problemas repercuten hacia aguas abajo; es decir en las descargas de la presa la Villita y, por ende, en las obras de protección de la zona industrial de la desembocadura del río Balsas.

Para que se tenga una visión de los diferentes aspectos de una manera integral, se hace necesario llevar a cabo un análisis económico de los dos "usos".

### 1.4 Avenida de Diseño.

Como la Dirección General de Administración y Control de Sistemas Hidrológicos de la SARH, es responsable institucionalmente del aspecto del control de avenidas, se vio la conveniencia de llevar a cabo la revisión de la avenida de diseño, a fin de contribuir en la solución de los problemas mencionados en el inciso 1.3.

Es importante aclarar que el proceso detallado del análisis hidrológico, para la obtención de la avenida de diseño, que sirve de base para el desarrollo de esta tesis, queda fuera del alcance de la misma.

Hay que destacar que para lograr definir la avenida de diseño en la presa Infiernillo, se tiene una tarea bastante difícil; ya que, por una parte, la cuenca es bastante grande (109,443.5 km<sup>2</sup>) y no se cuenta en la actualidad con un registro confiable de datos hidrométricos de la cuenca total; por otro lado existen varios aprovechamientos ya construidos y en proyecto, de la misma. En la figura 1.1 del anexo se muestra la delimitación y subdivisión de cuencas, así como la ubicación de las estaciones hidrométricas.

Debido a esto y aún reconociendo que existen también otros caminos para abordar el problema, la Dirección de Aguas Superficiales realizó varias alternativas o maneras de cómo es posible que se presenten las avenidas a la entrada de la presa.

La alternativa que se adoptó fue la siguiente: se procedió primeramente a reproducir la avenida que se estimó a la entrada de la presa cuando ocurrió el ciclón Beulah y de aquí se pasó a la avenida de diseño. Lo anterior se realiza como sigue: se toma el hidrograma registrado en la estación hidrométrica la Caimanera, en la cual se aforan los escurrimientos de la mayor parte de la cuenca (77,313 km<sup>2</sup>), en este sitio se adopta la forma del hidrograma más desfavorable, cuando ocurrió el ciclón Beulah y a través de métodos probabilísticos se calcula el gasto para un periodo de retorno de 10,000 años. Para el resto de la cuenca, se aplica el modelo precipitación-escurrimiento, con las lluvias que se registraron durante los siete días que duró el ciclón Beulah. Se transita el hidrograma de la estación la Caimanera y se suma con los resultados que produce el modelo precipitación-escurrimiento, considerando diferentes números de escurrimiento N. Esto se lleva a cabo de una manera realista hasta que se logre reproducir, con una aproximación aceptable, el hidrograma que se estimó a la entrada de la presa. Las alturas de lluvia se maximizan al valor de la PMP.

El hidrograma propuesto, por la DAS, a la entrada de la presa Infiernillo y que se generó en estas condiciones, sus valores característicos principales son:

Gasto máximo	= 32,200 m <sup>3</sup> /seg
Tiempo de pico	= 87 horas
Tiempo base	= 240 horas
Volumen	= 12,480 Km <sup>3</sup>



## 1.5 Estudio del Tránsito de Avenidas.

El objetivo de transitar la avenida de diseño a través del vaso de almacenamiento de la presa Infiernillo es investigar si la presa garantiza condiciones de seguridad, de no ser así proponer las medidas institucionales y/o estructurales necesarias, con las que se llegue a una situación de confiabilidad razonable, en función de la magnitud de la presa y de las gigantescas inversiones realizadas y por realizar, aguas abajo de dicho embalse.

Si bien es cierto que con los análisis del tránsito de avenidas, principalmente se busca que la presa sea capaz de regular la avenida de diseño, sin que se ponga en peligro su seguridad y al mismo tiempo que se descarguen gastos, no demasiados grandes hacia aguas abajo; hay que considerar el aspecto del aprovechamiento para generar energía eléctrica, ya que ambos vasos están bastantes interrelacionados.

### 1.5.1 Tránsito en Condiciones Actuales.

Se realizó el tránsito de la avenida de diseño en condiciones actuales de proyecto, considerando la siguiente información básica.

Nivel de conservación	= 169.00 m.s.n.m.
Nivel de la cresta vertedora	= 154.00 m.s.n.m.
NAME actual	= 176.40 m.s.n.m.
Corona de la presa	= 181.00 m.s.n.m.

#### Curva de Elevaciones-Áreas-Capacidades

En la tabla 1.1, se presentan los gastos del hidrograma, considerando un intervalo de 4 horas entre cada instante.

Las políticas de operación que se analizan consideran descargas constantes, desde el primero hasta el último instante del tránsito, y debidamente escalonadas, según diferentes niveles de control.

Esto permite obtener el gasto mínimo medio necesario, para regular una creciente específica, dados los almacenamientos inicial y máximo permisible, ya que de hecho buscan el balance de los volúmenes de ingresos y descargas, aprovechando totalmente la capacidad de control de la presa.

Aún cuando en la práctica no se siga este tipo de políticas, ya que al inicio de la creciente analizada se establecen descargas pequeñas, que se van incrementando gradualmente y de manera continua, el volumen desalojado hasta el momento de alcanzar el máximo almacenamiento, debe ser el mismo que si se hubiera establecido extracción constante. Consecuentemente, el hidrograma de salida, para descargas variables continuas tendrá un valor máximo que será superior al de descarga constante.

Los gastos de descarga constantes propuestos, para los hidrogramas fueron: 2000, 3000, 4000, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000, 10000, 11000, 12000, 13000 y 13800 m<sup>3</sup>/seg.

Sin embargo, debido a que este último valor se presenta únicamente durante lapsos cortos y sólo en aquellas alternativas en que se rebasa el NAME actual, los análisis para 13000 y 13800 m<sup>3</sup>/seg, de descarga, arrojaron resultados muy similares, excepto para aquellos en que la elevación inicial sea cercana al NAME y rápidamente se puede establecer el gasto máximo de diseño del vertedor. Por tal motivo, sólo se tomaron en cuenta los resultados para gastos hasta de 13000 m<sup>3</sup>/seg, con el fin de que todas las alternativas sean comparables entre sí.

El tránsito se hizo para las condiciones críticas: o sea, cuando la presa se encuentra llena hasta el NAME (169.0 m.s.n.m.) al momento de presentarse la avenida de diseño. Adoptando como gasto máximo de descarga el valor de 13,000 m<sup>3</sup>/seg., el resultado que arrojó el modelo de tránsito utilizado, fué llegar a una elevación máxima alcanzada de 182.10 m.s.n.m., la cual rebasa la corona de la cortina, lo cual quiere decir que son necesarias modificaciones importantes con el fin de tener condiciones de seguridad.

#### 1.5.2 Tránsito Considerando Modificaciones.

Dado que en las condiciones originales de proyecto, no se tiene la capacidad suficiente para regular la avenida de diseño propuesta, se estudiaron otros niveles de conservación, con el fin de dotar a la presa de la capacidad de regulación necesaria.

Las elevaciones iniciales que se analizaron para cada hidrograma y cada gasto de regularización fueron:

#### CONDICIONES INICIALES

ELEV. (msnm)	ALMAC. (Mm <sup>3</sup> )
150.00	4104
155.00	5171
160.00	6550
161.00	6832
162.00	7115
163.00	7397
164.00	7679
165.00	7961

ELEV. (msnm)	ALMAC. (M <sup>3</sup> )
166.00	8306
167.00	8651
168.00	8995
169.00	9340
170.00	9723
175.00	11640

Puesto que de la combinación de los diversos valores propuestos, para cada una de las variables a considerar, se obtienen numerosas alternativas, los resultados de ellas se presentan en dos tipos de gráficas, para cada hidrograma.

La primera de ellas, válida para las características originales del hidrograma, permite obtener la elevación máxima que se alcanza, al iniciar el tránsito en cualquier elevación dentro del rango considerado, bajo diferentes políticas de extracción. La fig. 1.2 muestran dichas curvas para la avenida analizada.

En la figura 1.2 puede apreciarse que en las condiciones actuales de la presa, se requiere una elevación inicial inferior a la 147.00, para no rebasar el NAME. Esta condición afectaría gravemente la generación de energía eléctrica.

Con objeto de conocer las descargas asociadas a crecientes con diversos periodos de retorno, se realizaron los tránsitos correspondientes, empleando las diferentes formas de avenidas analizadas.

La figura 1.3 del anexo, relaciona para cada avenida: elevación inicial; gasto de descarga y gasto máximo de ingresos, con los cuales el almacenamiento máximo alcanzado es igual al Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias de Diseño (176.40 m.s.n.m.). Asimismo, se obtuvieron dichas curvas para un NAME de 182.02 (fig. 1.4).

Estas curvas permiten efectuar las siguientes combinaciones:

DADOS	OBTENER
- Almacenamiento inicial y gasto máximo de entrada	Descarga necesaria para llegar al NAME
- Almacenamiento inicial y Descarga propuesta	Gasto máximo de la avenida con que se alcanza el NAME
- Gasto máximo de entrada y descarga propuesta	Almacenamiento de conservación

Si bien estas curvas son sumamente ótiles para fines de operación, no resultan suficientes para propósitos de diseño por tal motivo, fué necesario efectuar análisis adicionales que permitieron llegar a los resultados que se muestran en la tabla 1.2, los cuales muestran de una manera más palpable los efectos de iniciar el tránsito a diferentes niveles de conservación.

Para elaborar dicha tabla, se obtuvo primeramente el almacenamiento máximo alcanzado al transitar la avenida de diseño a partir de diferentes elevaciones iniciales, definiendo así el NAME asociado a cada una de ellas.

Posteriormente se realizaron tránsitos adicionales, para determinar la extracción mínima necesaria para regular crecientes con diversos periodos de retorno, dados la elevación inicial y su correspondiente NAME.

Estos resultados son fundamentales para el análisis hidroeconómico, encaminado a seleccionar el mejor nivel de conservación.

#### 1.5.3 Tránsito de Avenidas por el Cauce de Infiernillo a la Villita.

Debido a la gran capacidad de regulación de Infiernillo, los gastos máximos de descargados son bastante menores a los máximos de entrada; sin embargo se mantienen durante lapsos bastantes prolongados.

Por tal motivo y debido a la corta distancia que separa a las presas, 50 km., la capacidad de regulación del cauce es prácticamente nula y se considera que las entradas a las presa la Villita, debidas a derrames de Infiernillo son iguales a dicha descarga, con un retraso de aproximadamente 18 horas.

#### 1.5.4 Tránsito de Avenidas por el Vaso de la Villita.

Debido a que las principales crecientes generadas en la parte media y baja de la cuenca del río Balsas, son reguladas por Infiernillo, la Villita se mantiene llena durante todo el año. Esto permite a la C.F.E. generar energía eléctrica, de manera bastante eficiente, ya que siempre opera a plena carga esta planta hidroeléctrica. Sin embargo, esto da lugar a que la capacidad de regulación de crecientes de vasos, sea exclusivamente la destinada para el control de avenidas.

Por otra parte, se ha observado que cuando ocurren precipitaciones en esa región, se genera primeramente la creciente en la cuenca propia de la Villita y posteriormente se presenta la avenida en Infiernillo que, al descargar, da lugar a una segunda creciente en la Villita; por lo tanto cuando las descargas de Infiernillo llegan a la Villita, ésta se encuentra ya derramando.

Si además se considera que las descargas de Infiernillo, se mantienen durante lapsos prolongados y que los gastos de diseño de los vertedores de ambas presas son similares (13,800 m<sup>3</sup>/seg en Infiernillo y de 13,886 m<sup>3</sup>/seg en la Villita), es válido considerar que las descargas de la Villita al presentarse una creciente extraordinaria en Infiernillo, son iguales a las descargas de ésta, dada la escasa capacidad de regulación de aquella.

Por lo anterior, es posible relacionar, para cada nivel de conservación analizado para Infiernillo, el periodo de retorno asociado a las crecientes generadas aguas arriba de esta presa, con los gastos de descarga que se presentaran en la Villita.

#### 1.5.5 Tránsito de Avenidas por Cauce Aguas Abajo de la Villita.

En las condiciones actuales del tramo terminal del río Balsas, los gastos máximos que pueden conducirse por el cauce sin causar daños, son del orden de 3,000 m<sup>3</sup>/seg. Al ocurrir descargas de la Villita por arriba de este valor, se presentan desbordamientos en diversos tramos del río.

Por otro lado, dado que las descargas de la presa Villita se mantienen por lapsos mayores que el tiempo de traslado entre ésta y la desembocadura del río Balsas, dichas descargas se conservan a los mismos valores, a lo largo del cauce; ello implica que las obras de protección de la zona industrial se deben diseñar con los gastos de descarga de esta presa. Estos resultados se verificaron con el modelo de Muskingum de tránsito hidrológico en cauces artificiales.

#### 1.6 Objetivos.

El objetivo general, es resolver los problemas hidrológicos que se tienen desde la presa Infiernillo hacia aguas abajo, incluyendo ésta por supuesto; los que sumados a la solución de los demás aspectos técnicos y económicos, nos lleven a determinar la mejor alternativa de operación en todo su conjunto.

En este trabajo, el objetivo principal es realizar la evaluación hidroeconómica, que permita determinar los niveles de operación más convenientes de la presa Infiernillo, con base al tránsito de la avenida de diseño a través del vaso de almacenamiento, así como del aprovechamiento que se obtiene al contemplar diferentes niveles de conservación. Esto permite minimizar los riesgos por inundación, al comparar los beneficios que se generan, si se utiliza alguna alternativa, contra el costo que implica llevarla a cabo.

## 2.- METODOLOGIA UTILIZADA

En el presente capítulo, se expone brevemente la metodología utilizada en el desarrollo de esta tesis.

### 2.1 Generación de Registros Sintéticos.

El primer paso en la construcción de un modelo estadístico de generación de muestras sintéticas, es extraer del registro histórico la información fundamental acerca de la distribución conjunta de la variable (escurrimientos) en diferentes sitios y en diferentes tiempos.

Una vez que se conoce para el registro histórico de escurrimientos, de la presa Infiernillo, el mejor ajuste de distribución de probabilidad, de acuerdo a diferentes métodos, como: Kolmogorov-Smirnov y "Chi" Cuadrada, se generan registros sintéticos (su utilización se explica en el capítulo 3).

Para la generación de registros sintéticos se utilizó el método de Thomas Fiering, el cual considera que la serie cronológica puede descomponerse en dos partes: una determinística y una aleatoria.

Las muestras generadas bajo esta hipótesis, deben respetar los coeficientes de autocorrelación y correlación cruzada de cualquier orden, así como las características estadísticas de la muestra original.

La ecuación recursiva del método es la siguiente:

$$X_{i,j} = X_{j,j} + (r_j S_j / S_j - 1) (X_{i,j-1} - \bar{X}_j) + f_{i,j} S_j (1-r_j)^{1/2}$$

donde:

- $S_j$  Desviación estándar de los datos históricos del mes  $j$
- $X_{i,j}$  Registro sintético generado correspondiente al año  $i$  en el mes  $j$
- $\bar{X}_j$  Media de los datos históricos del mes  $j$
- $r_j$  Coeficiente de correlación cruzada de orden cero (del mes  $j$  con el mes  $j-1$ )
- $f_{i,j}$  Número aleatorio con media cero y desviación estándar uno, para una distribución dada.

## 2.2 Modelo de Funcionamiento de Vaso.

Como es sabido, los usos múltiples que al agua se le asignan, dentro de un proyecto de aprovechamiento hidráulico, generalmente entran en conflicto y ello obliga a buscar las mejores formas de administración del recurso, evitando así incongruencias entre ellos.

Una forma, consiste en tomar decisiones sobre la utilización del agua, en función del conocimiento de las variables que entran en la ecuación de conservación de materia: Almacenamiento, Salidas y Entradas.

Los dos primeros términos se pueden especificar fácilmente, no así las entradas que son resultado de un complejo proceso de escurrimiento en la cuenca.

El problema del desperdicio de los recursos hidráulicos en zonas de disponibilidades limitadas, por el uso irracional del agua, debido a falta de planes de operación razonables, conduce a resolver el problema dándole un enfoque hidrológico. De tal manera que en la operación se minimicen los desperdicios, o sea, se maximicen, para una capacidad útil dada, los volúmenes aprovechables.

### 2.2.1 Extracción con Volumen Constante.

Actualmente la hidrología dispone, para resolver la cuestión anterior, de un método muy usual, que es el funcionamiento de vaso, y consiste en lo siguiente:

- Conocer una serie de características inherentes al vaso en estudio, tales como: curvas elevación-área-capacidades, escurrimientos históricos, NAME,...
- Proponer una capacidad de conservación (capacidad útil más muerta).
- Resolver la ecuación de conservación de masas siguientes:

$$I - O = ds / dt$$

que resulta por incrementos finitos y despreciando las pérdidas por infiltración en vaso y cortina:

$$S_{i+1} = S_i + EN_{i+1} - E_{i+1} - DM_{i+1}$$

sujeta a las restricciones:

$$SM \leq S_{i+1} \leq SC$$

$$I \leq I \leq M$$

$$M = N \times 12$$

donde:

$S_{i+1}$  = Almacenamiento al final del mes

$S_i$  = Almacenamiento al inicio del mes

$EN_{i+1}$  = Entradas netas al vaso en el mes (i+1)

$EV_{i+1}$  = Volumen de pérdidas por evaporación; función de áreas al inicio y final del intervalo y de la evaporación neta del mes (i+1)

$DM_{i+1}$  = Volumen de demanda en el mes (i+1)

$N$  = Número de años de registro

$DM_{i+1} = PD_j \times DA$

$$\sum_{j=1}^{12} PD_j = 1.0$$

$$0 \leq PD_j \leq 1.0$$

en las cuales:

$PD_j$  = % de demanda, respecto al anual, del mes j

$VDA$  = Volumen de demanda medio anual, constante para todos los años de simulación

$SM$  = Capacidad muerta

$SC$  = Capacidad de conservación

Al final de cada mes calcular los derrames o déficit que hubiera, con las ecuaciones siguientes:

$$DR_{i+1} = S_{i+1} - SC_{i+1}$$

$$DF_{i+1} = SM_{i+1} - S_{i+1}$$

valores que deben ser mayores a cero, o cuando mucho iguales a cero, en caso de obtener resultados negativos.

d).- Efectuar el balance final del vaso, o sea: obtención de aprovechamientos, derrames y pérdidas; deficiencias máximas anuales, mensuales y promedio del periodo; el número de años y meses con deficit.



e).- Al comparar el balance del vaso con el criterio de los deficit máximos permisibles se acepta o rechaza la alternativa del volumen de demanda medio anual. Si no se acepta, hay que aumentar o disminuir el VDA hasta encontrar uno en el que éste al limite, en cuanto a los criterios de deficiencias permisibles.

### 2.2.2 Extracción con Volumen Variable.

En el proceso anterior, si se revisan las condiciones de almacenamiento al principio de cada ciclo, o sea cuando  $i = 1, 13, 25, 37, \dots, M-11$  se observa que son diferentes en cada inicio. Esta tendencia también se observa en los datos históricos de funcionamiento de vaso, de una presa; pero al comparar los volúmenes de extracción, éstos son variables en cada inicio del ciclo anual y función del almacenamiento, por lo que no concuerda con lo establecido en el plan de simulación al suponerse volúmenes anuales constantes.

Por lo anterior, se deduce que para la operación de presas se debe seguir relaciones en las cuales el volumen inicial de extracción esté en función del almacenamiento al inicio de cada ciclo, o sea:

$$VA_k = f(ALM_k)$$

donde:

$i = 1, 13, 25, \dots$

$VA_k$  = Volumen de demanda para el ciclo anual ( $k$ )

$$DM_{i+1} = PD_j + VA_k$$

$$VDA = \sum_{k=1}^n VA_k$$

Normalmente la relación de los almacenamientos y volúmenes de extracción puede ser de la forma:

$$VA_k = \alpha (ALM_k)^\beta$$

y que también en forma más sencilla podría establecerse una relación lineal del tipo:

$$VA_k = \alpha + \beta (ALM_k)$$

Por lo que el problema consiste en determinar los valores  $\alpha$  y  $\beta$  que hagan máximo el VDA, sujeto a las restricciones de capacidades máximas de extracción a la presa.

Para solucionar lo anterior, se cuenta con dos criterios: el de "prueba y error" (tanteos) y el de programación no lineal (FIBONACCI).

## 2.3 Equivalencias Financieras.

Las equivalencias financieras son de gran utilidad para los cálculos en donde intervienen tasas de interés, pagos y ganancias que se obtienen con la realización de los proyectos. Además estas equivalencias son aplicadas directamente a todos los criterios de la evaluación. Los cuales llevan implícitos la aplicación de factores de descuento. En este inciso se mencionan los más comunes, y la notación utilizada es la siguiente:

P = Designa una cantidad presente (o actual)

F = Designa una cantidad en una fecha futura

A = Serie uniforme de pagos al final del periodo

i = Tasa de interés

n = Número de periodos

(F/P, i%, n)

### 2.3.1 Factores de Descuento Simples.

Estos tienen como objeto convertir un valor, que se tiene en un tiempo, a otro equivalente en otro tiempo dado. Se aplican estos descuentos para convertir un número que sea factible compararlo con otras alternativas.

#### 2.3.1.1 Factor de Descuento Simple.

Este factor indica el número de unidades monetarias que se han acumulado después de n periodos por cada unidad inicialmente invertida a una tasa del i por ciento.

Si se invierte una cantidad P, después de un periodo de tiempo, se obtiene:

$$F = P (1+i)$$

Cada periodo extra debe ser multiplicado por (1+i), para obtener los intereses después de n periodos, se tiene:

$$F = P (1+i)^n$$

$$(F/P, i\%, n) = F = P (1+i)^n$$

#### 2.3.1.2 Factor de Valor Presente Simple.

Este indica la cantidad que debe ser invertida inicialmente, al i% para obtener una unidad después de n periodos.

$$(P/F, i\%, n) = P = F / (1+i)^n$$

que es inversa respecto al factor anterior.

### 2.3.2 Series de Factores Uniformes Anuales.

Todos los problemas de descuento se pueden resolver por medio de los factores vistos anteriormente. Sin embargo, otros factores pueden facilitar este trabajo, reduciendo en gran número, lo laborioso de estos cálculos.

#### 2.3.2.1 Factor de Series de Cantidades Compuestas.

Este indica el número de unidades monetarias que se acumula si se invierte una unidad a  $i\%$  de interés, al final del periodo  $n$ , la notación es.

$$(F/A, i\%, n) = \frac{F}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i}$$

#### 2.3.2.2 Factor de Series de Valor Presente.

Este factor indica el número de unidades monetarias que se debe invertir inicialmente, al  $i\%$  de interés para obtener una unidad monetaria al final de  $n$  periodos.

$$(P/A, i\%, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

### 2.4 Conceptos de Evaluación de Proyectos Hidroagrícolas.

La realización de un proyecto significa introducir en la economía de un país un elemento dinámico que provoca repercusiones en todo el sistema, el objetivo del proyecto consiste en organizar y presentar los antecedentes necesarios para facilitar una justificación económica.

En el análisis de proyectos hidroagrícolas es necesario tomar en cuenta una distinción de importancia decisiva entre dos puntos de vista complementarios. En todo proyecto de este tipo, interesa conocer, en primer lugar, el rendimiento, la productividad o la rentabilidad global para la sociedad o la economía en su conjunto de todos los recursos que se le destinan, con independencia del sector social que los aporte o del sector social que se beneficie. Ese es el rendimiento social o económico del proyecto y se le conoce como análisis económico.

En cambio para otro tipo de proyectos, las entidades financieras que participan en él, hombres de negocios, empresarios, sociedades privadas, etc., sólo se preocupan del rendimiento del capital social, y se le conoce como análisis financiero.

Esto nos permite ubicar dentro de un contexto económico, las diferencias que hay entre un proyecto hidroagrícola con respecto a otros de diferente índole (por ejemplo un proyecto para

instalar una fabrica de zapatos en una cierta ciudad).

Un método elemental para determinar el rendimiento global de un proyecto, es determinar cuales serian las consecuencias de hacer o no el proyecto. En general, la diferencia es el beneficio adicional neto que se obtendria con el proyecto.

En general, en un proyecto los costos son más fáciles de valorar que los beneficios. Como costos se tendrían, para un proyecto agrícola los siguientes: bienes y servicios, mano de obra, costo de la tierra o producción a la que se renuncia, valorar el arrendamiento de ésta, los impuestos y los subsidios.

Como beneficios agrícolas se tienen: aumento del valor de la producción, mejora de la calidad, cambios de lugar y momentos de venta, cambios de forma, reducción de costos, mecanización, reducción de costos de transporte y beneficios secundarios o intangibles.

La idea básica que inspira el análisis económico de los proyectos es muy sencilla, pues sólo compara los costos y los beneficios de las distintas alternativas para determinar cuales ofrecen mayores beneficios.

Existen tres criterios que se valen y apoyan de la actualización. Estos se aplican comúnmente a los proyectos y son:

- Relación Beneficio-Costo
- Valor Presente de Beneficios Netos
- Tasa Interna de Retorno

Sin embargo hay que hacer incapie en dos puntos: a) Ningún criterio es mejor que otro, b) Sólo es un medio para la toma de decisiones.

#### 2.4.1 Relación Beneficio-Costo.

La relación beneficio-costo se utiliza casi exclusivamente como medida de beneficio social, es decir, para el análisis económico, y con suma frecuencia para los proyectos hidroagrícolas. Su fórmula es:

$$\frac{\text{Valor actual de los beneficios}}{\text{Valor actual de los costos}} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C}{(1+i)^t}}$$

donde:

B = Beneficios en el periodo t

C = Costos en el periodo t

t = Número de periodo

i = Tasa de interés o descuento

Se dice que el proyecto es rentable si el valor de esta relación es mayor o igual a uno.

#### 2.4.2 Valor Presente de Beneficios Netos.

Otra forma de estimar el valor de un proyecto, consiste en deducir los costos de los beneficios anualmente, para determinar la corriente de beneficios netos llamados flujo de fondo y actualizarlo entonces.

La medida más directa del flujo de fondos actualizados para determinar el valor de un proyecto, es el valor neto actual. Este valor es simplemente, el valor actual de la corriente de flujo de fondos.

Su fórmula general es:

$$\text{Valor neto actual} = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

El proyecto resulta rentable cuando esto es positivo.

#### 2.4.3 Tasa Interna de Retorno.

Otra forma de utilizar el flujo de fondos actualizados para medir el valor de un proyecto, es determinar la tasa de actualización que haga que el valor actual del flujo de fondos sea igual a cero.

No hay ninguna fórmula directa para elegir la tasa de interés que hará el flujo de fondos igual a cero. Por lo tanto es necesario hacerlo por tanteos. Se sugiere utilizar el método de Newton-Raphson que es bastante preciso y que no es más que una técnica iterativa para encontrar alguna raíz de una ecuación a partir de un valor inicial.

El valor de la tasa interna de retorno, nos indicará hasta que interés es posible que un proyecto sea rentable.

La duración del periodo de análisis del proyecto es otro factor que no debe descuidarse, ya que dependiendo de la vida útil del proyecto se calculará la duración económica del mismo.

### 3.- ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO

En este capítulo, se describen los análisis realizados del aprovechamiento de la presa Infiernillo, en generación de energía eléctrica.

Con el propósito de conocer el comportamiento del vaso y sus efectos sobre la generación, se analizan varios Niveles de Conservación, con diversos programas de extracción.

#### 3.1 Análisis de la Demanda Anual.

Si tenemos en cuenta que las turbinas con que está equipada la planta hidroeléctrica de Infiernillo, permiten establecer gastos máximos del orden de 1,160 m<sup>3</sup>/seg., es posible efectuar extracciones hasta de 2,970 Mm<sup>3</sup> en un mes; sin embargo, como puede apreciarse en la tabla 3.1 los volúmenes mensuales turbinados son en general, bastantes inferior a este valor.

Esto se debe, por una parte, a que las aportaciones al vaso, no son suficientes para mantener en forma continua un régimen de extracción de tal magnitud; pero la principal causa, la constituyen el hecho de que Infiernillo forma parte del llamado Sistema Interconectado Nacional (SIN).

Dicho sistema, operado por la C.F.E., es la red a través de la cual se distribuye, a casi todo el territorio Nacional, la energía eléctrica que se genera en las diversas centrales que lo alimentan; tanto hidroeléctrica, como termoeléctricas, turbinas,...

Cuando por alguna causa, el consumo de energía eléctrica sufre una variación importante, los programas de generación deben ajustarse, para compensar dicha variación. Asimismo cuando una central queda fuera de servicio, por su programa de mantenimiento o por descomposturas, debe ser sustituida con generación adicional en otras plantas; normalmente hidroeléctricas, debido a la mayor flexibilidad de su operación, con respecto a las termoeléctricas.

Por lo anterior, las extracciones anuales de Infiernillo son sumamente variables y no guardan relación alguna con los almacenamientos registrados al inicio de cada año. La tabla 3.2 muestra las condiciones del almacenamiento al 1o de enero y volúmenes turbinados, para cada año.

Durante este lapso, la extracción mínima anual correspondiente a 1982 con 9,364 Mm<sup>3</sup>; mientras que la máxima, se registró en 1974 y fue de 19,650 Mm<sup>3</sup> con lo que se ve que en el rango dentro del cual variaron las demandas, fue sumamente amplio.

Además, es importante señalar que la distribución de los volúmenes a lo largo de cada año, no sigue una ley específica, sino que presenta también variaciones importantes, la tabla 3.3 presenta las extracciones anuales y los porcentajes correspondientes al volumen turbinado para cada mes; así como algunos valores estadísticos de las mismas.

Pueden distinguirse tres tendencias en la distribución de los volúmenes: Una de ellas, con extracciones en la primera mitad del año más o menos iguales a las de la segunda; otra, con extracciones mayores en los primeros 6 meses; y una última, en la que las extracciones más importantes se realizan en la segunda parte del año y por lo tanto, coinciden con los ingresos máximos.

Es evidente que la influencia de la distribución, sobre el comportamiento del embalse, es sumamente importante, ya que, al coincidir las máximas y mínimas extracciones con los máximos y mínimos ingresos, las variaciones del almacenamiento son menores. Por el contrario, si las extracciones mínimas se realizan durante la época lluviosa en que los escurrimientos son altos, los incrementos en el volumen almacenado serán de bastante cuantía y de aquí el aumento de la probabilidad de derrames.

Es importante destacar que, aún cuando se consideran los factores antes mencionados al efectuar la simulación del funcionamiento del vaso de Infiernillo, el volumen de extracción media anual no constituye por sí mismo, un elemento decisivo al seleccionar los niveles de operación, ya que la energía generada con un volumen dado es función de carga. Por lo tanto, deberá buscarse la mejor combinación de ambos factores; volumen y carga.

Para ilustrar lo anterior, consideremos la figura 3.1 del anexo, que muestra la variación del consumo específico con respecto a la elevación del embalse. Supongamos que se hace pasar a través de las turbinas un volumen de 1000 m<sup>3</sup>; para diferentes elevaciones del nivel del agua se tendría lo siguiente:

ELEVACION DEL EMBALSE (msnm)	ENERGIA GENERADA (KWH)	GENERACION ADICIONAL* (KWH)	% ADICIONAL
140.00	176	0	0
145.00	188	12	7
150.00	202	26	15
155.00	218	42	24
160.00	237	61	35
165.00	259	83	47
169.00	286	110	63

\*-Respecto a la elevación 140.0

Es decir, que a la elevación 165.00 se obtiene casi un 50% más de energía que a la 140.0 (por ejemplo).

### 3.2 Planteamiento de Alternativas-Enfoque Determinístico.

Con objeto de analizar el funcionamiento de vaso bajo diferentes regímenes de extracción, se efectuó la simulación para los siguientes volúmenes de demanda anual (rango de operación en lapso 1969-1982); 9000, 10000, 11000, 12000, 13000, 14000, 15000, 16000, 17000, 18000, 19000 y 20000 millones de m<sup>3</sup>.

Asimismo, se obtuvieron las relaciones Almacenamiento Inicial-Extracción Anual para el 0, 1, 2, 3, 4 y 5% de deficiencia; y se realizó la simulación considerando volúmenes de extracción anual variables, a partir de dichas relaciones.

Con respecto a la distribución de la demanda anual, se tomaron tres diferentes grupos de porcentajes, uno para cada una de las tendencias anteriormente descritas, con el fin de poder comparar sus efectos sobre la evolución del vaso; los valores utilizados fueron:

#### D I S T R I B U C I O N E S

MES	I	II	III
ENE	0.10	0.03	0.08
FEB	0.09	0.05	0.07
MAR	0.14	0.08	0.07
ABR	0.12	0.05	0.06
MAY	0.13	0.06	0.08
JUN	0.13	0.06	0.08
JUL	0.10	0.15	0.09
AGO	0.09	0.16	0.10
SEP	0.05	0.13	0.09
OCT	0.02	0.12	0.10
NOV	0.02	0.06	0.10
DIC	0.01	0.05	0.08
SUMA	1.00	1.00	1.00

I.- Distribución correspondiente a 1982

II.- Distribución correspondiente a 1981



### III.- Distribución correspondiente a 1974

En la tabla 3.3 del anexo, puede apreciarse que: la distribución I, contiene el mayor número de máximos en los primeros seis meses y de mínimos en el período lluvioso, en la III, es la que presenta mayor similitud con la Moda, la Mediana y el Promedio.

Cada una de las condiciones anteriores, se simuló para los siguientes niveles de conservación:

ELEVACION (msnm)	ALMACENAMIENTO (Mm3)
160.00	6,550
161.00	6,832
162.00	7,115
163.00	7,397
164.00	7,679
165.00	7,961
166.00	8,306
167.00	8,651
168.00	8,995
169.00	9,340
170.00	9,723

Se aplica el modelo de computación de simulación del funcionamiento de vaso, en cada una de las alternativas analizadas, el cual proporciona la energía generada (MWh), para cada mes, cada año y la generación media anual; además claro está, del balance hidrológico.

Primeramente, se procesó el modelo considerando que la extracción anual, durante el período analizado, era constante.

Se obtuvieron, para cada nivel de conservación analizado y cada una de las extracciones medias anuales propuestas, los volúmenes de demanda que pueden satisfacerse, así como los derrames y el porcentaje de deficiencia respecto a la extracción propuesta. Pudo apreciarse que, para cualquier elevación, el nivel de deficiencia se incrementa al aumentar el volumen de demanda anual.

Los valores correspondientes a extracciones anuales de 16,000 Mm<sup>3</sup> y mayores, no se consideraron, ya que su porcentaje de deficiencia son muy altos.

También se dedujeron los valores de la generación media anual, para cada una de las alternativas analizadas.

Posteriormente, fué necesario hacer una modificación adicional al modelo, con el fin de considerar volúmenes de demanda anual variable, de acuerdo con las ecuaciones de la tabla 3.4 del anexo; resultantes de un proceso de optimización con el método de Fibonacci.

### 3.3 Elaboración de Curvas de Almacenamiento-Generación Media Anual.

Al comparar los resultados de los dos enfoques: volumen de extracción anual constante o variable, puede verse que, si bien los volúmenes de demanda anual media son mayores al considerar la extracción variable (para un nivel de conservación dado y para niveles de deficiencia similares), la generación media anual no se incrementa en la misma proporción, ya que los niveles del almacenamiento son en general menores.

Tanto para las alternativas con demanda anual constante, como para las variables, los mayores valores de extracción y generación media anual se obtienen para la distribución II y en segundo término los correspondientes a la III. Esto es consecuencia de que, en la alternativa II las mayores extracciones se realizan en los meses húmedos, es decir cuando los niveles en la presa son altos.

Aún cuando desde el punto de vista de generación de energía, la alternativa II pudiera resultar atractiva, tiene el gran inconveniente, para la operación, de que las extracciones máximas coincidirán con los meses en que puedan ocurrir derrames importantes, aunque con baja probabilidad.

A partir de este punto del análisis, se eliminaron las alternativas que consideran la demanda anual en función del almacenamiento inicial. Los resultados de todas las alternativas se muestran en el anexo en las figuras 3.2 a 3.3 y 3.4 a 3.5, que relacionan los niveles de conservación con la generación y demanda media anual.

Con base a los resultados anteriormente comentados, se elaboraron las figuras 3.6 a 3.9, en que se presenta la generación media anual, para las distribuciones II y III, para un porcentaje de deficiencia del 2%. Se seleccionó dicho valor dado que es común a todas las alternativas, con lo que permite rápidamente, compararlas entre sí.

No se consideró en los posteriores análisis a la distribución I debido a que los valores de extracción media anual generados con ella eran inferiores a las demandas con las

restantes distribuciones, además, los porcentajes de deficiencia obtenidos por aquella son mayores a los de las otras dos distribuciones.

De acuerdo con lo comentado en el apartado anterior, se recomienda se utilice la gráfica 3.7, correspondiente a un programa de extracción más uniforme, al efectuar la evaluación económica de los niveles de conservación.

#### 3.4 Estudio con Enfoque Estocástico.

Con objeto de definir la respuesta del aprovechamiento bajo diferentes condiciones de ingreso y para las mismas alternativas de demandas planteadas anteriormente, se generaron series "estocásticas" (sintéticas) de escurrimiento, con el método de Thomas Fiering, para con ellas realizar nuevamente el funcionamiento de vaso.

Los registros históricos de escurrimiento, se presentan en la tabla 3.5 del anexo; asimismo, se incluyen en las principales características estadísticas de los valores mensuales y anuales.

A cada uno de los meses, se ajustaron diferentes distribuciones de probabilidad y mediante los métodos de Kolmogorov-Smirnov y "Chi" Cuadrada, se realizaron las pruebas de bondad de ajuste, con el fin de seleccionar la distribución de probabilidad más adecuada para cada uno de ellos.

Como resultado de lo anterior, se determinó que para los meses de: enero, marzo, mayo, julio, agosto, septiembre; la distribución normal es la que mejor se ajusta a la muestra; para los meses de febrero y octubre tanto la distribución Gamma como la Normal presentan buen ajuste; y para noviembre la Gamma es la que mejor se ajusta. La distribución Beta para los meses de junio y diciembre ofrece los mejores resultados.

Una vez conocida, para cada mes, la distribución que mejor se ajusta a los registros de escurrimiento, se procedió a la generación de los registros sintéticos. Para ello se decidió generar serie de 27 años, la longitud del registro original, y efectuar la simulación del funcionamiento de vaso con 27 años, luego con 54, y así sucesivamente, hasta llegar a un punto en que el volumen de oferta media anual no presentará variaciones significativas al incrementar el número de años de registro.

Conforme se fueron generando las series de 27 años de datos, se determinaron sus principales parámetros estadísticos y se compararon con los de la serie original para verificar que, efectivamente, fueran similares.

Asimismo, tras efectuar esa verificación se realizó el funcionamiento de vaso para todas las alternativas de elevaciones iniciales; volúmenes anuales de demanda y distribuciones mensuales de volumen de extracción anual, que se analizaron para el registro original.

En las tablas 3.6 a 3.9 se muestran, para las distribuciones II y III, así como para las dos opciones de extracción anual, es decir demandas constantes y demandas variables en función del almacenamiento al inicio de cada año, la generación media anual para el registro original y para registros sintéticos formales en 1, 2, 3 y 4 series de 27 años.

Puede apreciarse que si bien existen algunas variaciones entre los resultados con la serie real, con respecto a las generadas, los correspondientes a estas últimas son similares entre sí, independientemente de la longitud del registro; por tal motivo se decidió no generar más de 108 años de registro sintéticos. De los resultados anteriores, es posible decir, que al mantener un régimen de generación más o menos uniforme a lo largo del año, permite un mejor aprovechamiento del agua, que realizar la mayor parte de la generación durante la primera mitad del año.

Aun cuando el generar grandes volúmenes durante el período lluvioso se logra la máxima generación anual, no es recomendable establecer un esquema de tales características, debido a que, como se vio en el análisis de tránsito de vaso, al presentarse una creciente es necesario establecer extracciones de gran magnitud que de coincidir con los meses de máxima generación, ocasionarían daños aún más graves a los intereses asentados en las márgenes del tramo terminal del río.

Debido a que, como pudo apreciarse, la generación media anual que se logra para las diferentes alternativas del funcionamiento de vaso, utilizando registros sintéticos, no muestra una variación significante; y que, para una misma alternativa, las variaciones debidas a considerar diferentes niveles de conservación son mucho mayores que las resultantes de modificar la longitud del registro; se recomienda que se empleen los valores obtenidos con el registro original.

Dado que actualmente las extracciones anuales a Infiernillo no siguen una relación fija, con respecto a los almacenamientos al inicio del año, se utilizará, para la evaluación económica, la figura 3.7, es decir, la correspondiente a Demanda Media Anual Fija, con distribución uniforme a lo largo de cada año; asimismo, se recomienda a CFE vea la posibilidad de realizar la programación anual, con base a las ecuaciones de la tabla 3.4 del anexo.

#### 4.- GENERACION DE ALTERNATIVAS

En este capítulo se mencionan las medidas estructurales que es necesario implantar para la solución del problema, así mismo la obtención de los costos, necesario para la comparación de las alternativas.

Es importante aclarar que la estimación de los costos, se realizó en 1982, por tal motivo se actualizaron de acuerdo a indicadores económicos que proporciona el Banco de México, de la siguiente manera:

El Índice Nacional de Precios al Productor, hasta 1987 que determina el Banco de México, teniendo como año base a 1980 igual a 100, es el siguiente.

PERIODO	INDICE GENERAL
1980	100.0
1981	125.5
1982	197.7
1983	394.1
1984	644.8
1985	1001.0
1986	1796.7
1987	4407.2

Lo anterior nos indica que un bien que se cotizó en 1980 en 100 unidades monetarias, para inicios de 1988 tiene un valor de 4407.2, por lo que el factor de actualización se determina con la siguiente expresión:

$$f.a. = ((\text{Año de Estudio/Año Base}) - 1) \times 100$$

En este caso el Año en Estudio, es el final de 1987 o principios de 1988 (4,407.2) y el Año Base es 1983 (394.1), por lo que el factor de actualización es:

$$f.a. = ((4407.2/394.1) - 1) \times 100 = 1018.29\%$$

Por lo tanto se considera que  $f.a.=10.0$ , con este valor, que se estima aceptable, se actualizaron todos los conceptos económicos que se mencionan en este trabajo.

#### 4.1 Sobrelevación de la Cortina.

Como resultado de los análisis del paso de una creciente por el vaso, puede concluirse que:

En las condiciones actuales de la presa Infiernillo (N.C.=169.00 msnm), al presentarse la avenida máxima probable, el almacenamiento del vaso rebasaría la CORONA, con lo cual se correría un alto riesgo en la estabilidad de la obra. Asimismo, se causaría graves daños aguas abajo de la presa la Villita ya que necesariamente se establecerían extracciones de 13,000 m<sup>3</sup>/seg.

Por lo anterior, durante el período lluvioso de verano, el nivel de operación máximo en la presa deberá ser la elevación 165.00 m.s.n.m., ya que de lo contrario, la avenida máxima probable provocaría el vertido por arriba de la corona, cuyas consecuencias son imprevisibles, pero que se estiman desastrosas.

Sin embargo, aún con la elevación 165.00 como nivel de conservación, la operación de la presa sería sumamente riesgosa, motivo por el cual se considera adecuado recomendar a la CFE sobrelevar la cortina 3.00 m.

De esta forma el NAME se encontraría a la elevación 180.87, que es cercano a la corona actual, con lo que se tendría un bordo libre de 3.00 m.

Si se mantiene un bordo libre de 3.00 m pero la sobrelevación de la cortina fuera de 2.00 m el nivel de conservación requerido estaría en la elevación 161.30. Pero una sobrelevación de únicamente 1.00 m al nivel de conservación se establecería en la elevación 157.50 m (fig. 1.2). De no modificarse el NAME actual, el nivel de conservación debe ser la elevación 147.00 m.s.n.m.

También cabe reiterar que para el nivel de conservación actual (169.00 msnm), al transitar la avenida máxima probable (32,200 m<sup>3</sup>/seg), el nivel de aguas máximas extraordinarias al que se llega con descargas máximas de 13,000 m<sup>3</sup>/seg es el de 182.02, que con el bordo libre de 3.00 m aproximadamente, daría un nuevo nivel de la corona de 185.02; esto es 4.02 m por arriba del actual.

Lo anterior implica que es necesario sobrelevar la cortina de la presa Infiernillo, tantos metros como lo requiera cada alternativa. Cabe mencionar que la extinta Subdirección de Análisis y Programación de Obras de la SARH, cuantificó el costo de sobrelevación, según proyectos preliminares (se muestra en la fig. 4.2 el anteproyecto para una sobrelevación de 5 m). Los costos para sobreelevaciones de 1 a 5 metros con los que se obtuvo la figura 4.1 se dan a continuación:

**SOBREELEVACION A PARTIR  
DE LA CORONA (181 msnm)**

**COSTO EN  
MILLONES DE PESOS**

1	201
2	790
3	1156
4	3662
5	4760

**4.2 Canalización de la Desembocadura del Río Balsas.**

Como ya se ha mencionado, la capacidad actual del cauce, aguas abajo de la presa la Villita y sin causar daños por inundación, es de 3,000 m<sup>3</sup>/seg; esto significa que gastos de descarga en dicha presa en el entorno de este valor hacia abajo, no ocasionan pérdidas; por tanto, gastos de descarga mayores que tal magnitud, ya provocan daños importantes.

Los valores de costos de la canalización para gastos de 13,000 m<sup>3</sup>/seg y 7,000 m<sup>3</sup>/seg, los proporcionó la Dirección General de Grande Irrigación de la SARH, y tomando en cuenta que para 3,000 m<sup>3</sup>/seg, no se requiere canalización, o lo que es lo mismo, se tiene un costo de cero, se dibujó la curva de gastos de descarga, en la presa la Villita, contra los costos de canalización, fig. 4.3, a continuación se muestran dichos costos:

<b>GASTO DE CANALIZACION (m<sup>3</sup>/seg)</b>	<b>COSTO DE CANALIZACION (miles de M\$)</b>
3,000	0
7,000	70
13,000	160

Como límite superior se fijó el gasto de 13,000 m<sup>3</sup>/seg, debido a que se ha aceptado como criterio, regular a este valor la avenida con período de retorno de 10,000 años (cercano a la capacidad máxima del vertedor de la presa Infiernillo).

## 5.- EVALUACION HIDROECONOMICA

De acuerdo al análisis hidrológico hecho para las presas Infiernillo y Villita, en las que se proponen varios Niveles de Conservación para la primera, con los cuales la presa podrá ser operada sin afectar o dañar, en gran parte, intereses como: abastecimiento de agua potable, agricultura, industria, generación de energía eléctrica; o producir daños por inundación.

Al considerar la importancia de la zona y lo que significa no aprovechar racionalmente el recurso agua, es conveniente apoyar las recomendaciones de operación del vaso, a través de la valuación de la productividad del agua en la zona, así como de los daños en la misma, por mala operación del embalse, con la finalidad de racionalizar el uso del agua almacenada.

El análisis consistió en valorar alternativas de riesgo de daños, contra beneficios que se pueden obtener al operar la presa con diferentes Niveles de Conservación; para lo anterior, se combinaron criterios probabilísticos y económicos en un análisis de toma de decisiones para seleccionar el nivel de conservación más conveniente, que refuerce la proposición de operación dada en el análisis hidrológico.

Para lograr lo anterior se estimaron los valores de la producción: agrícola, industrial, de generación de energía eléctrica; así como los daños por inundación a: Infraestructura, producción y zonas urbana y rural.

También se consideró el monto de las inversiones presentes y futuras en el Puerto Industrial Lázaro Cárdenas, para deducir los daños que por inundaciones pueden sufrir éstas.

### 5.1 Estimación de los Valores de la Producción.

#### 5.1.1 Producción Agrícola.

El principal demandante de agua para la actividad agrícola es el Distrito de Riego No. 108 (José Ma. Morelos), el cual se localiza en los estados de Guerrero y Michoacán; y cuenta con una superficie de riego en proyecto de 15000 ha.

Al analizar la información, de los valores de las cosechas y el volumen de agua que demandaron los cultivos, en los ciclos agrícolas de 1979 a 1984 (tabla 5.1 y del anexo), se decidió trabajar únicamente con el valor de la producción del ciclo 1982-1983, en virtud de ser el más alto valor real de la productividad del agua (no deducido).

De la información citada, se obtuvo que el valor de la productividad por hectárea asciende a \$ 2,253,600.0 y que el consumo total de agua en las 8,411 ha., que en ese ciclo se cultivaron, fue de 166 Mc3.



### 5.1.2 Producción Industrial.

En este renglón se consideran los costos de los productos que elaboran las empresas establecidas en el Puerto y sus diferentes consumos de agua.

Los requerimientos de agua se obtuvieron de la información que proporcionó FONDEFORT y por algunas de las empresas ya establecidas en el Área (tabla 5.2 del anexo); en lo que a producción se refiere, se analizó la información recabada y se decidió trabajar únicamente con la correspondiente a tres empresas importantes, que cuentan con datos de producción actualizados y que están en operación, aunque en forma parcial; dichas empresas son: NKS (Nafinsa-Kobel-Steel-Sidermex), FERTIMEX (Fertilizantes Mexicanos) y SICARTSA (Siderúrgica Lázaro Cárdenas - Las Truchas, S.A.).

Para las tres empresas anteriores, se consignan los datos del valor de la producción anual, que alcanzó un total de 1,113,910 millones de pesos, con un consumo de agua total de 338.95 Mm3.

### 5.1.3 Generación Hidroeléctrica.

Tanto la presa Infiernillo, como la Jose Ma. Morelos, son en la actualidad las más importantes en la región de generación hidroeléctrica Balsas-Santiago; la que es una de las principales fuentes de generación de energía del sistema eléctrico nacional, por lo que resulta imprescindible tomar en cuenta cómo afectará, en este campo, la implantación de nuevas políticas de operación en las presas antes mencionadas.

Del análisis del registro histórico de producción de energía eléctrica y volumen de agua turbinado (información que proporcionó el Departamento de Generación Hidroeléctrica de la CFE, tabla 5.3 del anexo), se obtuvo el promedio anual de la producción de estas centrales y con los costos de generación actualizado (según f.a. del capítulo 4) de \$ 2.06 para generar un kwh en la presa Infiernillo y de \$ 1.54 para generar un kwh en la Villita, se calcularon los siguientes valores de la producción anual.

CENTRAL	PRODUCCION (MWH)	VALOR DE LA PRODUCCION (MILLONES DE PESOS)	VOLUMEN DE AGUA TURBINADO
Infiernillo	3100799	6390	15428
Villita	1141684	1760	11839

Al plantear en esta forma el valor de la producción de energía eléctrica, no nos da ningún indicio de cómo se afectaría la generación al adoptar diferentes niveles de conservación y puesto que es uno de los conceptos importantes en el análisis, se trató en forma especial, de la siguiente manera:

Del capítulo 3, concerniente al funcionamiento de vaso, se utilizó la gráfica de elevación-incremento de generación anual (fig. 3.6), para generar la tabla 5.3-a del anexo.

Esta tabla nos da para cualquier nivel de conservación en el rango de 160 a 169 m.s.n.m., la generación eléctrica en Gwh que se gana (+) o se deja de generar (-), al pasar de un nivel a otro.

Con los datos de la tabla anterior, el costo de generación de un Gwh y una vez establecido el nivel al que se va a operar la presa, se puede obtener el valor de la producción de energía eléctrica.

Por ejemplo, con el Nivel de Conservación de diseño original de 169 m.s.n.m. y al considerar que la energía eléctrica que se deja de producir por bajar de esta cota, se tiene que generar por turbinas a un costo de \$ 80/kwh, se tendrían los siguientes costos:

ELEVACION (m.s.n.m.)	GENERACION ELECTRICA (Gwh)	COSTO DE GENERACION POR TURBINAS (Millones de pesos)
169	0.0	0
168	85.0	6,800
167	166.0	13,280
166	249.5	19,960
165	347.5	27,800
164	438.5	35,080
163	516.5	41,320
162	597.5	47,480
161	690.0	55,200
160	777.5	62,200

## 5.2 Estimación de la Productividad del Agua Para Uso Agrícola, Industrial y Generación Hidroeléctrica.

Debido a que el agua es uno de los principales factores de producción para las empresas establecidas en la zona industrial de la desembocadura del Río Balsas, es indiscutible que tiene su valor de oportunidad; por lo anterior, es necesario asignarle un valor que nos permita conocer, por una parte, los beneficios que se aportan a la economía y por la otra, las pérdidas por su manejo.

Para obtener dicho valor del agua, se relacionaron los valores de la producción anual, antes obtenido, con el volumen de agua consumido en la misma; de esta forma se llegó a los siguientes valores:

USO	VALOR DE LA PROD. (Millones de pesos)	VOL. DE AGUA UTILIZADO (Mm <sup>3</sup> )	PRODUCTIVIDAD DEL AGUA (\$/m <sup>3</sup> )
<b>AGRICOLA</b>			
Riego	18,960	166	114.1
<b>INDUSTRIAL</b>			
NKS	287,920	32	900.0
FERTIMEX	376,090	118	3190.0
SICARTSA	473,900	189	2510.0
<b>GENERACION HIDROELECTRICA</b>			
Infiernillo	6,390	15428	0.410
La Villita	1,760	11839	8.150

Como el volumen de agua que se utiliza en la agricultura y en la industria, prácticamente es el que se turbinó y además son pequeños, si se comparan con los volúmenes de generación, se pueden despreciar. Por otra parte y para reforzar esta idea, se observa del registro histórico de escurrimientos mensuales, que con el minio presentado se podría satisfacer esta demanda.

### 5.3 Pérdidas por Extracción de Agua.

Además del valor que en sí tiene el agua almacenada, se calcularon las pérdidas que se originan al dejar de fabricar o producir bienes, debido a las extracciones de agua que se realizan, con el fin de alcanzar un cierto nivel de almacenamiento, de acuerdo a las políticas de operación de los embalses. En este caso, se consideran como pérdidas el valor de los bienes que se dejan de producir.

En el análisis se manejan diez alternativas de nivel de conservación, y puesto que a mayor almacenamiento entonces mayor oferta y por tanto mayores beneficios, se consideró que el almacenamiento de la presa está en la elevación 169 que corresponde al Nivel de Conservación de diseño, y que se debe dejar de almacenar un volumen de agua para pasar de este nivel a los niveles de conservación más bajos propuestos; de esta forma, a cada nivel de conservación le corresponde un volumen medio anual de agua no aprovechado y su respectivo costo. Se calcularon

las pérdidas para la agricultura, industria y de generación eléctrica en las presas Villita e Infiernillo . Con estos cálculos y una vez decidido el Nivel de Conservación, se pueden hacer los ajustes, referidos a este último, muy fácilmente con la tabla 5.4 del anexo.

#### 5.4 Inversiones Presentes y Futuras en el Puerto Industrial Lázaro Cárdenas.

El Gobierno Federal ha señalado actuaciones concretas a la industria paraestatal, para indicar acciones a desarrollar en zonas geográficas definidas, como la zona industrial en la desembocadura del Río Balsas que se considera un polo de desarrollo prioritario. Las inversiones presentes y futuras que se realicen en esta región, para generar beneficios y fomentar el desarrollo económico y social con repercusiones "micro" y "macro", son altamente significativas, por lo que fué necesario considerar la protección de la infraestructura contra las inundaciones.

La información de dichas inversiones, la proporcionó la Dirección de Puertos Industriales, del Fondo Nacional para los Desarrollos Portuarios (FONDEPORT). Con las inversiones así actualizadas se hizo un resumen y los resultados totales a que se llegó fueron los siguientes:

Monto total de las inversiones de las empresas asentadas en el Puerto Industrial Lázaro Cárdenas.	3,824,560	Millones de pesos
Monto total de las inversiones para las dependencias gubernamentales.	3,110,840	Millones de pesos
Total de las inversiones	6,935,390	Millones de pesos

#### 5.5 Estimación de los Daños Causados por Inundaciones.

De acuerdo con el proyecto número 6 del volumen siete, para la rectificación del brazo izquierdo del Río Balsas, que integró la Comisión Nacional Coordinadora de Puertos, se determinó que el Área agrícola expuesta a inundaciones es de 1,000 ha, sin considerar las islas de la Palma y el Cayacal.

En dicho proyecto también se reportan porcentajes de daños por inundaciones para gastos de 3000, 5000, 7000, 10000, y 13000 m<sup>3</sup>/seg causados a la infraestructura, a la agricultura, a la

producción industrial y a las zonas urbana y rural de las poblaciones: Lázaro Cárdenas, El Naranjito y Zacatula.

Se procedió a calcular los daños totales de la siguiente forma:

- Daños a la Infraestructura Industrial- Se calculó anteriormente que la inversión total de las empresas ascendía a 3,924,560 millones de pesos y al multiplicar este valor por los porcentajes de la zona industrial afectada y el valor del daño, se obtiene lo siguiente:

GASTO (m3/seg)	3000	5000	7000	10000	13000
% ZONA INDUSTRIAL AFECTADA.	0	35	50	70	95
% VALOR DEL DAÑO	0	4	7	12	20
TOTAL DE LOS DAÑOS EN MILLONES DE \$	0	53,550	133,860	321,260	726,670

- Daños a la Infraestructura Gubernamental.- En este caso, el valor total de las inversiones para dependencias gubernamentales que resultaron del orden de 3,110,840 millones de pesos, se afectaron por el porcentaje del valor de daños, resultando lo siguiente:

GASTO (m3/seg)	3000	5000	7000	10000	13000
% VALOR DEL DAÑO	0	7	10	15	15
TOTAL DE LOS DAÑOS EN MILLONES DE \$	0	217760	311080	466630	622170

- Daños a la Producción Industrial.- Como el proyecto número 6, ya mencionado, asigna para cada gasto de descarga el tiempo que dura la inundación, se procedió primero a calcular el valor diario de la producción industrial, que resultó ser de 3,117.6 millones de pesos (el valor de la producción anual se había calculado en 1,137,910 millones de pesos), que al multiplicarse por los días que dura la inundación, da el daño asociado a cada gasto de descarga, como se aprecia en la tabla siguiente.

GASTO (m3/seg)	3000	5000	7000	10000	13000
DURACION DE LA INUNDACION (días)	0	3	7	12	20
DAÑOS EN MILLONES DE PESOS	0	9350	21820	37410	62350

- Daños a la Producción Agrícola.- Para computar los daños a la producción agrícola, se aplicaron los porcentajes del área afectada (el 100% del área se considero en 1000 ha) y el valor del daño, al valor de la producción que se calculó anteriormente en \$ 2,253,600 /ha.; se obtuvo lo siguiente:

GASTO (m3/seg)	3000	5000	7000	10000	13000
% DE AREA AFECTADA	0	15	30	60	100
% VALOR DEL DAÑO	0	25	40	60	90
DAÑOS EN MILLONES DE PESOS	0	80	270	810	2030

- Daños a la Zona Urbana.- En este renglón, se consideran los daños de acuerdo al tipo de construcciones en las poblaciones de Lázaro Cárdenas, El Naranjito y Zacatula; se toma en cuenta además, el número de habitantes.

De la misma fuente se obtuvo que el valor de daños por inundaciones es de 3,000,000 de pesos por habitante, para la población de Lázaro Cárdenas; y de 1,000,000 de pesos para las poblaciones de El Naranjito y Zacatula. El número de habitantes para estas poblaciones se consideró de 97,000 para Lázaro Cárdenas y de 2,759 para las otras dos poblaciones.

Con la información anterior y los porcentajes de zona afectada y valor del daño, se llegó a lo siguiente:

GASTO (M3/SEG)	% ZONA AFECTADA		% VALOR DEL DAÑO		DAÑOS EN M DE \$		
	L.C.	NARAN. Y ZAC.	L.C.	NARAN. Y ZAC.	L.C.	NARA. Y Z.	TOTAL
3000	0	0	0	0	0	0	0
5000	0	20	15	50	0	280	280
7000	10	40	15	60	4370	660	5030
10000	20	65	15	75	8730	1340	10070
13000	50	100	15	100	21830	2750	24580

La información procesada, como antes se expresa, se resumió en la figura 5.1, de Daños Totales contra Gastos de Descarga.

A continuación, se procedió a determinar los daños totales sin obra de protección, asociados a diferentes Niveles de Conservación en la presa Infiernillo y a sus correspondientes gastos de descarga, para gastos pico de entrada desde 12,000 a 32,000 m3/seg, con periodos de retorno de 400 a 10,000 años.

respectivamente. Lo anterior se hizo con las gráficas de daños calculados como ya se ha descrito y con apoyo en la información del análisis hidrológico (fig. 1.4). Un resumen final de los daños asociados a cada elevación y a cada gasto de avenida, se dan en la tabla 5.5.

### 5.6 Aplicación de la Teoría de Decisiones para Seleccionar el Nivel de Conservación Óptimo.

Primeramente, se señala que en el capítulo tres se concluyó que la avenida de diseño de 32,200 m<sup>3</sup>/seg para un período de retorno de 10,000 años, no se puede controlar con una descarga de 13,000 m<sup>3</sup>/seg., en las condiciones actuales. Para dar una idea de los daños que ocasionaría esta avenida, considerando que el almacenamiento máximo que se alcanza en la presa es el de la corona (se puede apreciar en la figura 1.2 que el almacenamiento inicial máximo para estas condiciones es el correspondiente a la elevación 165 m.s.n.m.), se presenta la siguiente tabla:

ELEVACION (m.s.n.m.)	160	161	162	163	164	165
Q DESCARGA (m <sup>3</sup> /seg)	10000	10600	11500	11850	12500	13000
DAÑOS EN (millones de \$)	870310	960000	1125000	1185000	1323000	1439810

Para la alternativa de Nivel de Conservación de 165.00 m.s.n.m., se tendría que sobrelevar la cortina 3 metros, altura que según los costos del proyecto preliminar, representan 1156 millones de pesos.

Por lo anterior, en la integración del árbol de decisiones (fig. 5.2) intervendrá: la esperanza matemática de los daños totales por inundación; los costos de sobreelevación, de acuerdo a las propuestas en el análisis hidrológico y los costos de generación de energía; que como ya se ha dicho, es un concepto muy importante al considerar que se tiene que hacer con turbinas.

Se considerará también como referencia, la elevación de 169.00 m.s.n.m. que corresponde al Nivel de Conservación de diseño.

#### 5.6.1 Conformación del Árbol de Decisiones.

En la conformación del árbol de decisiones, se utilizó la información ya referida en la tabla 5.5, donde al multiplicar la probabilidad de ocurrencia de cada gasto de avenida por los daños, se obtuvo la esperanza matemática de los mismos; los costos de generación por turbinas deducidos en la sección 5.1.3 y los costos de sobreelevación ya citados.

Como ejemplo ilustrativo, se calcula la rama del árbol de decisiones para la elevación 160 m.s.n.m. De la tabla 5.5, se ve que para esta elevación, los daños que se asocian a avenidas de 26000, 28000, 30000 y 32200 m<sup>3</sup>/seg con probabilidad de ocurrencia de 0.00053, 0.00021, 0.00019 y 0.0001 respectivamente, son de 199030, 428530, 747430 y 1439810 millones de pesos en cuanto a las pérdidas por volumen de agua que se deja de aprovechar en la generación de energía eléctrica, se deduce de las tablas de la sección 5.1.3 que son del orden de 62,000 millones de pesos.

Por último se observa del análisis hidrológico que para un nivel de conservación en la elevación de 160 m.s.n.m., se tendría una sobrelevación de 1.6 m que representa un costo aproximado de 500 millones de pesos.

Con lo anterior se obtiene la esperanza matemática en la forma siguiente:

$$\begin{aligned}
 199,030 \times 0.00053 &= 105.5 \\
 428,530 \times 0.00021 &= 124.3 \\
 747,430 \times 0.00019 &= 142.0 \\
 1,439,810 \times 0.00010 &= 144.0 \\
 \hline
 &515.8
 \end{aligned}$$

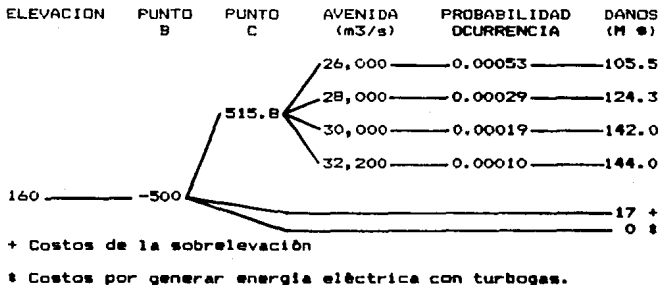
Donde el valor de 515.8 es lo que se llama equivalente bajo certeza (punto C del árbol de decisiones); este valor se suma a los costos de sobrelevación y se resta de los costos de generación para obtener el balance de las pérdidas y beneficios para la elevación 160 m.s.n.m. (punto B del árbol de decisiones), que en este caso resultó ser de -500 millones de pesos.

Cabe aclarar que para que puedan ser comparables los valores de sobrelevación, daños por inundación y generación y puesto que estos dos últimos son un promedio anual, los costos de sobrelevación se están considerando distribuidos en 30 años, o sea que se tomó un horizonte económico de treinta años.

También se aclara que se tomó como nivel de referencia la elevación 160 m.s.n.m. por lo que al ir aumentando la elevación por una parte aumentan los daños (daños por inundación y costos de sobrelevación) y por otra aumentan los beneficios (generación de energía eléctrica).



Para el ejemplo en cuestión el diagrama queda representado de la forma siguiente:



De la forma antes descrita se estructuraron los árboles de decisión de las figuras 5.2-a y 5.2-b, para niveles de conservación propuestos desde 160 a 169 m.s.n.m. y se consideró en el primero, el costo de la generación hidroeléctrica.

Para el primer caso se puede observar del árbol de decisiones que como los costos de generación por turbogas son muy grandes, en comparación con la esperanza matemática de los daños debidos a inundación y los costos de sobreelevación; el punto B, que es el que se toma de referencia para la selección del nivel de conservación, presenta valores altos para niveles altos.

De lo anterior se desprende que una primera recomendación es fijar el nivel de conservación en la elevación 169 m.s.n.m., que es la original de diseño; esto es pasar de la elevación 165 m.s.n.m., que es la más alta que permite actualmente controlar la avenida de diseño, con un almacenamiento máximo extraordinario (NAME) igual al nivel de la corona actual (181.0 m.s.n.m.).

Con lo anterior se obtendrían 4 metros adicionales, de carga para generación firme, lo que representa un beneficio de 27,120 millones de pesos; mientras que la esperanza matemática de los daños por inundación y el costo de sobreelevación apenas se incrementarían en 314.4 y 59 millones de pesos respectivamente (esto se puede observar de la fig. 5.2-a).

Para el segundo caso (generación hidroeléctrica) se puede ver de la figura 5.2-b, en los valores del punto B, que estos son positivos y se incrementan a partir de la elevación 165 m.s.n.m. hacia arriba, es decir a partir de esta elevación se obtienen beneficios y que el punto donde éstos y los daños son iguales, se encuentra entre las elevaciones 164 y 165 m.s.n.m.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Por lo anterior se infiere que para condiciones actuales de operación, se adopte como nivel de conservación la elevación 165 m.s.n.m.; para el cual, como ya se vió en la parte del análisis hidrológico, se requeriría sobrelevar la cortina 2.9 metros.

Se hace énfasis en que la sobrelevación es rentable siempre y cuando exista factibilidad técnica para realizar su construcción.

#### 5.7 Análisis Hidroeconómico de la Canalización de la Desembocadura del Río Balsas.

Como último objetivo de los propuestos, con este análisis se pretende determinar la capacidad más conveniente, desde el punto de vista económico, de la canalización que se tiene contemplada en la desembocadura del Río Balsas, con el fin de proteger del efecto nocivo de las inundaciones a las zonas productivas y asentamientos humanos, ubicados aguas abajo de la presa La Villita.

En términos generales, se puede decir que la evaluación consiste en comparar los costos de la canalización con los beneficios generados por los daños evitados al tener dicha canalización.

La mejor alternativa será aquella en la que se alcancen los valores más altos de los indicadores económicos que normalmente se utilizan, como son: máxima relación beneficio-costo, máximo beneficio neto y tasa interna de retorno.

A continuación, se describe cómo se realizó dicha evaluación hidroeconómica, con los resultados a que se llegó, para un nivel de conservación en la presa Infiernillo de 165 m.s.n.m., del cual ya se comentó su característica.

A partir del valor límite de 3,000 m<sup>3</sup>/seg, que no causa problema de inundación, para gastos mayores a éste se elaboró la curva de daños-gastos de descarga de la fig. 5.1.

Esta curva se generó con base en la información de daños ya descrita en el presente capítulo. Para cada gasto superior a los 3,000 m<sup>3</sup>/seg, se tiene su correspondiente valor de daños. Estas cantidades se graficaron de la siguiente manera: en el eje vertical se anotaron los daños totales, y en el eje horizontal los valores de los gastos de descarga que ocasionaron dichos daños. Fue así como resultó la curva ya mencionada.

Como los gastos de descarga están relacionados a periodos de retorno, se determinó también la probabilidad de ocurrencia, con la fórmula  $p = 1 / tr$ , la cual aparece en la fig. 5.3, la que usa los datos de la fig. 5.1.

De la curva de la fig. 5.1, se dedujeron a su vez las curvas de daños contra gastos de descarga (probabilidad de ocurrencia), para condiciones de: sin canalización y con canalización; estas

últimas condiciones para gastos de diseño de 4,000 a 13,000 m<sup>3</sup>/seg; fig 5.3.

La curva de la fig. 5.1, es la relación actual de daños-gastos de descarga; por tanto, representa la condición sin canalización. En la fig. 5.3, es la curva superior.

Para una canalización de 4,000 m<sup>3</sup>/seg, significa que gastos de descarga de este valor hacia abajo, no ocasionan daños. Entonces la curva de daños-gastos de descarga debe de partir del punto (4000, 0). Gastos de descarga superiores a 4,000 m<sup>3</sup>/seg, ya provocan daños para esta capacidad de canalización. Por ejemplo, si se presenta un gasto de 5,000 m<sup>3</sup>/seg, se controlan 4,000 m<sup>3</sup>/seg, y los restantes 1,000 m<sup>3</sup>/seg, ocasionan daños. Se consideró que los daños que se tienen con estos 1,000 m<sup>3</sup>/seg, se pueden deducir de la misma fig. 5.1 Para otros gastos de descarga, se sigue un procedimiento similar; con lo que se genera así la curva de daños-gastos de descarga que representa la condición de una canalización con capacidad de 4,000 m<sup>3</sup>/seg. Para otras capacidades de la canalización se repite el proceso; de esta manera se deduce la familia de curvas de la fig 5.3.

Con base en estas últimas curvas, se calcularon las esperanzas matemáticas de los daños para todas las condiciones antes referidas; según la expresión general que usa los daños y sus probabilidades, y de aquí los beneficios esperados.

Por ejemplo, para calcular los beneficios que representa la canalización de 4,000 m<sup>3</sup>/seg, se obtiene la esperanza de daños sin canalización y con canalización de 4,000 m<sup>3</sup>/seg. La diferencia de estos valores (esperanza matemática de daños sin canalización, menos la esperanza matemática de daños con canalización de 4,000 m<sup>3</sup>/seg), representa los beneficios esperados cada año. En la fig. 5.3, este valor se representa por el Área sombreada. De la misma manera, se obtienen los beneficios para los demás valores de canalización, que se representan en la columna 5, de la tabla 5.6.

De la curva 5.1, se deducen los costos de la canalización para diferentes gastos. Se supuso que estas inversiones se aplican en dos años; columna 4, de la tabla 5.6.

De considerarse un horizonte económico de 30 años, se calculó el valor presente de los beneficios que representa cada uno de los proyectos, para tasas de descuento del 15 al 30%. Columnas 7 y 11, de la tabla 5.6. También se dedujo el valor presente de los costos de canalización, para las mismas tasas de descuento; columnas 6 y 10 de la misma tabla 5.6.

Una vez obtenidos los valores actualizados de los beneficios y costos, se calcularon los valores de los siguientes indicadores económicos: relación beneficio-neto, valor presente de los beneficios netos y tasa interna de retorno, columnas 8, 9, 12, 13 y 14 de la tabla 5.6.

Cabe mencionar que todo lo que anteriormente se expresó, corresponde a una política de operación "óptima" de la presa Infiernillo (mínimo gasto de descarga); según los resultados presentados en el capítulo 3.

Para otras políticas de operación de la presa Infiernillo, más rígida, la probabilidad de ocurrencia de un determinado gasto aumenta; y, en consecuencia, los valores de los indicadores económicos se modifican también.

Por ejemplo, con la probabilidad de ocurrencia-gastos de descarga que aparecen en la tabla 5.7, columna 1, 2 y 3, y mediante un procedimiento de cálculo exactamente igual al ya descrito, se llegó a los resultados que aparecen en la misma tabla 5.7.

En la tabla 5.6, que contiene los resultados con la política de operación "óptima" en la presa Infiernillo, los indicadores económicos alcanzan valores bajos. Esto se debe a que la presa se opera de una manera muy favorable; es decir, que se tienen gastos de descarga que provocan daños con periodos de retorno muy altos. Dicho de otra manera, el gasto de 4,000 m<sup>3</sup>/seg, que en condiciones actuales ya ocasiona daños, tiene un periodo de retorno de 1,070 años.

De la tendencia de la variación del indicador beneficio-coste, se deduce que mientras más pequeña es la canalización, aumenta dicha relación.

Con respecto a la tabla 5.7, los indicadores alcanzan valores mayores; lo cual se debe a que la presa se opera con la misma política de operación para cualquier creciente; de tal manera que se tienen gastos de descarga que ocasionan daños, para periodos de retorno bajos. Por ejemplo, el gasto de 4,000 m<sup>3</sup>/seg, está asociado a un periodo de retorno de 17 años.

De la tabla 5.7, se observa que para una tasa de descuento del 15%, se tiene que el mayor beneficio neto (81,400 millones de pesos) corresponde a la canalización de 6,000 m<sup>3</sup>/seg. La relación beneficio-coste es de 2.6. La tasa interna de retorno es de 36.13%.

De la misma tabla 5.7, pero para una tasa de descuento de 30%, el mayor beneficio neto se alcanza para la canalización de 5,000 m<sup>3</sup>/seg; dicho beneficio neto es de 21,150 millones de pesos. La relación beneficio-coste es de 1.63 y la tasa interna de retorno es de 42.02%.

Aún para una operación rígida de la presa Infiernillo, como es la que se indica en la tabla 5.7, se infiere que la canalización debe hacerse para gastos bajos. Estos resultados corroboran que una canalización con capacidad para 5,000 m<sup>3</sup>/seg, es buena; ya que cualquier indicador económico está dentro de límites aceptables.

## 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dada la magnitud de la presa Infiernillo, la gran importancia que tiene dentro del sistema interconectado nacional para distribución de energía eléctrica, las grandes inversiones realizadas y por realizar en el complejo industrial de la desembocadura del Río Balsas y, ante todo, los importantes asentamientos humanos de aguas abajo de dicha presa, hacen necesario que la presa garantice condiciones de seguridad.

Al transitar la avenida de diseño propuesta, en condiciones actuales de proyecto, se rebasa la corona de la cortina, lo que implica que deben estudiarse y ejecutarse modificaciones considerables en esta presa, que la conviertan en una obra confiable.

De conservarse el NAME actual, el nivel de conservación requerido para transitar la avenida de diseño propuesta, debe ser la elevación de 147.00 m.s.n.m.

Al transitar la misma avenida a partir de la elevación 169.00, Nivel de Conservación de diseño, se alcanza la elevación de 182.10, por lo cual se requeriría sobrelevar la corona 4.00 m (respecto a su parte central de la cortina).

Mientras no se ejecuten las modificaciones que requiere la presa, se propone que durante el periodo lluvioso de verano, la elevación del Nivel de Conservación sea la 165.00 m.s.n.m. como máximo.

Se propone, que en caso de ser necesario, se hagan las modificaciones o adaptaciones a todas las compuertas de la obra de excedencia, para que sean capaces de conducir, durante lapsos prolongados, gastos hasta de 13,000 m<sup>3</sup>/seg.

Del análisis del funcionamiento de vaso, es evidente que disminuciones pequeñas en el Nivel de Conservación, repercuten en forma muy importante en la energía generada anualmente por este vaso.

Se recomienda que la programación anual de las extracciones se haga mediante el empleo de métodos de optimización que llevan a ecuaciones como las mostradas en la tabla 3.4 (por ejemplo); las cuales permiten incrementar en forma importante, el volumen aprovechado.

Se propone que para un futuro próximo, la CFE restituya el Nivel de Conservación a la elevación 169.00 m.s.n.m.} ya que como se dijo en el capítulo 5, para esta elevación los beneficios por generación de energía eléctrica, que desde el punto de vista son los más importantes, sobrepasan por mucho a los daños causados por inundaciones aguas abajo de la presa La Villita y a los costos de sobrelevación de la cortina; que para este caso sería del orden de los 4 m.

De la variación del índice de B/C, se propone que se diseñe la canalización para un gasto de descarga bajo. Se sugiere un valor de 5,000 m<sup>3</sup>/seg, que le corresponde a un periodo de retorno de 1,740 años, con la operación óptima y, a 26 años, con la operación rígida. La relación beneficio-costo para esta última, es de 3.04, con tasa de descuento de 154% y de 1.63, con tasa de descuento de 30%.

Por último, que dentro de la etapa escalonada de inversiones en la canalización del Bajo Río Balsas, pudiera solamente requerirse de las obras del bordo margen derecha, del brazo izquierdo, con las correspondientes protecciones perimetrales de los poblados de Zacatula, Naranjito y San Francisco.

A N E X O

AVENIDA DE DISEÑO

INSTANTE	GASTO m <sup>3</sup> /seg	INSTANTE	GASTO m <sup>3</sup> /seg
0	0	21	30,700
1	450	22	29,500
2	820	23	28,200
3	1,100	24	26,500
4	1,500	25	24,900
5	2,400	26	23,000
6	3,600	27	20,800
7	4,800	28	18,700
8	6,800	29	16,900
9	8,500	30	15,400
10	10,200	31	13,700
11	12,000	32	12,300
12	14,500	33	11,000
13	23,300	34	10,200
14	26,600	35	8,100
15	26,800	36	6,700
16	27,000	37	6,000
17	27,200	38	5,200
18	29,150	39	4,600
19	31,500	40	4,000
20	32,200	41	3,800

El intervalo entre puntos es de 4 horas.

Vol. = 12,480 Millones de m<sup>3</sup>.

TABLA 1.1



PIRUSA INFIERNILLO, M.D.T.

ALMACENAMIENTOS MAXIMOS ASOCIADOS A DIFERENTES ALMACENAMIENTOS INICIALES, Y  
GASTOS DE CONTROL PARA AVENIDAS CON DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

GASTO	Tr	PROB. DE OCURRENCIA	ELEVACION INICIAL m.s.n.m										
			160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
m3/s	AÑOS		ELEVACION MAXIMA ALCANZADA PARA Tr = 10 000										
			179.58	179.89	180.14	180.39	180.62	180.87	181.13	181.41	181.75	182.02	182.30
82800	10000	0.0001	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000	13000
30000	5000	0.0002	10051	10147	10208	10271	10375	10400	10442	10528	10600	10657	10695
27500	3000	0.0003	7123	7198	7292	7444	7554	7642	7691	7831	7932	8045	8132
25000	1800	0.0006	4880	4755	4930	5022	5190	5284	5396	5541	5708	5857	5967
22500	700	0.0014	3000	3000	3000	3084	3248	3441	3501	3785	3987	4288	4565
20000	400	0.0025				3000	3000	3000	3000	3000	3000	3046	3349
17500	300	0.0033										3000	3000
15000	75	.0133											

TABLE 111

REGISTRO DE EXTRACCIONES MENSUALES DE LA PRESA INFIERNILLO, MICH. (Am3)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1969	1418.4	1342.7	1342.2	1151.2	961.4	686.7	829.5	824.3	1659.7	1014.6	1116.5	1210.0
1970	1102.3	939.0	1199.7	1171.0	1149.1	1134.0	1475.8	1427.7	1331.5	1353.4	1345.1	1315.9
1971	1292.4	1154.0	1072.0	824.6	943.0	959.1	1015.8	719.1	1361.4	1488.9	1187.0	859.5
1972	542.0	974.0	1020.0	1109.0	1128.0	1163.0	1375.0	1418.4	1325.3	1334.9	839.0	1090.8
1973	1313.0	1216.0	1324.4	918.0	746.0	837.0	1259.0	1182.0	1098.0	1228.0	1449.0	1132.6
1974	1892.4	1259.0	1328.0	1269.3	1635.1	1501.8	1756.2	2042.2	1843.3	1988.6	1878.2	1556.4
1975	1286.9	881.6	1081.0	1037.0	1006.0	1315.1	1535.5	1617.1	2011.2	2022.0	1650.0	1200.0
1976	926.0	1259.0	1679.0	1161.0	1323.0	954.0	1192.0	1171.0	1039.0	1677.0	1523.0	1850.0
1977	1191.0	1117.0	1136.0	917.1	1412.0	1932.0	1971.0	1347.2	1404.0	1419.0	1131.0	748.0
1978	748.0	660.0	655.0	678.0	809.0	745.0	1511.0	1257.0	1250.0	1816.0	1225.0	863.0
1979	1030.0	577.0	725.0	1429.0	1665.0	1130.0	753.0	759.0	896.0	982.0	601.0	751.0
1980	1184.5	1039.7	1248.0	878.0	969.9	667.4	1170.3	927.3	1992.3	1000.7	876.8	771.7
1981	623.3	858.3	1367.7	954.9	1045.1	1086.4	2586.1	2811.6	2269.7	2054.6	997.4	921.1
1982	947.1	802.9	1300.2	1116.7	1235.2	1175.8	962.6	897.9	463.8	195.9	164.2	100.9
1983	140.5	386.9	379.4	794.4	536.3	740.3	984.1	1493.7	1773.6	478.4	395.9	

## PRESA INFIERNILLO, MICH.

## ALMACENAMIENTO INICIAL - EXTRACCION ANUAL

AÑO	CONDICION INICIAL		EXTRACCION ANUAL (Mm3)
	ELEVACION (m. s. n. m.)	ALMAC. (Mm3)	
1969	165.61	8209.0	13657.2
1970	165.84	8285.0	14944.5
1971	164.96	7994.0	12875.8
1972	167.73	8906.0	13719.4
1973	166.28	8428.0	13720.6
1974	166.66	8549.0	19690.5
1975	162.24	7180.0	16659.4
1976	163.97	7650.0	16054.0
1977	165.24	8087.0	15775.3
1978	154.02	4943.0	12237.0
1979	163.13	7414.0	11538.0
1980	159.82	6497.0	12726.6
1981	165.70	8202.4	17565.4
1982	167.61	8860.8	9364.2

TABLA 3.2

DISTRIBUCION DE EXTRACCIONES ANUALES DE LA PRESA INFIERNILLO, MICH.

AÑO	EXTRACCION ANUAL (MM3)	DISTRIBUCION (%)											
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1969	13557	11	10	10	9	7	5	6	6	12	7	8	9
1970	14945	7	6	8	8	8	7	10	10	9	9	9	9
1971	12877	10	9	8	6	7	7	8	6	11	12	9	7
1972	13719	7	7	7	8	8	9	10	10	10	10	6	6
1973	13721	10	9	10	7	5	6	9	9	8	9	10	5
1974	19651	8	7	7	6	8	8	9	10	9	10	10	6
1975	16559	8	5	7	6	6	8	9	10	12	12	10	7
1976	18054	6	8	11	7	8	6	7	7	6	11	11	12
1977	15775	8	7	7	6	9	12	12	9	9	9	7	5
1978	12237	6	6	5	6	7	6	12	10	10	15	10	7
1979	11538	9	5	6	12	14	10	7	7	8	8	7	7
1980	12727	9	8	10	7	8	5	9	7	16	8	7	6
1981	17555	3	5	8	5	5	5	15	16	13	12	6	5
1982	9364	10	9	14	12	13	13	10	9	5	2	2	1
Máximo	19651	11	10	14	12	14	13	15	16	16	15	11	12
Promedio	14314	8	7	8	8	8	8	9	9	10	10	8	7
Mediano	13719	8	7	7	7	8	7	9	9	9	9	9	9
Mínimo	9364	3	5	5	5	5	5	6	6	5	2	2	1
Dev. Std.	2667	2.1	1.7	2.3	2.2	2.5	2.5	2.3	2.5	2.9	3.0	2.4	2.1
Moda	13700	8,10	7,9	7	6	8	6	9	10	9	9,12	10	7

TABLA 3.1

RELACIONES ALMACENAMIENTO INICIAL-VOL. DE EXTRACCION ANUAL

$$y = b \cdot a^x$$

donde :

y = Volumen de extracción anual

x = Almacenamiento al 1o de enero

%	b	a
0	3440.803	0.9748
1	1664.384	1.2846
2	1229.229	1.3840
3	852.101	1.3840
4	4223.339	1.1334
5	8907.357	0.6516

TABLA 3.4



GENERACION MEDIA ANUAL (GMH)  
 PARA DIFERENTES LONGITUDES DE REGISTRO (SINTETICOS Y REALES)  
 DEMANDAS CONSTANTES  
 DISTRIBUCION II

ELEVACIONES DE CONSERVACION (m.s.n.m.)	REGISTROS	REGISTROS			108 AÑOS
	HISTORICOS 27 AÑOS	27 AÑOS	54 AÑOS	GENERADOS 81 AÑOS	
160.0	2934	2941	3009	3070	3048
161.0	3021	3014	3075	3142	3112
162.0	3087	3082	3146	3214	3172
163.0	3154	3150	3218	3274	3236
164.0	3218	3219	3286	3335	3284
165.0	3287	3287	3350	3396	3349
166.0	3366	3370	3454	3470	3414
167.0	3440	3460	3551	3541	3478
168.0	3527	3536	3648	3607	3539
169.0	3602	3609	3775	3667	3699
170.0	3676	3690	3922	3727	3694

TABLA 3.6

GENERACION MEDIA ANUAL (GMH)

PARA DIFERENTES LONGITUDES DE REGISTRO (SINTETICOS Y REALES)

DEMANDAS CONSTANTES  
DISTRIBUCION III

ELEVACIONES DE CONSERVACION (m.s.n.m.)	REGISTROS		REGISTROS	GENERADOS	
	HISTORICOS 27 AÑOS	27 AÑOS	54 AÑOS	81 AÑOS	108 AÑOS
160.0	2620	2648	2688	2746	2751
161.0	2706	2731	2772	2826	2830
162.0	2804	2801	2842	2908	2917
163.0	2883	2871	2917	2987	3000
164.0	2959	2940	2992	3063	3066
165.0	3050	3007	3076	3132	3132
166.0	3149	3092	3151	3214	3208
167.0	3223	3177	3231	3295	3284
168.0	3314	3256	3311	3386	3270
169.0	3395	3344	3403	3467	3435
170.0	3489	3442	3503	3555	3512



GENERACION MEDIA ANUAL (GMH)  
 PARA DIFERENTES LONGITUDES DE REGISTRO (SINTETICOS Y REALES)  
 DEMANDAS VARIABLES  
 DISTRIBUCION II

ELEVACIONES DE CONSERVACION (m.s.n.m.)	REGISTROS HISTORICOS		REGISTROS		108 AÑOS
	27 AÑOS	27 AÑOS	54 AÑOS	GENERADOS 81 AÑOS	
160.0	2460	2329	2318	2331	2335
161.0	2585	2444	2431	2447	2452
162.0	2692	2558	2545	2563	2570
163.0	2793	2671	2659	2680	2687
164.0	2895	2784	2773	2798	2806
165.0	3075	2896	2886	2915	2924
166.0	3229	3024	3015	3060	3059
167.0	3361	3149	3141	3182	3192
168.0	3487	3274	3269	3314	3323
169.0	3596	3401	3395	3443	3448
170.0	3712	3545	3530	3580	3581

TABLA 3.8

GENERACION MEDIA ANUAL (GMA)  
 PARA DIFERENTES LONGITUDES DE REGISTRO (SINTETICOS Y REALES)  
 DEMANDAS VARIABLES  
 DISTRIBUCION III

ELEVACIONES DE CONSERVACION (m. s. n. m.)	REGISTROS HISTORICO 27 AÑOS	27 AÑOS	REGISTROS 54 AÑOS	GENERADOS 81 AÑOS	108 AÑOS
160.0	2266	2175	2168	2184	2189
161.0	2368	2275	2269	2286	2291
162.0	2464	2376	2370	2388	2394
163.0	2550	2479	2471	2490	2497
164.0	2642	2580	2573	2592	2601
165.0	2781	2680	2673	2696	2705
166.0	2922	2800	2796	2819	2832
167.0	3046	2922	2919	2945	2959
168.0	3154	3034	3037	3068	3083
169.0	3269	3145	3152	3188	3204
170.0	3332	3271	3281	3321	3337

TABLA 3.9

DISTRITO DE RIEGO No. 108 "JOSE MA. MORELOS"

SUPERFICIE CULTIVADA, VALOR DE LA PRODUCCION, VOLUMEN DE  
AGUA DEMANDADO Y PRODUCTIVIDAD DEL AGUA.

CICLO AGRICOLA	SUP. CULTIVADA (ha)	VALOR DE LA PRODUCCION (Millones de \$)	VOL. DE AGUA DEMANDADO (M <sup>3</sup> )	PRODUCTIVIDAD DEL AGUA (\$/M <sup>3</sup> )
79-80	7151	3520	141	25.0
80-81	6844	4710	135	34.9
81-82	7389	6570	155	42.4
82-83	8411	18960	166	114.1
83-84	6600	17740	130	136.5

PRODUCTIVIDAD POR HECTAREA 2'253,600 \$/ha.

TABLA 5.1

TABLA 5.2

REQUERIMIENTOS DE AGUA PARA LAS INDUSTRIAS  
ESTABLECIDAS EN LA ZONA DEL BAJO RIO BALSAS.

INDUSTRIA	NECESIDADES DE AGUA (m <sup>3</sup> /seg)	(Mm <sup>3</sup> /año)
P.M.T.	1.35	42,574
FEMEX	*	*
CONASUPD	2.00	63,073
C.F.E. <sup>o</sup>	489.20	15428,070
CELASA	0.10	3,154
POLIFOS	*	*
FERTIMEX <sup>+</sup>	3.747	118,187
CEMENTOS ANAHUAC	1.66	52,350
CEMENTOS OLMECA	0.0242	0,763
CONCRETERA NACIONAL	0.0018	0,055
MKS <sup>+</sup>	1.000	31,536
SICARTSA <sup>+</sup>	6.000	189,216
USO DOMESTICO	3.000	94,608
TOTAL	508.083	16023,586

o Promedio del registro histórico.

\* Se desconoce el valor.

+ Datos actuales proporcionados por la empresa.

La información restante fué proporcionada por FONDEPORT

GENERACION DE ENERGIA DE LAS CENTRALES HIDROELECTRICAS  
INFIERNILLO Y LA VILLITA

CENTRAL	AÑO	PRODUCCION (Mwh)	VOL. DE AGUA TURBINADO (Mm3)
Infiernillo	1968	3684096	16518.94
	1969	3242472	13567.20
	1970	3693953	14944.50
	1971	3149943	12876.80
	1972	3120512	13709.40
	1973	3430085	13721.00
	1974	3949600	19650.90
	1975	3488514	16624.30
	1976	3226630	16054.00
	1977	3531998	15775.16
	1978	2719448	12233.00
	1979	2579392	11538.00
	1980	1291802	12875.00
	1981	4341156	17824.44
1982	2141712	9602.21	
1983 *	2037370	9134.40	
Promedio Anual:		3100799	15428.07
La Villita	1973	954001	10017.01
	1974	1473989	16476.67
	1975	1327641	13940.23
	1976	1253342	13160.10
	1977	1197079	12569.33
	1978	957734	10056.21
	1979	1020977	10720.47
	1980	1128857	10182.15
	1981	1469925	15434.21
	1982	894000	9387.00
1983 *	894000	9282.00	
Promedia Anual:		1141684	11838.67

\* valores estimados.

TABLA 5.3

GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA EN GWH QUE SE  
 GANA (+) O SE DEJA DE GENERAR (-) AL PASAR DE  
 UN NIVEL DE CONSERVACION A OTRO  
 EN LA PREBA INFIERNILLO

NIVEL DE CONSERV. (mmn)	169	168	167	166	165	164	163	162	161	160
169	0	+ 85.0	+166.0	+249.5	+347.5	+438.5	+516.5	+597.5	+690.0	+777.5
168	- 85.0	0	+ 81.0	+164.5	+262.5	+353.5	+431.5	+512.5	+605.0	+692.5
167	-166.0	- 81.0	0	+ 83.5	+181.5	+272.5	+350.5	+431.5	+524.0	+611.5
166	-249.5	-164.5	- 83.5	0	+ 98.0	+189.0	+267.0	+348.0	+440.5	+528.0
165	-347.5	-262.5	-181.5	- 98.0	0	+ 91.0	+169.0	+250.0	+342.5	+430.0
164	-438.5	-353.5	-272.5	-189.0	- 91.0	0	+ 78.0	+159.0	+251.5	+339.0
163	-516.5	-431.5	-350.5	-267.0	-169.0	- 78.0	0	+ 81.0	+173.5	+261.0
162	-597.5	-512.5	-431.5	-348.0	-250.0	-159.0	- 81.0	0	+ 92.5	+180.0
161	-690.0	-605.0	-524.0	-440.5	-342.5	-251.5	-173.5	- 92.5	0	+ 87.5
160	-777.5	-692.5	-611.5	-528.0	-430.0	-339.0	-261.0	-180.0	- 87.5	0

TABLA 5.3-a

**PERDIDAS ANUALES EN: AGRICULTURA, INDUSTRIA Y GENERACION HIDROELECTRICA  
 POR VARIACIONES DE OFERTA DE AGUA AL CAMBIAR DE UN NIVEL  
 DE CONSERVACION A OTRO EN LA PRESA INFIERNILLO  
 (Miles de Millones de \$)**

NC	170	169	168	167	166	165	164	163	162	161	160
170	0	+ 1962	+ 3708	+ 5454	+ 7201	+ 8947	+10630	+11806	+13235	+14664	+16094
169	- 1962	0	+ 1746	+ 3493	+ 5239	+ 6985	+ 8668	+ 9844	+11273	+12703	+14132
168	- 3708	- 1746	0	+ 1746	+ 3493	+ 5239	+ 6922	+ 8098	+ 9527	+10956	+12386
167	- 5455	- 3493	- 1742	0	+ 1746	+ 3493	+ 5175	+ 6351	+ 7780	+ 9210	+10639
166	- 7201	- 5239	- 3493	- 1746	0	+ 1746	+ 3429	+ 4605	+ 6034	+ 7463	+ 8893
165	- 8947	- 6985	- 5239	- 3493	- 1746	0	+ 1683	+ 2858	+ 4288	+ 5717	+ 7146
164	-10630	- 8668	- 6922	- 5175	- 3429	- 1682	0	+ 1176	+ 2605	+ 4034	+ 5464
163	-11806	- 9844	- 8098	- 6351	- 4605	- 2859	- 1176	0	+ 1429	+ 2859	+ 4288
162	-13235	-11273	- 9527	- 7780	- 6034	- 4288	- 2605	- 1429	0	+ 1429	+ 2859
161	-14665	-12703	-10956	- 9210	- 7464	- 5717	- 4035	- 2854	- 1429	0	+ 1429
160	-16094	-14132	-12386	-10639	- 8893	- 7147	- 5464	- 4282	- 2859	- 1429	0

TABLA 5.4

RESUMEN DE LOS DANOS PARA DIFERENTES AVENIDAS Y NIVELES  
DE CONSERVACION, EN LA PRESA INFIERNILLO, NICH.  
(Miles de M de S)

Q PICO (m <sup>3</sup> /s)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169
12000	0.20410										
14000	0.01149										
16000	0.00694										
18000	0.00411										
20000	0.00240							0	0	0	0
22000	0.00149		0	0	0	0	0	32	60	88	114
24000	0.00088	0	47	73	99	124	145	171	193	214	237
26000	0.00053	199	230	236	256	268	278	299	321	338	355
28000	0.00021	428	442	452	456	481	498	520	539	567	582
30000	0.00019	747	771	807	834	851	870	910	951	972	1001
32200	0.00010	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440	1440

TABLA 5.5



**ANALISIS HIDROECONOMICO DE LA CANALIZACION  
(OPERACION OPTIMA DE COMPUERTAS)**

(1) GASTO DE CANALI- ZACION (m <sup>3</sup> /s)	(2) PERIODO DE RE- TORNO (años)	(3) PROBABI- LIDAD DE OCURREN- CIA (%)	(4) COSTO DE CANALI- ZACION (M\$)	(5) BENEF. ESPE- RADO (M\$)	(6) COSTOS - (M\$)	(7) VALOR PRESENTE AL 15% BENEF. (M\$)	(8) VPBN (M\$)	(9) B/C	(10) COSTOS VALOR PRESENTE AL 30% (M\$)	(11) BENEF. (M\$)	(12) VPBN (M\$)	(13) B/C	(14) TIR (%)
4000	1067	0.094	19500	152	18228	1007	17220	0.055	17250	507	16742	0.029	0
5000	1741	0.057	37800	240	35334	1574	33757	0.045	33438	800	32638	0.024	0
6000	2450	0.041	54500	290	50945	1910	49035	0.037	48211	969	47242	0.020	0
7000	3350	0.030	70000	322	65434	2113	63321	0.032	61923	1072	60850	0.017	0
8000	4036	0.025	85000	342	79456	2245	77211	0.028	75192	1139	74053	0.015	0
9000	4571	0.022	99700	357	93198	2347	90850	0.025	88196	1191	87005	0.013	0
10000	5333	0.019	115000	370	107500	2433	105067	0.023	101730	1234	100496	0.012	0
11000	6667	0.015	130000	380	121521	2494	119028	0.020	115000	1266	113734	0.011	0
12000	8334	0.012	145000	385	135543	2528	133016	0.019	128269	1283	126986	0.010	0
13000	10000	0.010	160000	386	149562	2537	147027	0.018	141538	1287	140250	0.009	0

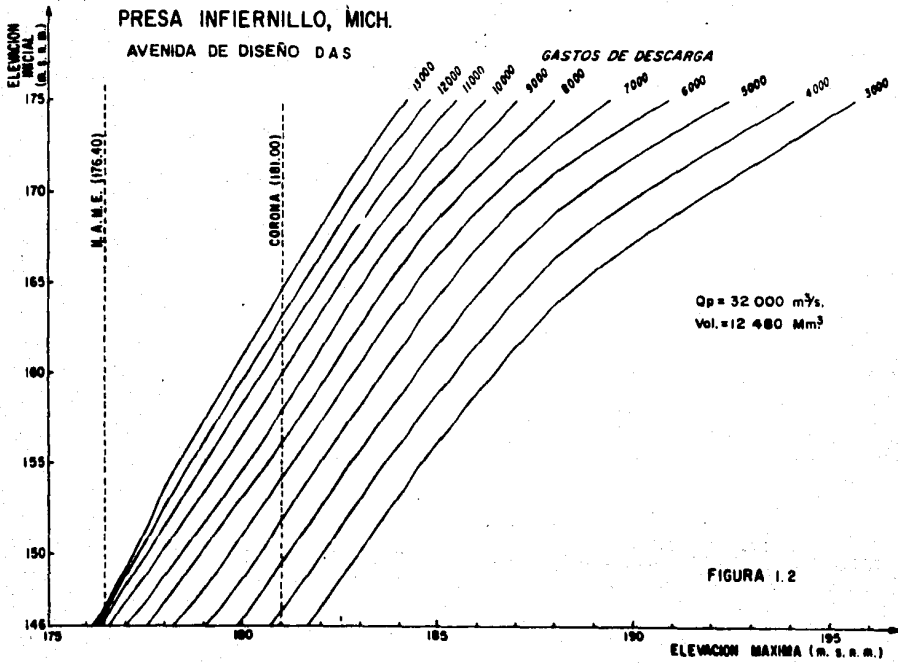
**TABLA 5.6**

**ANALISIS HIDROECONOMICO DE LA CANALIZACION  
(OPERACION RIGIDA DE COMPUERTAS)**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
GASTO DE CANALI- ZACION (m3/s)	PERIODO DE RE- TORNO (años)	PROBABI- LIDAD DE OCURREN- CIA (%)	COSTO DE CANALI- ZACION (M\$)	BENEF. ESPE- RADO (M\$)	VALOR PRESENTES AL 15% COSTOS (M\$)	BENEF. VPBN (M\$)	B/C		VALOR PRESENTES AL 30% COSTOS (M\$)	BENEF. VPBN (M\$)	B/C		TIR (%)
4000	17	5.88	19500	10064	18228	66082	47854	3.62	17250	33534	16284	1.94	49
5000	26	3.85	37800	16385	35334	107583	72248	3.04	33438	54594	21156	1.63	42
6000	57	1.75	54500	20155	50945	132340	81395	2.60	48211	67158	18946	1.39	36
7000	135	0.74	70000	21789	65434	143069	77634	2.19	61923	72602	10679	1.17	30
8000	271	0.37	85000	22457	79456	147450	67993	1.86	75192	74825	- 361	0.99	25
9000	465	0.21	99700	22765	93198	149442	56244	1.60	88196	75853	-12342	0.86	20
10000	692	0.14	115000	22928	107500	150547	43047	1.40	101730	76397	-25334	0.75	19
11000	973	0.10	130000	23021	121521	151168	29647	1.24	115000	6712	-38288	0.67	15
12000	1444	0.07	145000	23068	135543	151468	15924	1.12	128269	76864	-51405	0.60	14
13000	1815	0.05	160000	23079	149562	151539	1974	1.01	141538	76901	-64638	0.54	10

TABLA 5.7





**PRESA INFIERNILLO, MICH.**  
**AVENIDA DE DISEÑO**  
**(ALMACENAMIENTO MAXIMO ALCANZADO = NAME)**

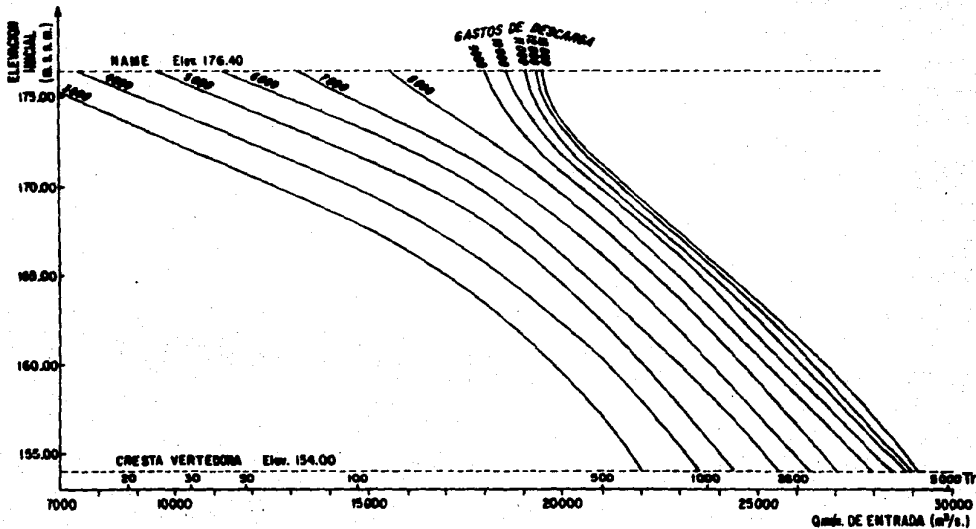


FIGURA 1.3

PRESA INFIERNILLO, MICH.  
 AVENIDA DE DISEÑO D A S  
 (ALMACENAMIENTO MAXIMO ALCANZADO = NAME )

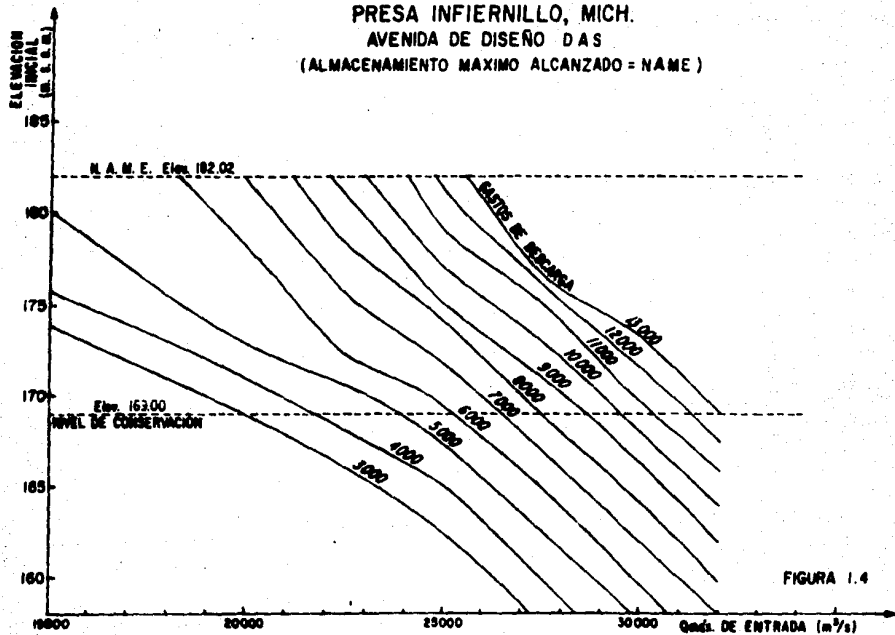


FIGURA 1.4

# PRESA INFIERNILLO, MICH.

VARIACION DEL CONSUMO ESPECIFICO CON LA ELEVACION

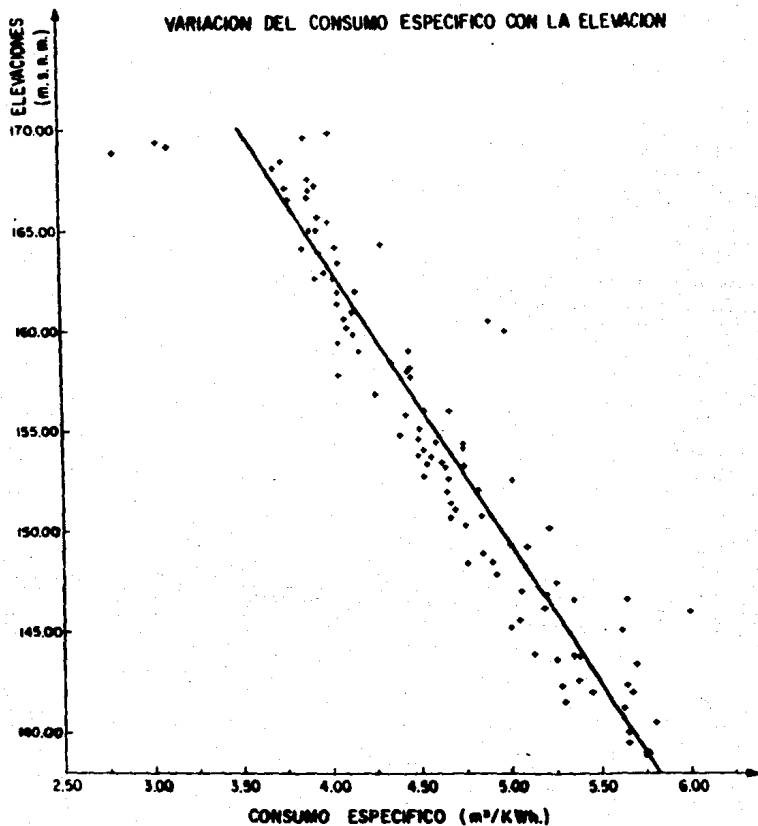


FIGURA 3.1

PRESA INFIERNILLO, MICH.  
Generación media anual (GWH)  
(DIST. II)

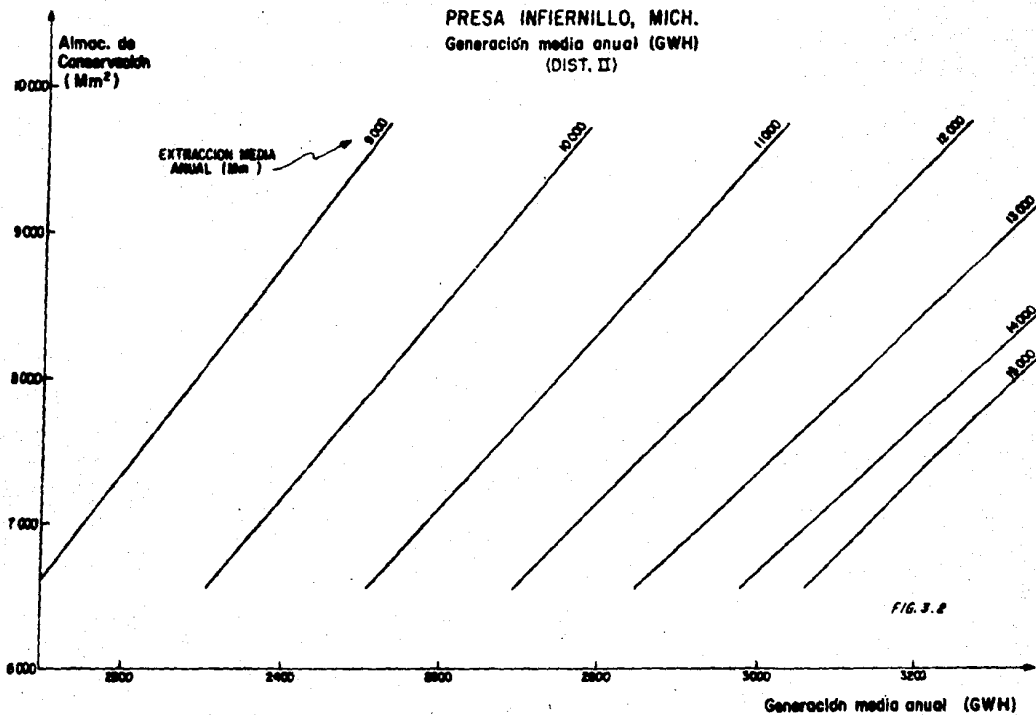


FIG. 3.2



PRESA INFIERNILLO. MICH.  
Generación media anual (GWH)  
(DIST. III)

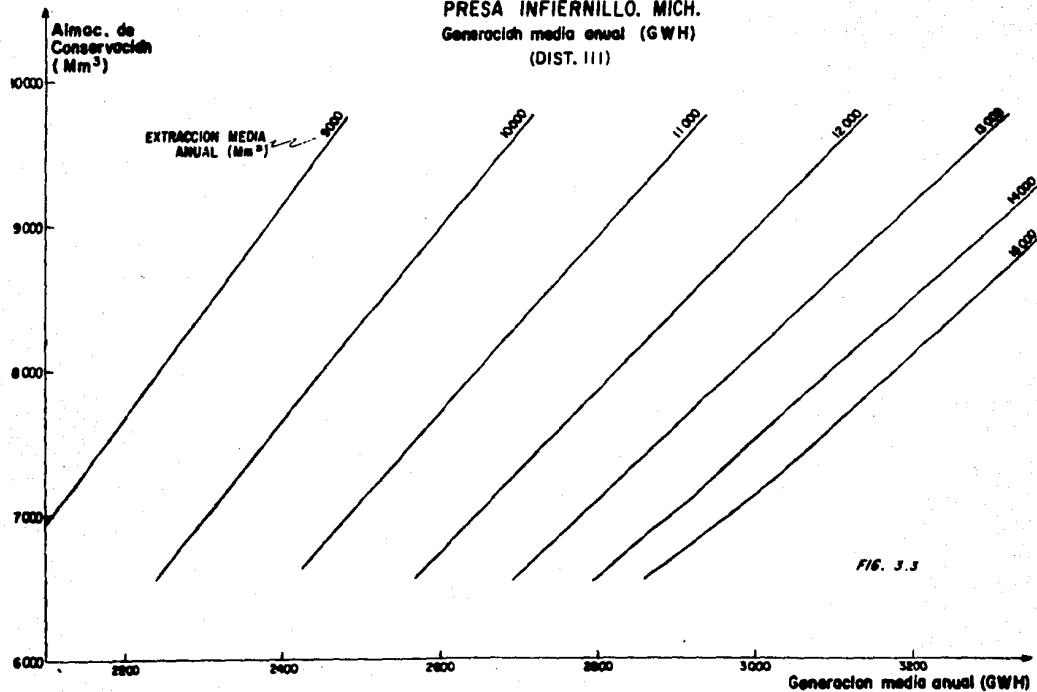


FIG. 3.3

PRESA INFIERNILLO, MICH.  
Generación media anual (GWH)  
(DIST. II)

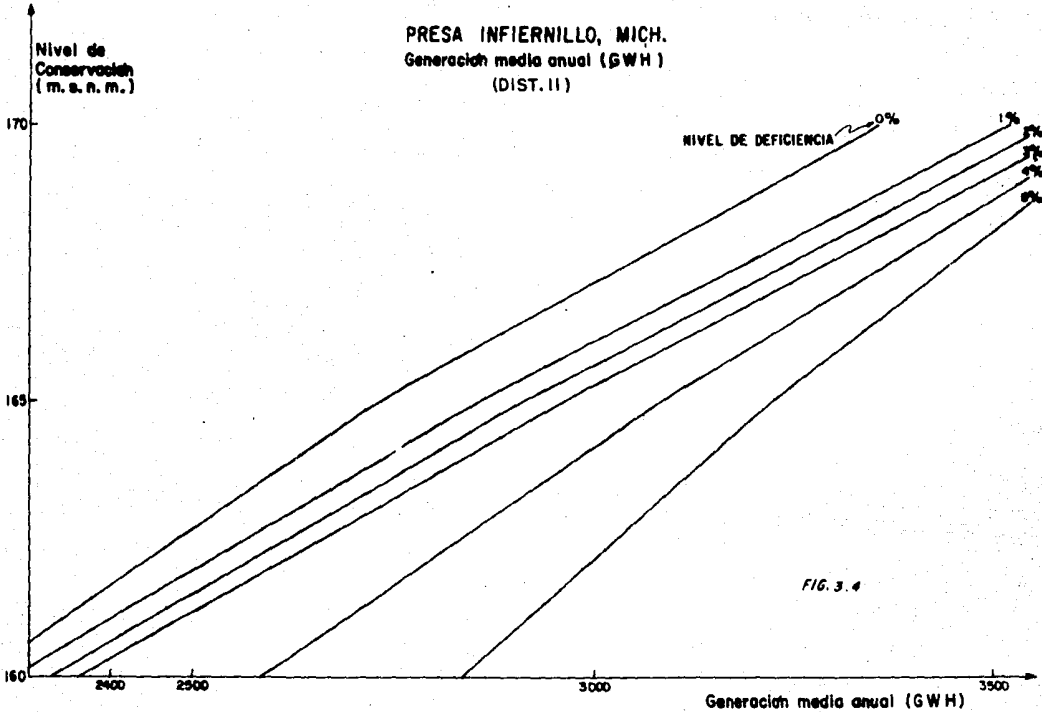


FIG. 3.4

PRESA INFIERNILLO, MICH.  
Generación media anual (GWH)  
(DIST.III)

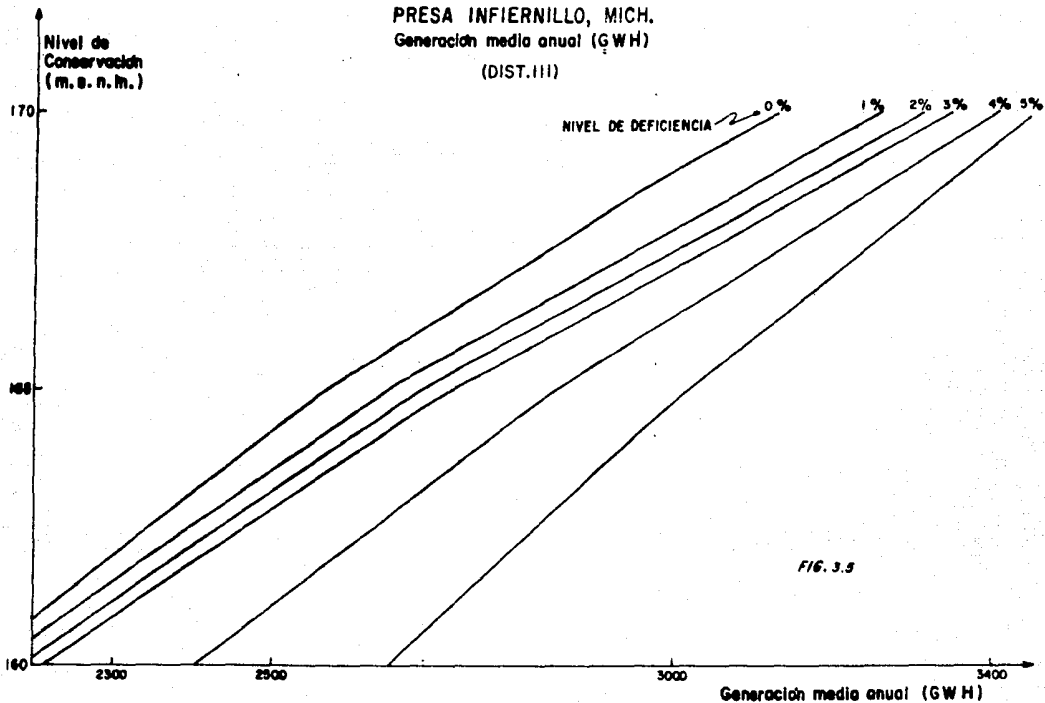


FIG. 3.3

# PRESA INFIERNILLO, MICH.

Elevación del incremento de generación anual

(Demanda constante)

(DIST. II)

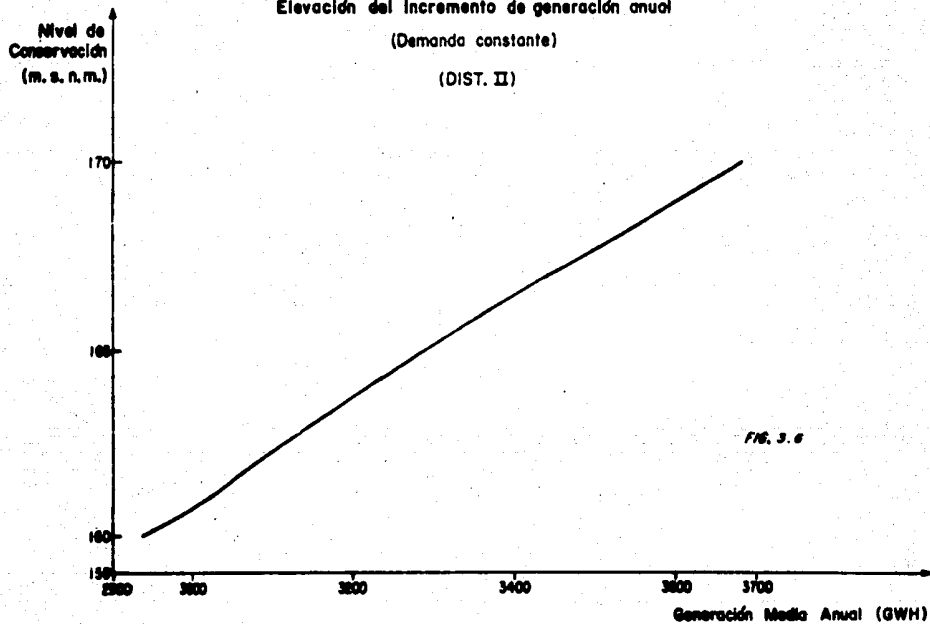


FIG. 3.6

# PRESA INFIERNILLO, MICH.

Nivel de Conservación - Generación Media Anual

(Demanda constante)

(DIST. III)

Nivel de  
Conservación  
(m. s. n. m.)

170

165

160

155

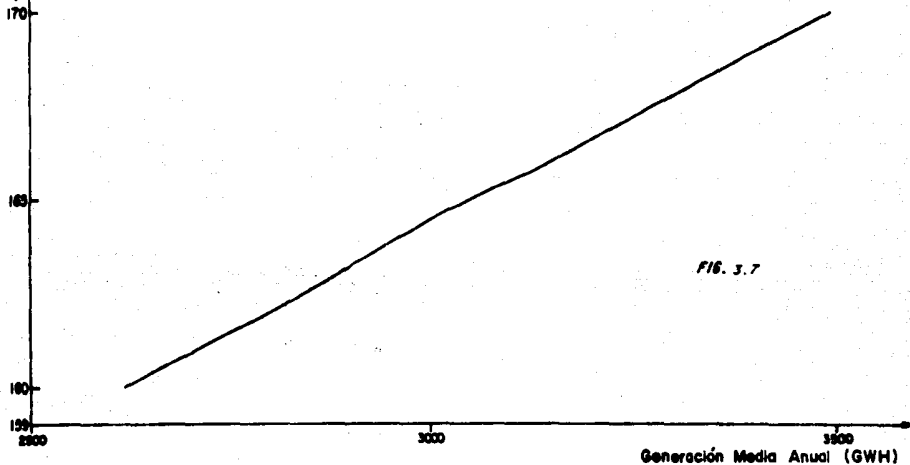
2500

3000

3500

Generación Media Anual (GWH)

FIG. 3.7



# PRESA INFIERNILLO, MICH.

Nivel de Conservación - Generación Media Anual

(Demanda variable)

(DIST. II)

Nivel de  
Conservación  
(m. s. n. m.)

170

165

160

2800

2900

3000

3100

3200

3300

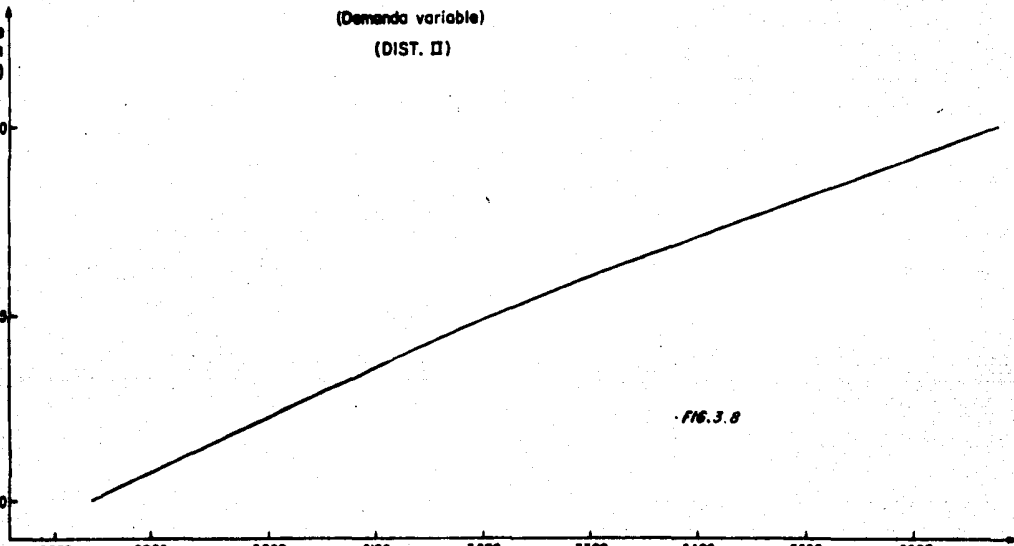
3400

3500

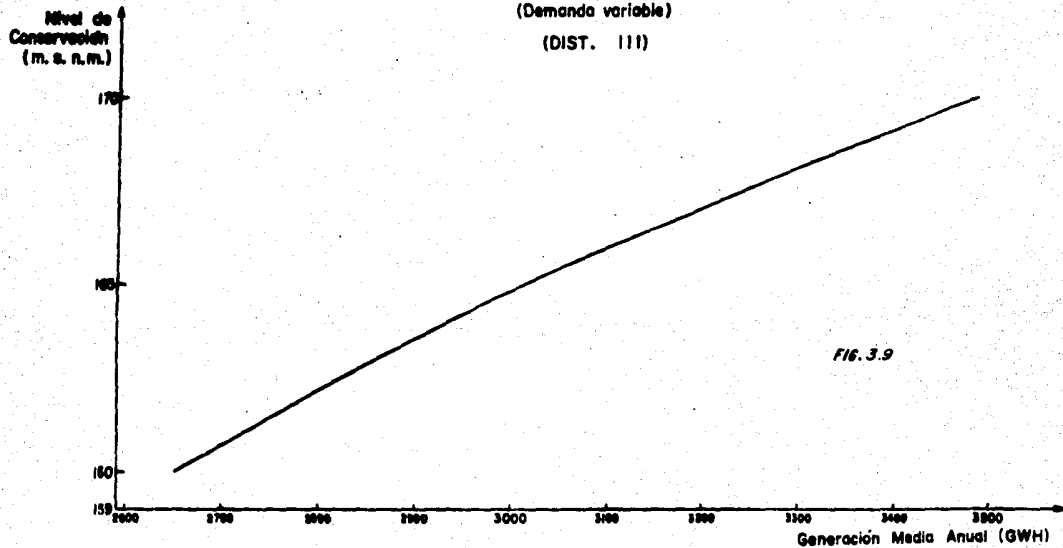
3600

Generación Media Anual (GWH)

FIG. 3.8



**PRESA INFIERNILLO, MICH.**  
**Nivel de Conservación - Generación Media Anual**  
**(Demanda variable)**  
**(DIST. III)**



*FIG. 3.9*

CURVA DE ALTURAS - COSTOS DE SOBREELEVACION  
DE LA PRESA INFIERNILLO, MICH.

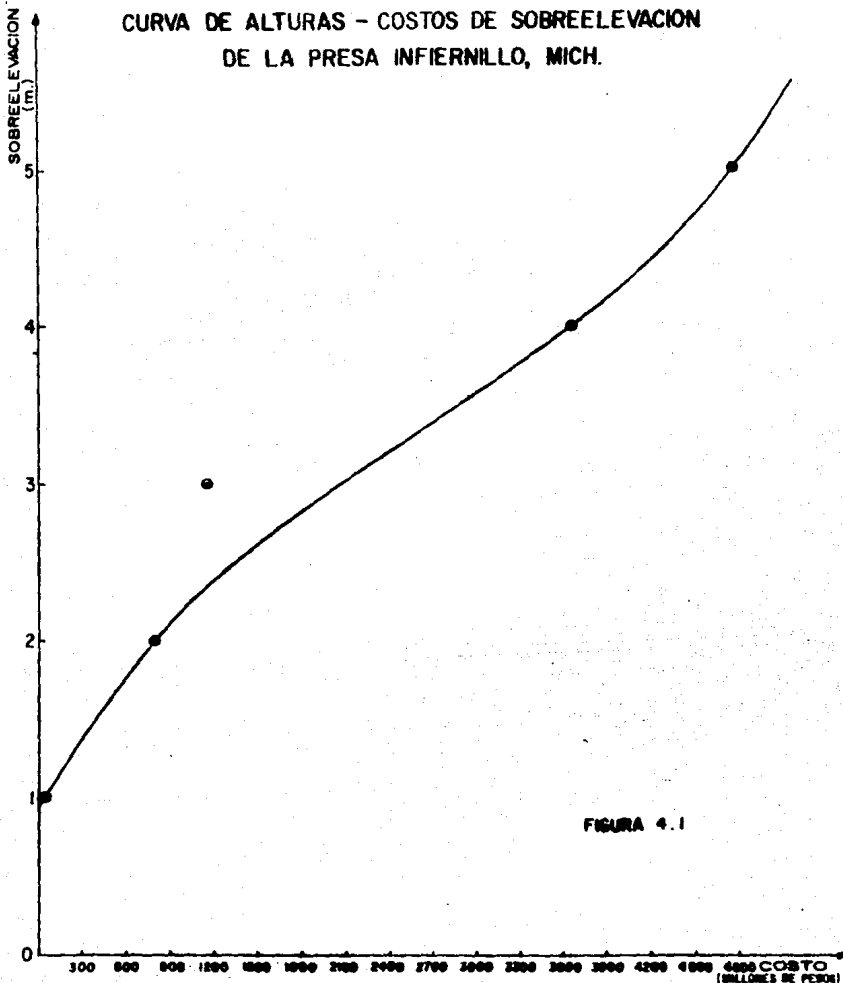


FIGURA 4.1



ANTEPROYECTO DE SOBREELEVACION DE LA PRESA INFIERNILLO  
(5. m)

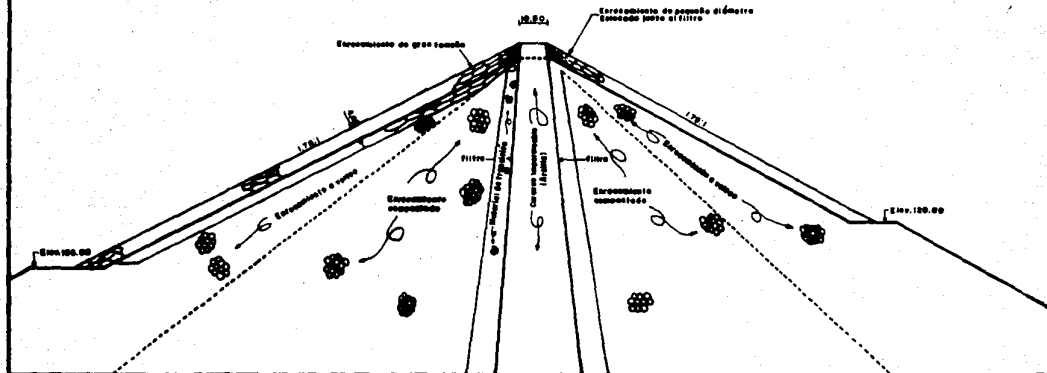


FIG. 4.2

ANALISIS HIDROECONOMICO DE LA CANALIZACION  
CURVA DE COSTO-GASTO DE CANALIZACION

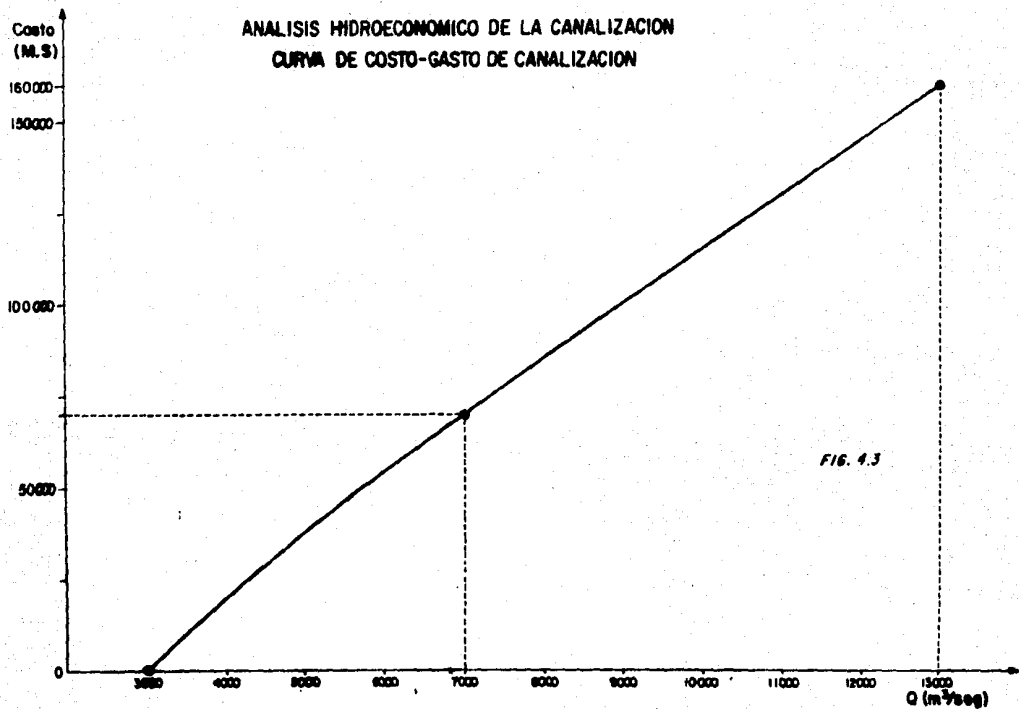


FIG. 4.3

Daños  
(Miles de M. \$)

### ANALISIS HIDROECONOMICO DE LA CANALIZACION CURVA DE DAÑOS-GASTOS DE DESCARGA

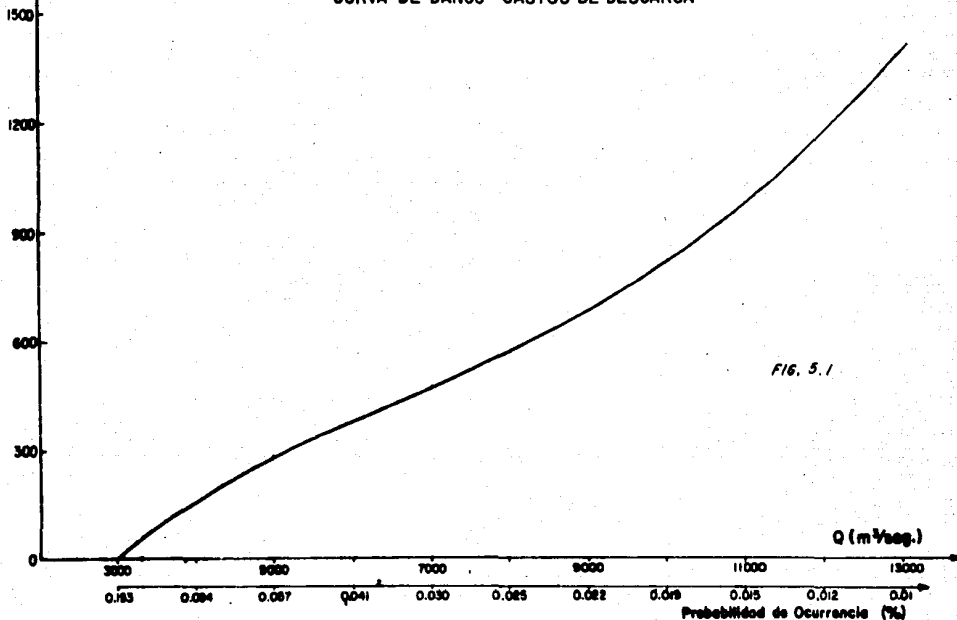


FIG. 5.1

ANAL. DE LOS COSTOS PARA DETERMINAR LAS ELECCIONES DEL ALMACENAMIENTO  
EN LA PRESA IMPERIAL

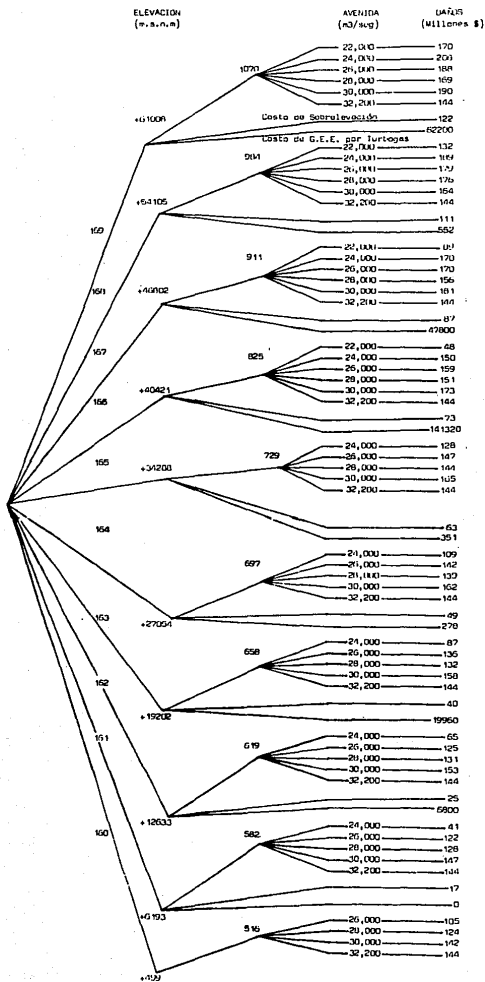


FIG. 5.2-a

ANAL. DE DECISIONES PARA DIFERENTES ELEVACIONES DEL ALMACENAMIENTO EN LA PRESA INFIERNILLO

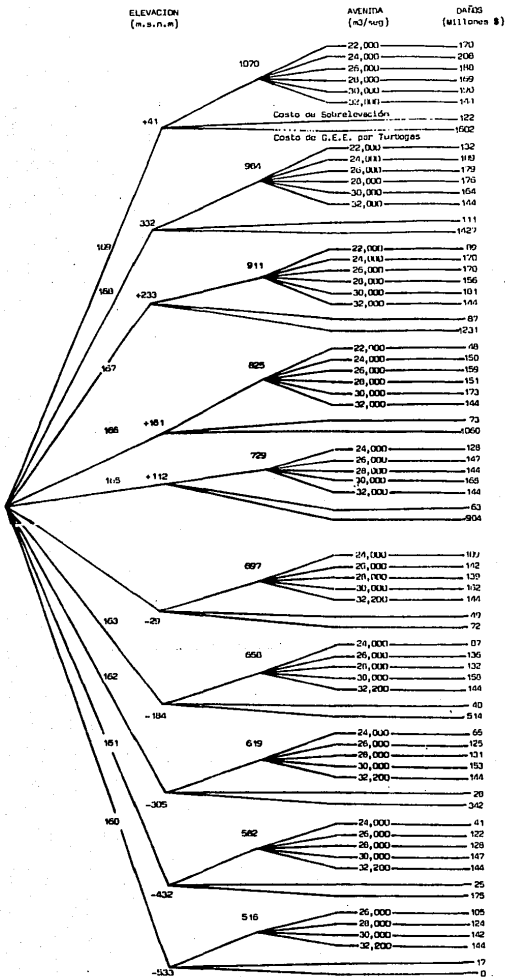
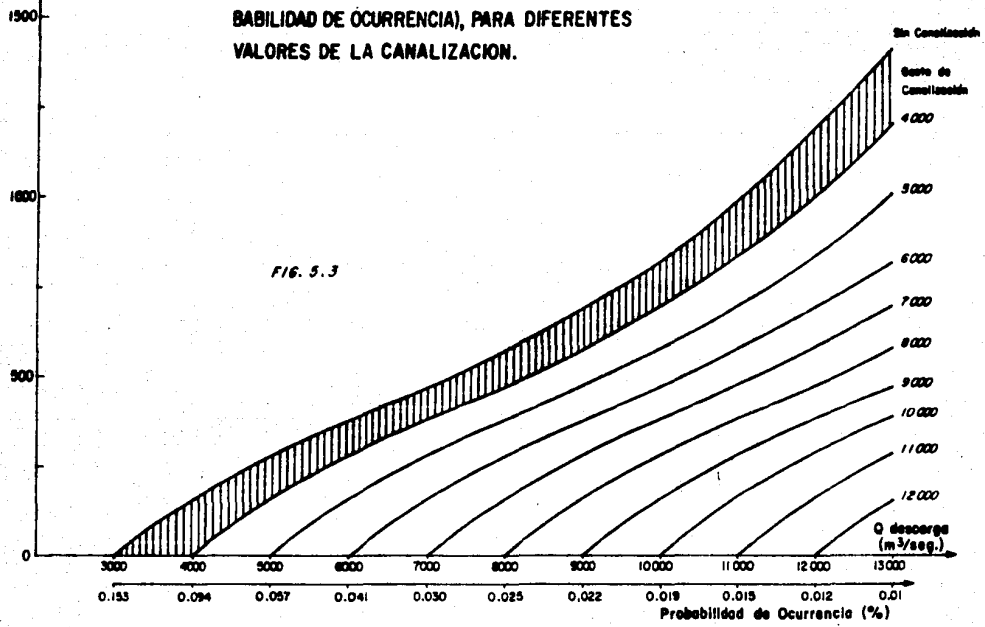


FIG. 5.2-b

Daños  
(Miles de M.S)

ANALISIS HIDROECONOMICO DE LA CANALIZACION  
CURVA DE DAÑOS-GASTOS DE DESCARGA (Y PRO-  
BABILIDAD DE OCURRENCIA), PARA DIFERENTES  
VALORES DE LA CANALIZACION.

FIG. 5.3



## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Boletín Hidrológico de la Comisión Federal de Electricidad-Cuenca del Río Balsas.
- 2.- Boletín Hidrológico No. 18, de la Cuenca del Medio y Bajo Balsas.
- 3.- Datos Hidrológicos y de Generación. Planta Infiernillo, C.F.E.
- 4.- Sistema Hidroeléctrico del Río Balsas. Planta Infiernillo, Mich. C.F.E., Agosto 1964.
- 5.- Programa de Producción por Industria y Programa de Inversiones 1980-1990. Puerto Industrial Lázaro Cárdenas, Mich. Dirección de Puertos Industriales. Subdirección de Promoción y Desarrollo.
- 6.- Programa de Rescate de Volúmenes de Agua para el Incremento de la Producción Agropecuaria. Ing. Antonio Acosta Godínez. VI Congreso Nacional de Hidráulica Mérida, Yuc., 1980
- 7.- Plan Ecológico en la Zona Conurbada de la Desembocadura del Río Balsas. NEXTIA S.A. Agosto 1980. Comisión de la Conurbación de la Desembocadura del Río Balsas.
- 8.- Proyecto 6.- Rectificación del Brazo Izquierdo del Río Balsas. Volumen 7. Proyectos para Lázaro Cárdenas. Comisión Nacional Coordinadora de Puertos. Dirección General de Puertos Industriales. Agosto 1983.
- 9.- Actualización del Proyecto 50-LAC y Ampliación del Complejo Industrial de Fertilizantes, Proyecto 93-LAC. Fertilizantes Mexicanos, S.A. Gerencia General de Planeación y Desarrollo. Gerencia de Planeación. Subgerencia de Proyectos.

- 10.- Proyecto de Forja y Fundición de Acero en Lázaro Cárdenas, Mich. Grupo Industrial N.K.S. de C.V., Octubre 1980.
- 11.- Informe Anual 1981, SICARTSA, Mayo 1982.
- 12.- Memorandum Num. 242.1.3.6.914 del 7 de dic. 1983.  
Plano General de las Obras de Encauzamiento.  
Costo del Encauzamiento del Brazo Izquierdo.  
Plano de Areas Inundables para gastos de 4000, 7000 y 13000 m<sup>3</sup>/seg.
- 13.- Índice Nacional de Precios al Productor y al Consumidor, Banco de México, S.A.
- 14.- Requerimientos de Agua para las Industrias Establecidas en Lázaro Cárdenas.  
FONDEPORT  
Dirección de Puertos Industriales.  
Subdirección de Promoción y Desarrollo.
- 15.- Teoría de Decisiones en el Sector Público y en la Empresa Privada.  
Acosta Flores J.  
Representaciones y Servicios de Ingeniería.
- 16.- Manual de Proyectos de Desarrollo Económico.  
Estudio Preparado por el Programa CEPAL/AAT de Capacitación en Materia de Desarrollo Económico.
- 17.- Análisis Económico de Proyectos Agrícolas.  
J. Price Gittenger.  
Editorial Tecnos, 1974.
- 18.- Foundation of Economics Analysis  
Samuelson P. A.  
Atheneum Publishers, 1965.