

145



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**EVALUACIÓN ECONÓMICA  
DE LAS ALTERNATIVAS,  
PARA UN MEJOR FUNCIONAMIENTO  
DE LA PLANTA HIDROELÉCTRICA  
COMEDERO**

**TESIS PROFESIONAL  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
PRESENTA  
LUIS TORREGROSA FLORES**

**MÉXICO, D.F.**

**OCTUBRE 2001**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/118/00

Señor  
**LUIS TORREGROSA FLORES**  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de

**"EVALUACION ECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS, PARA UN MEJOR FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA HIDROELECTRICA COMEDERO"**

- I. ANTECEDENTES
- II. DERIVADORA DE CAMBIO DE REGIMEN
- III. DESCRIPCION DE LAS OBRAS
- IV. EVALUACION ECONOMICA EJE AMATA
- V. EVALUACION ECONOMICA EJE TULTITLA
- VI. COMPARACION DE ALTERNATIVAS
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria a 7 de octubre de 2000  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/GMP/mstg.

# INDICE

1. Antecedentes.....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Introducción.....	1
1.3 Hidrografía del sitio.....	1
1.4 Localización.....	1
1.5 Acceso al sitio de las obras.....	2
1.6 Datos hidrométricos.....	2
1.7 Capacidad de generación.....	6
1.8 Características generales del vaso de almacenamiento.....	7
1.9 Avenida máxima probable.....	9
1.10 Demandas para riego y generación.....	10
1.11 Criterios para generación.....	11
1.12 Descripción general de las obras.....	12
1.13 Análisis del funcionamiento de Comedero.....	17
1.14 Conclusiones.....	19
2. Derivadora de cambio de régimen.....	20
2.1 Introducción.....	20
2.2 Características generales de los sitios.....	21
2.3 Estudios básicos.....	23
2.4 Criterios de diseño del vaso.....	25
2.5 Geología.....	34
2.6 Hidrogeneración.....	41
2.7 Conclusiones.....	43
3. Descripción de las obras.....	44
3.1 Obra de desvío.....	44
3.2 Obra de contención.....	47
3.3 Obra para toma de riego.....	54
3.4 Obra de generación.....	58
3.5 Desarenador.....	63
3.6 Obra de excedencias.....	63
4. Evaluación económica eje Amata.....	68
4.1 Introducción.....	68
4.2 Costos.....	68
4.3 Programa de obra.....	73
4.4 Beneficios.....	75
4.5 Evaluación Económica.....	77
4.6 Conclusión.....	82

5. Evaluación económica eje Tultita.....	83
5.1 Introducción.....	83
5.2 Costos.....	83
5.3 Programa de obra.....	90
5.4 Análisis de capacidad y número de unidades Bulbo óptimo.....	92
5.5 Beneficios.....	98
5.6 Evaluación Económica.....	98
5.7 Conclusiones.....	103
6 Comparación de alternativas.....	104
6.1 Comparación técnica.....	104
6.2 Comparación de los aspectos económicos.....	106
7. Conclusiones.....	115
Bibliografía.....	118

# 1. ANTECEDENTES

## *1.1 Generalidades*

La Comisión Nacional del Agua (C.N.A) antes Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos (S.A.R.H.) estudió dentro del Plan Hidráulico del Noroeste, el aprovechamiento hidrológico del Río San Lorenzo, decidiendo construir la Presa Comedero en el año de 1980 en el Estado de Sinaloa, con fines de riego y control de avenidas, así como se estableció con la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.) la instalación de unidades generadoras de energía eléctrica, lo cuál se llevó a cabo en el año de 1991.

Siendo de interés nacional tratar de utilizar las aguas de los ríos en forma óptima, ambas dependencias convinieron en utilizar de la manera más eficiente estos recursos.

Cabe señalar que la ley de aguas nacionales vigente, menciona que el agua para fines de riego, tiene un uso prioritario si se le compara con el agua utilizada para generación, razón por la cual la planta hidroeléctrica queda condicionada a dichas extracciones, obedeciendo a los requerimientos de los distritos de riego hacia aguas abajo de la presa.

## *1.2 Introducción*

La presa El Comedero construida en el año de 1980 consideró solo las obras que requiere una presa para almacenamiento y control de avenidas, como lo son las obras de desvío, la obra de contención, la obra de toma para riego y obra de excedencias fueron llevadas a cabo por la antigua S.A.R.H. ahora C.N.A..

Es decir en un principio se realizó con esa finalidad, pero hacia el año de 1991 la C.F.E., después de un análisis decidió llevar a cabo, la tarea de construir y equipar con todo lo necesario, para convertir a la Presa de Comedero en una central hidroeléctrica, para lo cual llevo a cabo las obras de toma, la tubería a presión, el pozo de oscilación, la casa de máquinas, donde se colocó toda la maquinaria electromecánica necesaria como lo son las dos turbinas, con sus respectivos generadores y la subestación eléctrica.

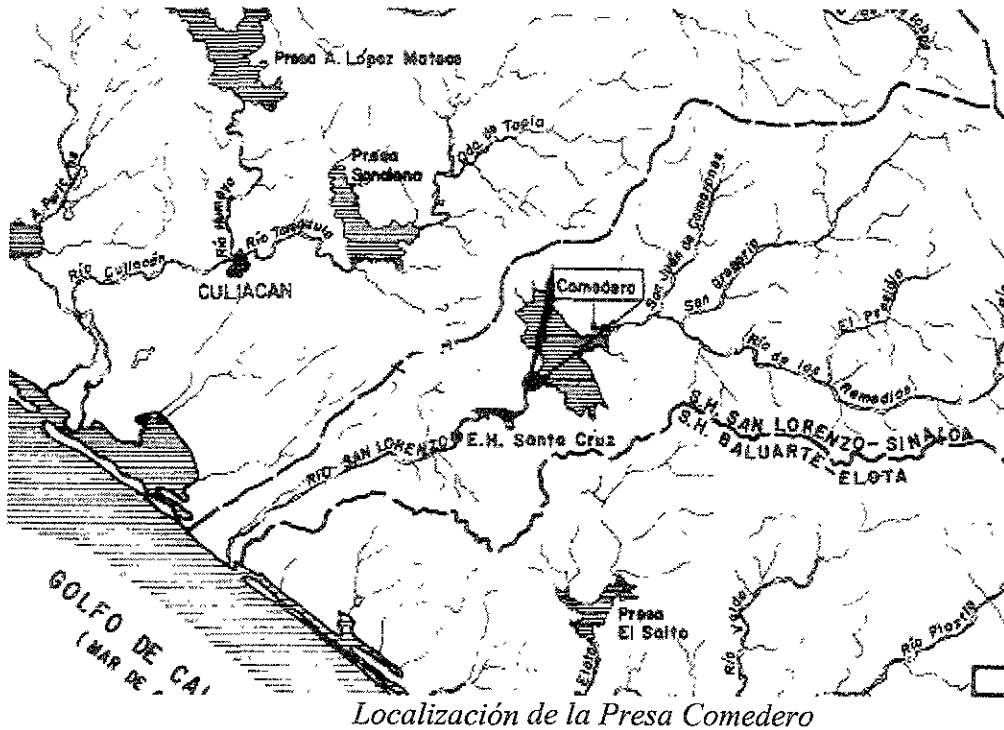
## *1.3 Hidrografía del Sitio*

El río San Lorenzo nace a una altura del orden de 3000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), y a 20 km. al poniente de Santiago Papasquiario Durango, siendo denominado como río de las Vueltas y más adelante como río de Los Remedios. Posteriormente de recibir por la margen derecha la aportación de la Quebrada de San Gregorio, sigue un rumbo sostenido hacia el suroeste con el nombre del Río San Lorenzo, desembocando finalmente en el océano Pacífico a la altura del poblado La Boca, Sinaloa.

## *1.4 Localización*

La central hidroeléctrica se encuentra localizada sobre el Río San Lorenzo, municipio de Cosalá, en el Estado de Sinaloa.

Geográficamente la boquilla se localiza a  $24^{\circ} 35'$  latitud norte y a  $106^{\circ} 42'$  longitud oeste y la elevación mínima en el cauce de 165 m.s.n.m. así como espesor de acarreo de 12.5m.



### 1.5 Acceso al sitio de las obras

El acceso es posible por ambos márgenes del Río San Lorenzo. Por la margen derecha se localiza el camino que llega al proyecto, especialmente realizado con este fin. A este camino se accesa partiendo de la Ciudad de Culiacán hacia el Sur, por la carretera internacional, a la altura del poblado Laguna Colorada, donde empieza el camino mencionado, el cual tiene un desarrollo aproximado de 90 kms.

Por la margen izquierda del río se puede acceder desviándose en el kilómetro ciento catorce de la carretera Culiacán-Mazatlán, donde se encuentra el entronque del camino de Cosalá (pavimentado 54 kilómetros) y de esta población a El Comedero se llega por un camino de terracería de 28 km.

### 1.6 Datos Hidrométricos

Los datos hidrométricos para el estudio de la presa fueron tomados de la estación hidrométrica del poblado de Santa Cruz de Alayá la cual se encuentra a 33.7 kilómetros medidos desde el pie de la cortina hacia aguas abajo, medidos sobre el lecho del río San Lorenzo las características de esta estación son las siguientes.

### 1.6.1 Estación Hidrométrica Santa Cruz de Alayá

Area drenada 8 919 km<sup>2</sup>

Coordenadas Longitud. W. G. 106°57'10''

Latitud. N 24°29'05''

#### 1.6.1.1 Ubicación

Se localiza aproximadamente, 24 km. aguas arriba del puente de la Carretera Federal No. 15 (tramo Mazatlán-Culiacán), sobre la corriente y en las cercanías del pueblo Santa Cruz de Alayá en el municipio de Cosalá, estado de Sinaloa

#### 1.6.1.2 Acceso

Con origen en Culiacán y por la carretera Federal no. 15 se parte rumbo a Mazatlán y 1 km. antes del cruce de ésta con el río por la margen derecha, hasta el pueblo de Santa Cruz, donde está la estación.

#### 1.6.1.3 Condiciones del tramo

El tramo es recto en una longitud aproximada de 1 km., con talud de tierra firme y vegetación en la margen derecha y de roca en la margen izquierda, y el lecho, con arena y grava.

#### 1.6.1.4 Sección de aforos

La sección es trapezoidal, muy extendida hacia la margen derecha y con fuerte pendiente en el talud izquierdo. En niveles medios la corriente se carga totalmente hacia la margen izquierda. Se cuenta con una sección de vadeo 500 m aguas arriba de la sección principal.

#### 1.6.1.5 Escala

Se toman lecturas diariamente cada 6 horas de las 6 a las 18 horas y horarias en tiempo de avenida. Se localiza en la margen izquierda, 40 m aguas arriba de la sección de aforos y está dividida en 4 tramos de concreto: el primero, vertical de 0.60 a 2.00 el segundo, inclinado de 0.90 a 5.20 el tercero, vertical de 5.20 a 9.90 m y el último, vertical, de 9.90 a 13.10 m, adosados los dos últimos a la torre del limnógrafo. La primera escala se instala el 1° de Mayo de 1943.

#### 1.6.1.6 Estructura para aforos

Se utiliza una estructura de cable y canastilla apoyada en una torre de concreto de 9.00 m de alto en la margen derecha y en un anclaje sobre la margen izquierda.

#### 1.6.1.7 Aforos

Se afora por el método de sección y velocidad para lo que se utiliza un molinete hidráulico. Se tienen aforos desde el 30 de abril de 1943 a la fecha del 9 de Junio de 1943 a 14 de abril de 1944 se interrumpieron los aforos del 1 de diciembre de 1957 al 14 de febrero de 1958 se suspendieron los aforos.

#### Registro gráficos de niveles

En la margen y 40 m aguas arriba de la sección de aforos funciona un limnógrafo alojado dentro de una estructura de mampostería de piedra y techo de concreto con altura de 15 m y comunicada al río por medio de una galería de concreto de 6.00 m de longitud. Este aparato empezó a funcionar al 10 de Julio de 1943 y dejó de trabajar durante diciembre de 1957 y enero de 1958

#### 1.6.1.8 Gastos extremos en el periodo de operación

Gasto máximo 7000 m<sup>3</sup>/s Se observó el día 13 de septiembre de 1968 con una lectura de escala de 12.50m, se estimó promediando los dos procedimientos siguientes;



extrapolación logarítmica de una curva de gastos formadas con los gastos máximos de todo el periodo y por sección pendiente

Gasto Máximo Aforado

Se midió el 13 de septiembre de 1968 con las siguientes características:

Lectura de escala 8.50 m

Velocidad media 3.508 m/s

Profundidad máxima 7.99 m

### 1.6.2. Capacidad de azolves

Con los datos obtenidos de la estación hidrométrica base de las observaciones del régimen del Río San Lorenzo, que cuenta con registros de material sólido en suspensión desde Junio de 1948 habiendo cuantificado durante el periodo de 1949-1971 un contenido medio por volumen de 1.35 partes por millar.

Por lo que para un periodo de 50 años se tiene:

Azolve en suspensión =  $0.00135 \times 1510 \times 50 = 102 \times 10^6 \text{ m}^3$

Incrementando en 33% la capacidad anterior por arrastre de fondo se tiene:

Capacidad de azolves =  $102 \times 1.33 = 136 \times 10^6 \text{ m}^3$

Por factor de seguridad se consideró  $150 \times 10^6 \text{ m}^3$

Se obtuvo una lámina media anual de lluvia de 738 mm y lámina media anual de evaporación neta de 865 mm en el periodo de 1944-1971.

Se contó con el levantamiento topográfico del vaso a escala 1:20 000 y en él se consignan las siguientes áreas drenadas:

Hasta el proyecto Comedero  $8567 \text{ km}^2$

### 1.6.3. Escurrimientos y Análisis

Los datos para la realización de este proyecto se obtuvieron del análisis de la estación hidrométrica de la antigua C.N.A. en Santa Cruz.

Teniendo los siguientes datos:

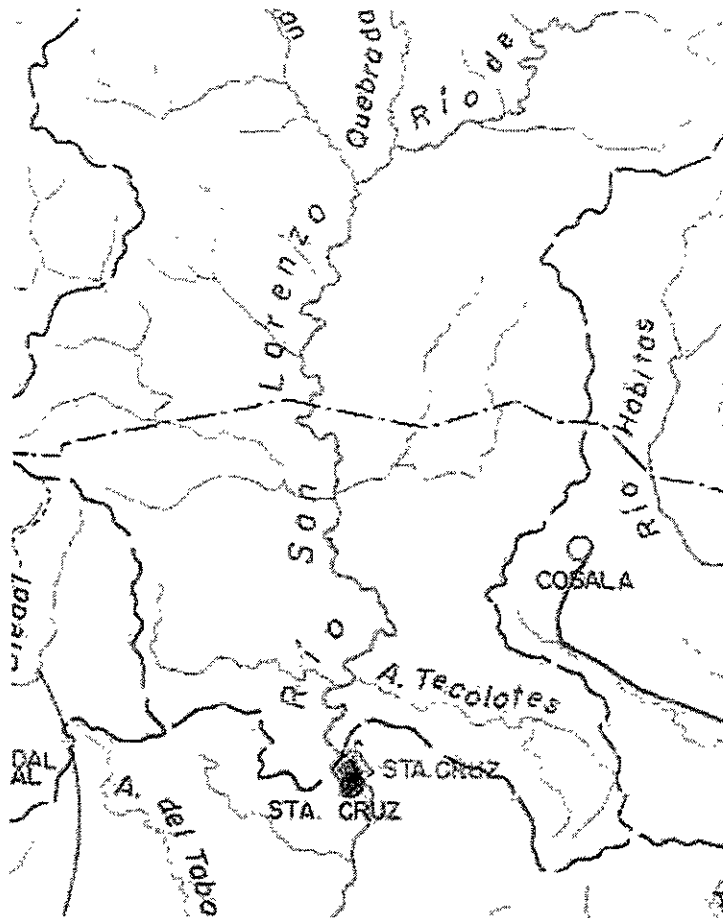
Volumen medio anual escurrido  $V_m = 1510.5 \text{ millones de m}^3$

Gasto medio en el período analizado  $Q_m = 47.9 \text{ m}^3/\text{s}$

La estación hidrométrica base que se tomo en cuenta para el estudio fue la de Santa Cruz

Para determinar el año crítico se consideran dos periodos:

El período húmedo formado por los meses de julio a octubre y el periodo seco formado por los meses de noviembre a Junio se analizaron 28 años, tomando como criterio para el estudio eliminar los 3 años más secos y los 3 años menos húmedos, tomando el cuarto año inmediato superior en ambos casos para obtener la probabilidad uno a diez quedando el año crítico como sigue:



Localización de estación Santa Cruz en cuadro

Volumen escurrido en el período húmedo  $V_h = 569\ 000\ 000\ m^3$

Volumen escurrido en período seco  $V_s = 127\ 000\ 000\ m^3$

Tiempo en segundos en el período húmedo  $T_h = 10\ 626\ 000\ seg$

Tiempo en segundos en el período seco  $T_s = 20\ 910\ 000\ seg$

Tiempo en segundos total en el año  $T_t = 31\ 536\ 000\ seg$

Escorrimento anual en al año crítico:  $V_{ac}$

$$V_{ac} = V_h + V_s = 569 \times 10^6\ m^3 + 127 \times 10^6\ m^3 = 696 \times 10^6\ m^3$$

Gasto medio del año crítico:  $Q_{mc}$

$$Q_{mc} = V_{ac} / T_t = 696\ 000\ 000\ m^3 / 31\ 536\ 000\ s = 22.07\ m^3/s$$

Volumen útil en el vaso para generación de energía eléctrica  $V_u = 1\ 898\ 000\ 000\ m^3$  que es la diferencia del volumen al Nivel de Aguas Máximo de Operación (NAMO) menos el volumen al Nivel de Aguas Mínimo de Operación (NAMINO).

Reserva necesaria mínima para regulación en el vaso ( $Re$ )

$$V_h = Q_{mc} \times T_h + Re = 569\ 000\ 000\ m^3$$

$$V_s = Q_{mc} \times T_s - Re = 127\ 000\ 000\ m^3$$

$$Re = V_h - Q_{mc} \times T_h = 569 \times 10^6 - 22.07 \times 10.626 \times 10^6 = 334.5 \times 10^6\ m^3$$

Como el volumen útil es mayor que la reserva mínima, se obtiene un vaso de regulación interanual, quedando él:

Incremento por regulación interanual

Incremento por regulación interanual se obtuvo de  $\Delta r = 0.20 (V_u - R_e)$

$$\Delta r = 0.20 (1\,898 - 334.5) = 312.7 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Se tomó el 20% por tenerse un máximo de 5 años secos consecutivos en la tabla de escurrimientos.

$$\text{Gasto Crítico } Q_c = \frac{V_h + V_s + \Delta r}{T_t} = \frac{V_{ac} + \Delta r}{T_t} = \frac{696 + 312.7}{31.536} = 32 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gasto Crítico Regularizado  $Q_{cr} = 1.15 Q_c$

$$Q_{cr} = 1.15 \times 32 = 36.80 \text{ m}^3/\text{s}$$

El valor (0.15) corresponde al agua ahorrada en fines de semana.

La carga de diseño bruta (hdb) se determinó restando al nivel de diseño elegido en los funcionamientos del vaso de almacenamiento y el nivel de desfogue de la casa de máquinas con 2 unidades operando.

La carga neta de diseño se obtuvo de la carga de diseño bruta menos las pérdidas de carga de la conducción (2.60 m):

$$H_{db} = 84.50 \text{ m}$$

$$H_{dn} = 84.50 \text{ m} - 2.60 \text{ m} = 81.90 \text{ m}$$

Con los datos obtenidos se decidió instalar dos unidades de 50 MW.

El gasto de diseño de cada unidad fue de  $Q_d = 65.75 \text{ m}^3/\text{s}$

Por lo tanto el gasto equipado total fue de  $65.75 \times 2 = 131.50 \text{ m}^3/\text{s}$

El Volumen turbinable es igual al tiempo en el período húmedo, por el gasto equipado total, por las indisponibilidades, más el volumen útil en el vaso:  $V_t = (T_h \times Q_{et} \times 0.95) + V_u$

$$V_t = (10.626 \times 131.5 \times 0.95) + 1898 = 3\,225 \times 10^6 \text{ m}^3$$

El volumen turbinable es en todos los casos mayor que el volumen del período húmedo, por consiguiente no existen derrames teóricos para los años registrados.

Energía garantizada anual (energía firme) =  $E_{ga} = V_r \times \gamma$ , conocido el gasto crítico regularizado ( $Q_{cr}$ ), el volumen regularizado será =  $V_r = Q_{cr} \times T_t = 36.80 \times 31.536 = 1160.5$  millones de  $\text{m}^3$

$$E_{ga} = V_r \times \gamma = 1160.5 \times 0.19 = 220.5 \text{ GWh}$$

Energía Secundaria =  $E_s$

$$E_s = E_{pa} - E_{ga} = 283 - 220.5 = 62.5 \text{ GWh}$$

### 1.7 Capacidad de Generación

El río San Lorenzo hasta el sitio Comedero tiene un área de cuenca de 8 567.00  $\text{km}^2$ , con un escurrimiento medio anual de 1510.50 millones de metros cúbicos. El área de riego por satisfacer es de 90 200 Ha., para la margen izquierda 37 200 Ha. y las correspondientes a la margen derecha 53 000 ha.

El almacenamiento al NAMO. es de 2 250.00 millones de metros cúbicos, lo que permite cubrir las necesidades para riego y generación con 90 MW instalados. La generación media anual es de 283.00 millones de kWh.

Esta generación permite satisfacer para los años medios de escurrimiento, energía de base y picos, así como para años críticos, energía de picos.

La adaptabilidad de esta central hidroeléctrica para mayores gastos futuros de extracción permite manejar un factor de planta, capaz de operar la misma potencia instalada, en picos y base según la curva de demanda de energía eléctrica en el sistema.

### 1.8 Características Generales del vaso de Almacenamiento

Escurrecimiento medio anual	1510.5 millones de m <sup>3</sup>
Gasto medio escurrido	47.9 m <sup>3</sup> /s
Capacidad máxima del vertedor	5 000 m <sup>3</sup> /s
Elevación de la corona de la cortina	290.00 m.s.n.m.
Elevación de la cresta del vertedor	268.00 m.s.n.m.
Elevación del Nivel de Aguas Máximo Extraordinario (NAME)	286.95 m.s.n.m.
Elevación del NAMO.(Riego y generación)	272.16 m.s.n.m.
Elevación del NAMINO	225.00 m.s.n.m.
Elevación del nivel de diseño (para las turbinas)	252.00 m.s.n.m.
Elevación del Nivel del desfogue (para una unidad)	167.10 m.s.n.m.
Elevación del Nivel del desfogue (para dos unidades)	167.50 m.s.n.m.
Elevación del lecho del río San Lorenzo en eje de cortina	165.00 m.s.n.m.
Capacidad al NAME.	3 400 millones de m <sup>3</sup>
Capacidad al NAMO.	2 250 millones de m <sup>3</sup>
Capacidad al NAMINO.	352 millones de m <sup>3</sup>
Capacidad útil para generación de energía eléctrica	1 898 millones de m <sup>3</sup>
Capacidad para control de Avenidas (Volumen de reserva)	1 150 millones de m <sup>3</sup>

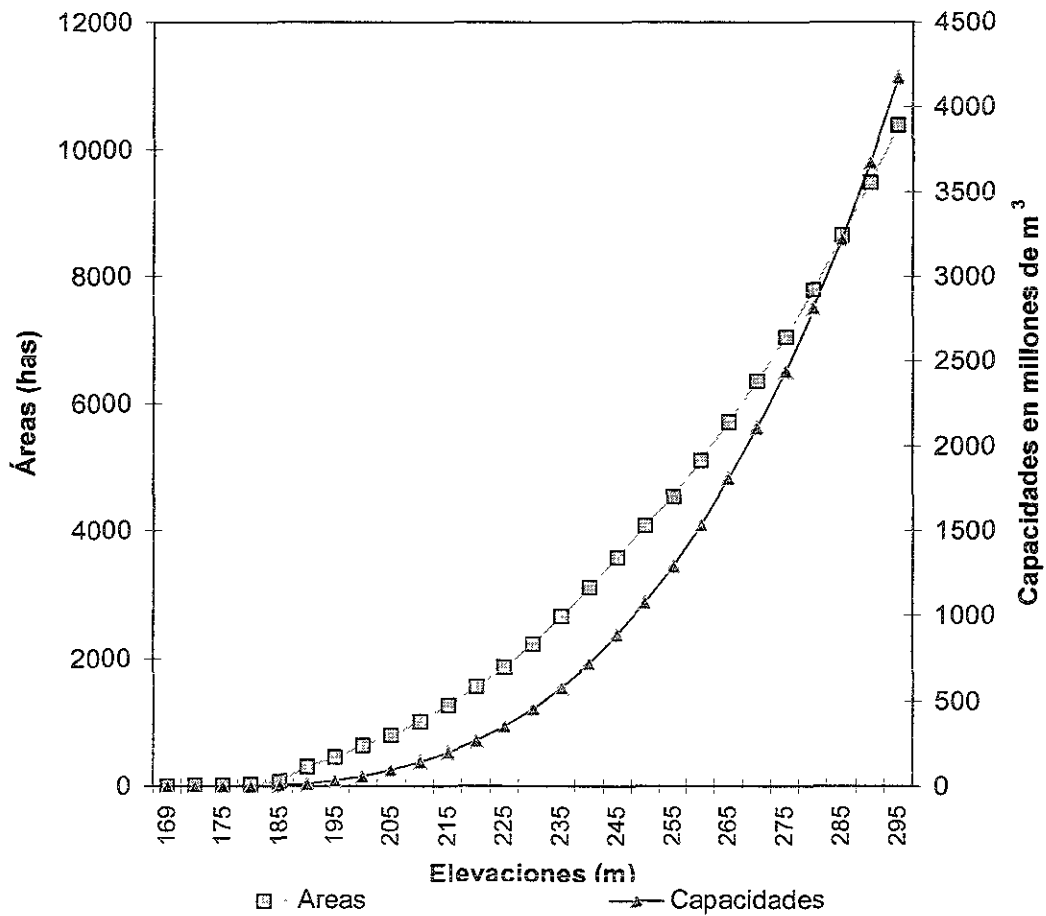
Enseguida se presenta la tabla que contiene las características del vaso de Comedero

Elevaciones en metros	Áreas en has	Capacidades m <sup>3</sup> x10 <sup>6</sup>
169	0	0
170	7.9	0.1
175	15.8	0.6
180	22.7	1.5
185	79	4
190	294.8	13.3
195	448.4	31.8
200	629.5	58.7
205	800.2	94.4
210	1006.8	139.5
215	1270.2	196.4
220	1549.5	266.8
225	1862.4	352
230	2215.8	453.9
235	2658.8	575.7

240	3107.3	719.8
245	3575.9	886.9
250	4073.2	1078.1
255	4521.2	1292.9
260	5097.1	1533.3
265	5712.2	1803.5
270	6350	2105
275	7056.4	2440.1
280	7785.4	2811.1
285	8646.6	3221.9
290	9478.7	3675
295	10380.8	4171.4

Gráfica de las características del vaso de Comedero

**Curva elevaciones-areas-capacidades**



### 1.9 Avenida Máxima Probable

El tránsito de la avenida máxima probable de la central hidroeléctrica Comedero Sinaloa es el siguiente.

Estando a cargo de la antigua S.A.R.H. ahora C.N.A. se llevo la construcción de la obra de excedencias y con base a los datos proporcionados, como el NAMO, NAME volumen útil, regulación de avenida, así como elevación y longitud de la cresta en el vertedor, para ello se corrió un tránsito de avenida máxima probable, por el vertedor con los datos y condiciones, donde se obtuvieron los siguientes datos

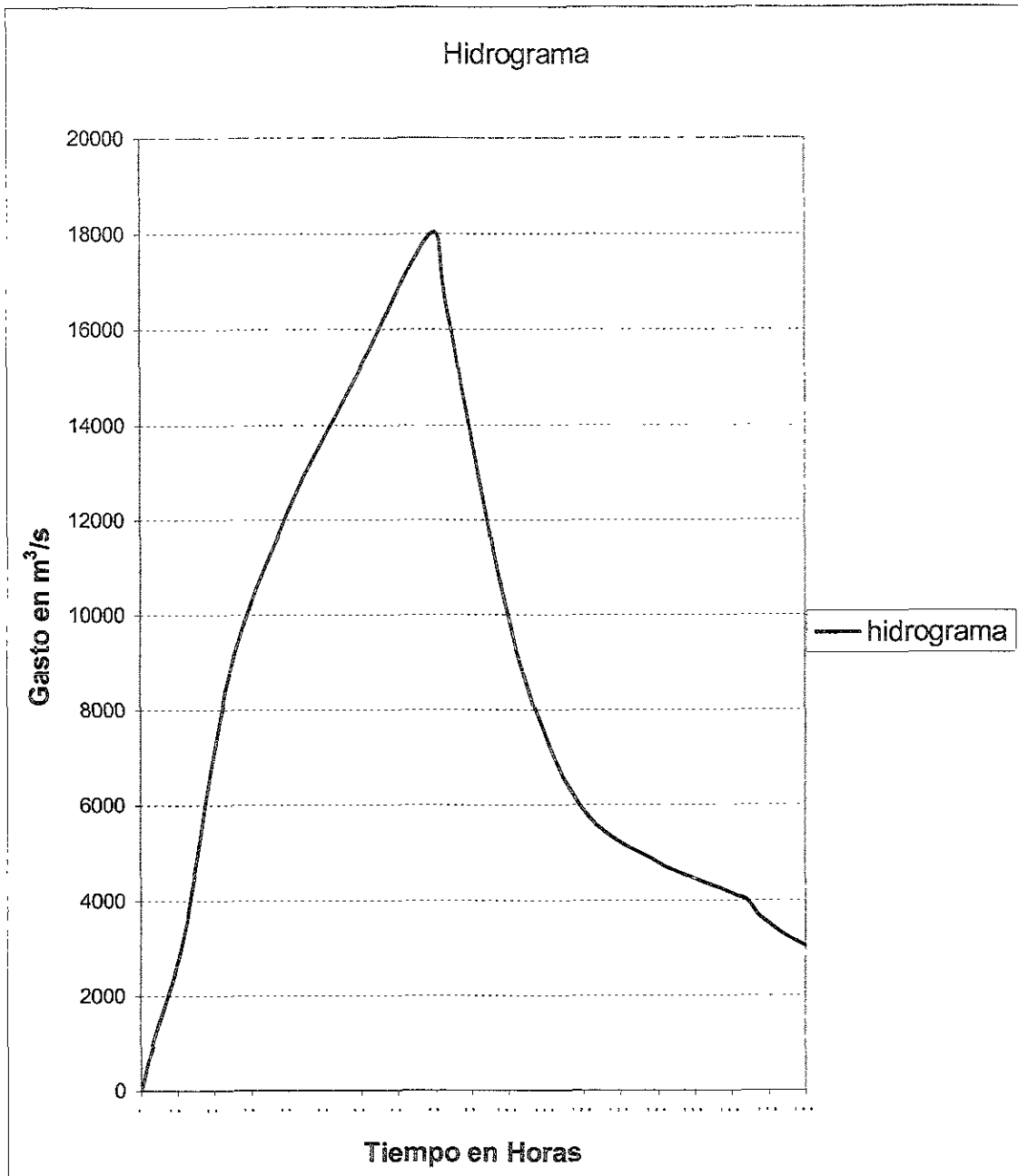
Volumen Útil de 1 898 millones de metros cúbicos, porcentaje de regulación 65% número de compuertas 5 (9.00 x 13.00)

Longitud efectiva de cresta 45.00 m.

Para la determinación final de la estructura vertedora se tomo en cuenta el hidrograma de la avenida máxima probable del proyecto Comedero de Sinaloa

DIA	HORA	INTERVALO		GASTO m <sup>3</sup> /s
		Horas	Segundos	
1	0	0	0	0
	4	4	14 400	1 150
	8	4	14 400	3 350
	12	4	14 400	8 700
	16	4	14 400	12 150
	20	4	14 400	15 200
	24	4	14 400	17 650
2	4	4	14 400	16 650
	8	4	14 400	13 350
	12	4	14 400	9 000
	16	4	14 400	6 000
	20	4	14 400	4 850
	24	4	14 400	4 050
	4	4	14 400	3 700
3	8	4	14 400	3 250
	12	4	14 400	2 800
	16	4	14 400	2 450
	20	4	14 400	2 300
	24	4	14 400	1 950

Se presenta a continuación el gráfico del hidrograma de entrada para la avenida máxima probable, establecida para un periodo de retorno de 10 000 años



Con lo cual se puede deducir que el gasto máximo probable asociado a un periodo de retorno de 10 000 años es de 18 000 m<sup>3</sup>/s.

### ***1.10 Demandas para riego y generación.***

Uno de los aspectos más importantes a considerar cuando se estableció el número de unidades y las potencia que se podía generar en la central hidroeléctrica, fue el establecimiento desde un principio de las condiciones a las cuales se tiene que adaptar la central hidroeléctrica la cual depende completamente de las demandas de riego, ya que

como se establece en la ley de aguas nacionales, se le da prioridad al uso del agua para los distritos de riego, en este caso la presa derivadora San Lorenzo a 23 km de aguas abajo del sitio de la estación hidrométrica la cual fue construida por la S.A.R.H., con la cual se riegan unas 17 000 ha., por lo cual se deja en un segundo plano el agua para generación por lo que la central se simuló, con base a las demandas para los distritos de riego, en las distintas épocas del año que se presentan en la siguiente tabla de las cuales se ponderó un promedio de los meses, como en teoría se requeriría para la C.N.A..

Mes	Demandas para riego	Demandas Para generación	Demanda Propuesta
Enero	120.10	98.0	120
Febrero	119.77	88.0	120
Marzo	133.23	98.0	133
Abril	124.12	95.0	124
Mayo	124.71	98.0	125
Junio	124.32	95.0	124
Julio	67.20	131.0	67
Agosto	49.57	131.0	63
Septiembre	65.21	126.0	65
Octubre	98.92	131.0	99
Noviembre	121.62	95.0	122
Diciembre	108.02	98.0	108
<b>Total</b>	<b>1 256.70</b>	<b>1 284.0</b>	<b>1 270</b>

**Volumen medio anual de la estación Santa Cruz  $1\ 510.5 \times 10^6 \text{ m}^3$**

Los resultados de la tabla de arriba se presentan en millones de metros cúbicos

### *1.11 Criterios para generación*

Como se puede observar en esta tabla en donde se establecieron los criterios para simular los funcionamientos del vaso, se puede ver como es determinante las demanda de agua para riego, para el funcionamiento de los equipos de generación, debido a lo anterior se establecieron los criterios tomados en cuenta para la generación en Comedero los cuales fueron los siguientes.

Los datos con los cuales se hicieron las suposiciones fueron:

- 1) Escurrimientos.- De la estación hidrométrica Santa Cruz localizada a 33.5 kilómetros aguas abajo del sitio, se obtuvieron los registros del año 1944 a 1971
- 2) Curva Elevaciones-Áreas-Capacidades
- 3) El funcionamiento para riego proporcionado por la S.A.R.H.
- 4) Tabla de demandas mensuales
- 5) Demandas para generación e hipótesis de operación de la planta



Se pretende que la central hidroeléctrica funcione cuatro horas diarias a potencia máxima durante el mes de extracción crítica que corresponde a Agosto con  $63 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

6) Se estableció dos periodos un húmedo y un periodo seco

El primero formado por los meses de Julio a Octubre, y el segundo formado por los meses de Noviembre a Junio, es decir los restantes.

7) Factor de Planta.- Está calculado para ambos periodos, el periodo húmedo y seco, en función de la potencia instalada.

El factor de planta propuesto fue de 0.35 para periodo húmedo y de 0.27 para periodo seco, es decir que la central hidroeléctrica funcionara en el periodo húmedo de 8 horas y en el tiempo seco sólo seis horas diarias, esto con el fin de optimizar dentro de los periodos de demanda máxima (picos).

Los resultados que se obtuvieron con los cuales finalmente se diseño la central hidroeléctrica, para la presa Comedero de la ex S.A.R.H. ahora C.N.A. fueron los siguientes:

NAMO.	272.16 m.s.n.m.
NAMINO.	225.00 m.s.n.m.
Nivel de desfogue	167.50 m.s.n.m.
Carga máxima para generación	104.66 m
Carga mínima para generación	57.50 m
Carga de diseño bruta	84.50 m
Capacidad del vaso al NAMO.	$2\,250 \times 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad del vaso al NAMINO.	$352 \times 10^6 \text{ m}^3$
Capacidad útil del vaso para generación	$1\,898 \times 10^6 \text{ m}^3$
Aportación media anual	$1\,510 \times 10^6 \text{ m}^3$
Potencia media	33 000 kW
Potencia instalada	90 M.W.
Factor de Planta para energía firme	0.27
Factor de Planta para energía secundaria	0.35
Generación media mensual	21.15 GWh
Generación media anual	253.80 GWh
Volumen máximo de extracción mensual	$133 \times 10^6 \text{ m}^3$
Generación secundaria media mensual	3.17 GWh
Generación secundaria media anual	38.00 GWh
Generación total media anual	291.80 GWh

### *1.12 Descripción General de las Obras*

Como se menciona en el año de 1980. considerando los requerimientos de una presa cuya finalidad es el almacenamiento para poder abastecer el distrito de riego, así como el control de avenidas, llevo acabo las obras necesarias para un proyecto de estas características como lo es: la obra de desvío, la obra de contención, la obra de toma para riego y obra de excedencias fueron llevadas a cabo por la antigua S.A.R.H. ahora C.N.A.

Las obras necesarias para establecer una central hidroeléctrica corrió a cuenta de la C.F.E., las obras fueron construidas en 1991, dentro de estas se encuentran: las obras de toma, la tubería a presión, el pozo de oscilación, la casa de máquinas, donde se colocó toda la maquinaria electromecánica necesaria como lo son las dos turbinas, con sus respectivos generadores y la subestación eléctrica.

### *1.12.1 Obra de Desvío*

Constó de dos ataguías a la elevación 201 m.s.n.m. aguas arriba y 184 m.s.n.m. aguas abajo de la cortina, respectivamente. Así como dos túneles localizados en la margen izquierda de 14.00 m de diámetro interior recubiertos de concreto y 40.00 m de separación entre ejes, excavados en su totalidad en pizarras de excelente calidad.

Estos túneles tienen el acceso en la elevación 168 m.s.n.m. con pendiente igual a 0.0008 y longitudes de 723.98 m y 654.38 m (No. 1 y No.2 respectivamente) y funcionarán, posteriormente como obra de toma con sus adaptaciones necesarias; siendo el No. 1 el túnel adoptado por C.N.A. para cubrir las demandas del distrito de riego.

Así como el número 2 se utilizó como parte de la estructura que forma parte de la obra de toma para generación de energía eléctrica por parte de la C.F.E.

Los desvíos se diseñaron para una avenida de 4 000 m<sup>3</sup>/s

### *1.12.2 Cortina*

De materiales graduados con corazón impermeable de arcilla y pantalla de inyecciones. Es de eje recto con taludes aguas arriba y aguas abajo de 2:1 y se desplanta a la elevación 156 m.s.n.m. La corona tiene la elevación 290.00, de 10.00 m de ancho y longitud máxima de 400.00 m. El volumen total de los materiales que constituyen la cortina es de  $6.7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>

El perfil topográfico de la boquilla es simétrico, sensiblemente en forma de “u”, presentándose en ambas laderas pizarras esquistosas y pizarras calcáreas, que forman parte de la formación conocida regionalmente como complejo Sonobari y es una roca masiva, compacta e impermeable.

### *1.12.3 Obra de Excedencias*

Ubicada en la margen derecha del río, del tipo controlado mediante cinco compuertas radiales de nueve m. por 13 m. de altura, que permiten desalojar un gasto máximo de 5 000 m<sup>3</sup>/s, correspondiente a la avenida de entrada con pico de 18 000 m<sup>3</sup>/s. A la elevación 268 m.s.n.m. se tiene la cresta vertedora con 53 m. de longitud total, con una longitud real tomada en cuenta de 45 m. debido a que se tiene un ancho de 8 metros correspondientes a las pilas.

La descarga se efectúa a través de un canal de eje recto de 35 metros que en su parte final lleva un deflector, a la elevación 220.51 m.s.n.m. con la finalidad de disipar la energía cinética del agua.

A continuación se muestra el funcionamiento hidráulico del vertedor de la presa comedero, diseñado con la finalidad de poder transitar la avenida propuesta en el

hidrograma mencionado en las páginas anteriores, por medio de la tabla Tirantes – Gastos del vertedor del proyecto Comedero.

Elevación m.s.n.m.	Carga (H) en metros	Gasto (Q) En m <sup>3</sup> /s	
268	0	0	Cresta del vertedor
269	1	76.5	
270	2	216.5	
271	3	398.0	
272	4	612.0	
273	5	855.0	
274	6	1 124.5	
275	7	1 417.0	
276	8	1 731.0	
277	9	2 065.5	
278	10	2 419.0	
279	11	2 791.0	
280	12	3 180.0	
281	13	3 585.5	
282	14	4 007.0	
283	15	4 444.0	
284	16	4 896.0	
285	17	5 362.0	
286	18	5 842.0	
287	19	6 336.0	N.A.M.E. (Elev 286.95)
288	20	6 842.0	
289	21	7 361.5	
290	22	7 893.0	Corona

#### 1.12.4 Obra de toma

Los túneles excavados en la margen izquierda, para desviar la corriente, funcionarán posteriormente como obra de toma, riego y generación respectivamente.

Dicha estructura será en torre de concreto: la plataforma de operación a la elevación 201.00 m.s.n.m. umbral de entrada en la 202.50 m.s.n.m., clave de la toma No.1 en la elevación 211.30 m.s.n.m. y de la No. 2 en la 214.15 m.s.n.m. Plantilla de acceso en la elevación 168.00 m.s.n.m.

Se construirá en una primera etapa de la toma No. 2, para generación, la transición del túnel revestido a la tubería de acero a presión (diámetro = 14.00 a 6.00 metros) colocación de una válvula de mariposa e inmediatamente después una tapa ciega que se retiró en una segunda etapa cuando se llevo acabo la conexión hacia el pozo de oscilación y casa de Máquinas.

Las obras correspondientes a la generación de energía eléctrica a partir de la estación 0+368.26 incluyeron:

#### 1.12.5 Tubería a Presión

La tubería a presión y bifurcación con las siguientes características:

Longitud 335.00 metros

Q equipado = 130 m<sup>3</sup>/s

Velocidad = 4.6 m/seg

Diámetro = 6.00 y 4.20 m

Estructura de Pozo de oscilación

Localizada en la estación 0+460 con las dimensiones necesarias para amortiguar las demandas y el rechazo del volumen de agua con diámetro de 14.00 m revestido de una camisa de acero, así como el diámetro del elevador de 6.00 m.

Esta estructura ha sido dimensionada bajo las condiciones de trabajo en el vaso de la presa, para el NAME (Elev. 286.95 m.s.n.m.) y N.A.M.I.N.O (Elev. 225 m.s.n.m.)

### 1.12.6 Casa de Maquinas

La casa de máquinas es exterior y se encuentra localizada a 34.00 metros de la salida del túnel número 2. La estructura es de concreto reforzado de 31 x 41.30 metros, desplantada en la elevación 156.30 para alojar 2 unidades de 45 MW y velocidad de rotación sincrónica de 225 r.p.m., con las instalaciones siguientes: Grúa móvil en la elevación 186.50 y otra en la elevación 182.50 (para la colocación de la válvula de mariposa de diámetro 3.04m). Piso de excitadores en la elevación 177.00, Generadores en la elevación 173.00, turbinas en la elevación 169.00, eje distribuidor en la 166.10, piso de válvulas en la elevación 162.50 y galería de desfogue y drenaje en la elevación 158.12. A la elevación 177.00 el piso de la estructura móvil para el izaje de las compuertas de desfogue.

Las dimensiones de la estructura se determinaron de acuerdo al tamaño de las unidades generadoras y del espacio para zona de montaje, disposición de los equipos y sistemas auxiliares y necesidades de operación de la central.

Las dimensiones básicas son las siguientes:

Longitud casa de máquinas	41.30 m
Anchura casa de máquinas	31.00 m
Altura total de casa de máquinas	36.00 m
<b>OTROS NIVELES</b>	
Fondo de los tubos de succión	158.12 m.s.n.m.
Eje de distribuidores	166.10 m.s.n.m.
Tirante en el pozo de oscilación con carga de diseño	250.80 m.s.n.m.
Piso acceso a tubos de aspiración	162.50 m.s.n.m.
Piso grupo auxiliar	173.00 m.s.n.m.
Piso turbinas	169.00 m.s.n.m.

### 1.12.7 Equipo Electromecánico

Turbinas

Tipo

Francis eje vertical

Número

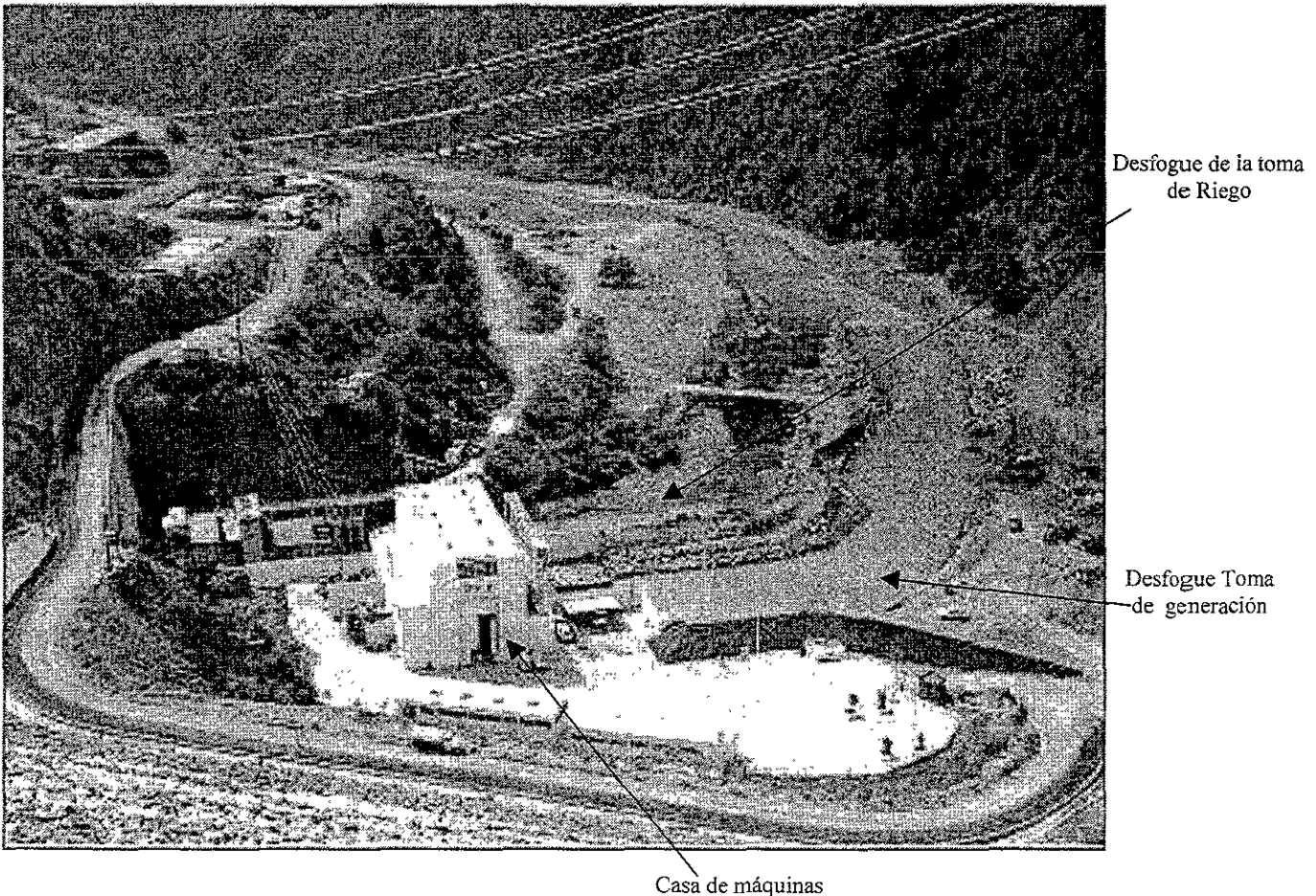
dos unidades

Sentido de rotación

Vista en planta lleva la dirección de las manecillas del reloj.

Equipo de guarda

Temperatura del agua (media)	25°
Potencia viva en la flecha con caída	45 062 kW = 59 594 C.V.
Caídas netas:	
Máxima	102.06 m.
Diseño	81.90 m.
Mínima	54.90 m.
Gasto con caída:	
Máxima	65.50 m <sup>3</sup> /s
Diseño	65.50 m <sup>3</sup> /s
Velocidad:	
Específica	221.54 r.p.m.
Nominal	257.14 r.p.m.
Velocidad de desboque con caída:	
Máxima	112%
Diseño	90%
Mínima	56%
Momento volante (turbina)	682.309 T x m <sup>2</sup>
Tiempo de cierre del distribuidor	2 segundos
Tiempo de aceleración de la unidad	2.66 segundos
Sumergencia disponible	- 1.40 m.



Desfogue de la toma de Riego

Desfogue Toma de generación

Casa de máquinas

La subestación elevadora está localizada arriba de la zona de casa de Máquinas en la elevación 248.00 m.s.n.m. en una superficie de 100.00 x 50.00 y 75 kilómetros de línea que se interconecta al sistema eléctrico del noroeste en Culiacán.

### *1.13 Análisis del funcionamiento de Comedero*

Después de los veinte años de operación de la presa de Comedero, se puede establecer que ésta ha funcionado de manera adecuada y segura en cuanto al funcionamiento tanto estructural como hidráulico, ya que hasta el momento la máxima avenida que se ha presentado desde septiembre de 1968, a la fecha no ha sido superada, con lo cual de momento sólo se sabe que durante todo este periodo en la Presa Comedero solamente se ha utilizado el vertedor en dos ocasiones y el vertedor hasta el momento ha estado sobrado, lógico de suponer ya que se diseñó para un periodo de retorno de diez mil años. En cuanto a la operación de la central hidroeléctrica la cual lleva 10 años trabajando se puede decir lo siguiente:

En la actualidad la central hidroeléctrica de Comedero, no ha operado al nivel de los requerimientos esperados cuando se planeó este proyecto, cabe mencionar que la parte donde se ha perdido una gran cantidad de generación se debe a dos circunstancias que se deben tomar en cuenta:

La primera es que se debe considerar antes que nada, los requerimientos de la C.N.A. aguas abajo en el distrito de riego, razón por la cual se establece que la base para poder generar, depende en gran medida de la planeación que se lleva a cabo anualmente para la dosificación de las aguas necesarias para el distrito de riego, que se encuentra aguas abajo.

Por otra parte los requerimientos del gasto, se hacen con base en el requerimiento del gasto que se tenga de manera diario planeado para el distrito de riego, con la salvedad que a la C.F.E., le conviene por cuestiones de operación abarcar de una mejor manera la curva de demanda del fluido eléctrico, la generación de la planta hidroeléctrica de Comedero tan sólo cuatro horas, por lo que en la actualidad no lo puede hacer debido a que esta superada a las demandas de riego de la C.N.A las cuales requieren de un gasto constante y no de sólo de cuatro horas como lo requiere la C.F.E., con lo cual además de causar este problema en los meses críticos las demandas diarias, se encuentran por debajo del gasto mínimo con el cual funcionan las unidades para generar, el cual está considerado por el fabricante de las turbinas, de 28 m<sup>3</sup>/s para cada una de las dos unidades, por lo que se ha dejado de generar en constantes ocasiones en los que las lluvias no han sido suficientes, debido a que el gasto demandado es menor, al gasto mínimo para operar.

A continuación se muestra la forma en que ha generado la central hidroeléctrica de Comedero.

**Generación en GWh**

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
1991							4.226	21.211	21.538	23.331	17.082	61.117	148.505
1992	83.530	80.193	73.919	79.279	84.415	63.526	25.127	30.198	15.080	41.307	51.562	26.671	654.807
1993	38.012	45.093	55.830	50.988	35.739	23.177	18.182	17.368	3.149	13.750	19.789	29.561	350.638
1994	44.598	50.050	60.328	54.416	41.351	27.010	19.070	11.113	8.161	9.111	4.523	4.213	333.944
1995	9.917	10.923	14.122	4.997	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	8.825	20.335	7.299	76.418
1996	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	14.997	23.230	13.152	51.370
1997	14.906	16.568	22.039	17.776	12.658	0.000	0.000	0.000	0.291	21.446	14.457	16.633	136.770
1998	35.196	29.247	34.575	29.327	12.434	0.000	0.000	0.000	0.000	10.621	19.327	7.441	178.168
1999	4.506	1.207	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	13.378	29.020	19.606	67.717
2000	20.894	21.845	21.144	7.284	0.000	0.000	1.470	0.064	0.000	0.000	0.013	13.755	86.469
2001	22.639	22.736	18.053	13.846									
<b>Media</b>	<b>27.420</b>	<b>27.786</b>	<b>30.001</b>	<b>25.791</b>	<b>20.733</b>	<b>12.635</b>	<b>6.808</b>	<b>7.995</b>	<b>4.822</b>	<b>15.677</b>	<b>19.934</b>	<b>19.945</b>	<b>208.481</b>

**Generación media anual esperada 283**  
**Perdida 26%**

Como se puede mostrar la presa no ha funcionado adecuadamente con respecto a lo que se analizó en su inicio, por lo cual se deberá hacer un estudio el cual nos conduzca a una solución que permita, en la medida de lo posible mejorar el funcionamiento de la Presa Comedero en Sinaloa y está funcione, para generar picos en épocas secas y en los años húmedos produzca energía de base así como de pico, como se menciona al principio de este Capítulo donde se presentaron los estudios previos al equipamiento de Comedero.

### *1.14 Conclusiones*

Como se puede observar la planta hidroeléctrica de Comedero “Raúl J. Marsal”, hasta la fecha no ha producido la energía para la cual tiene capacidad, básicamente ya que no se puede generar de la manera más eficiente, debido a que la generación se encuentra supeditada a los requerimientos de la demanda de agua que tiene la C.N.A..

Por lo cual es necesario, llevar acabo el análisis para efectuar una presa que regule el gasto diario, el cual proporciona Comedero hacia el distrito de riego, con lo cual se vera si es viable la realización de una presa reguladora diaria, la cual tendrá como finalidad, cumplir los requerimientos de demanda de la C.N.A para los distritos de riego, así como generar de una manera más eficiente, con lo cual se podrá cumplir con las dos metas las cuales son almacenar agua para riego y la de generación eléctrica de una manera eficiente, obviamente sin olvidar que la presa tanto de Comedero como la que se analizará deben funcionar de manera segura con la finalidad de ayudar en lo posible a transitar avenidas, para evitar inundaciones, teniendo en cuenta lo siguiente en los capítulos posteriores se enfocaran a proponer las obras que permitan generar de una manera más eficiente, la Central hidroeléctrica Raúl J. Marsal.

Las razones básicas por las cuales el funcionamiento no se ha llevado de manera eficiente, son asociadas a las características de la capacidad del vaso, las hidrológicas, así como la dimensión de las turbinas, las cuales fueron consideradas, con base en una generación pico, que en la actualidad no se puede llevar a cabo, debido a que opera con respecto a los requerimientos de los distritos de riego y no con base a las necesidades de la C.F.E.

Por lo que con un vaso de regulación diaria, se podrá hacer el cambio de régimen de operación de la presa Comedero, con lo cual se logrará cumplir con las dos finalidades para las cuales se creó la presa, que son generar en las horas pico y al mismo tiempo, cumplir con la demanda aguas abajo para los distritos de riego, razón por lo cual la premisa para la realización de este proyecto, será que el vaso tenga la capacidad de poder hacer una regulación diaria de las aguas utilizadas en los distritos de riego aguas abajo.

Por lo que se procederá a hacer el análisis de las ventajas, en cuanto al funcionamiento de la central hidroeléctrica, así como los beneficios asociados que traería consigo una nueva obra, por lo cual se estudiará el aspecto técnico del proyecto y la viabilidad económica de llevarlo a cabo.

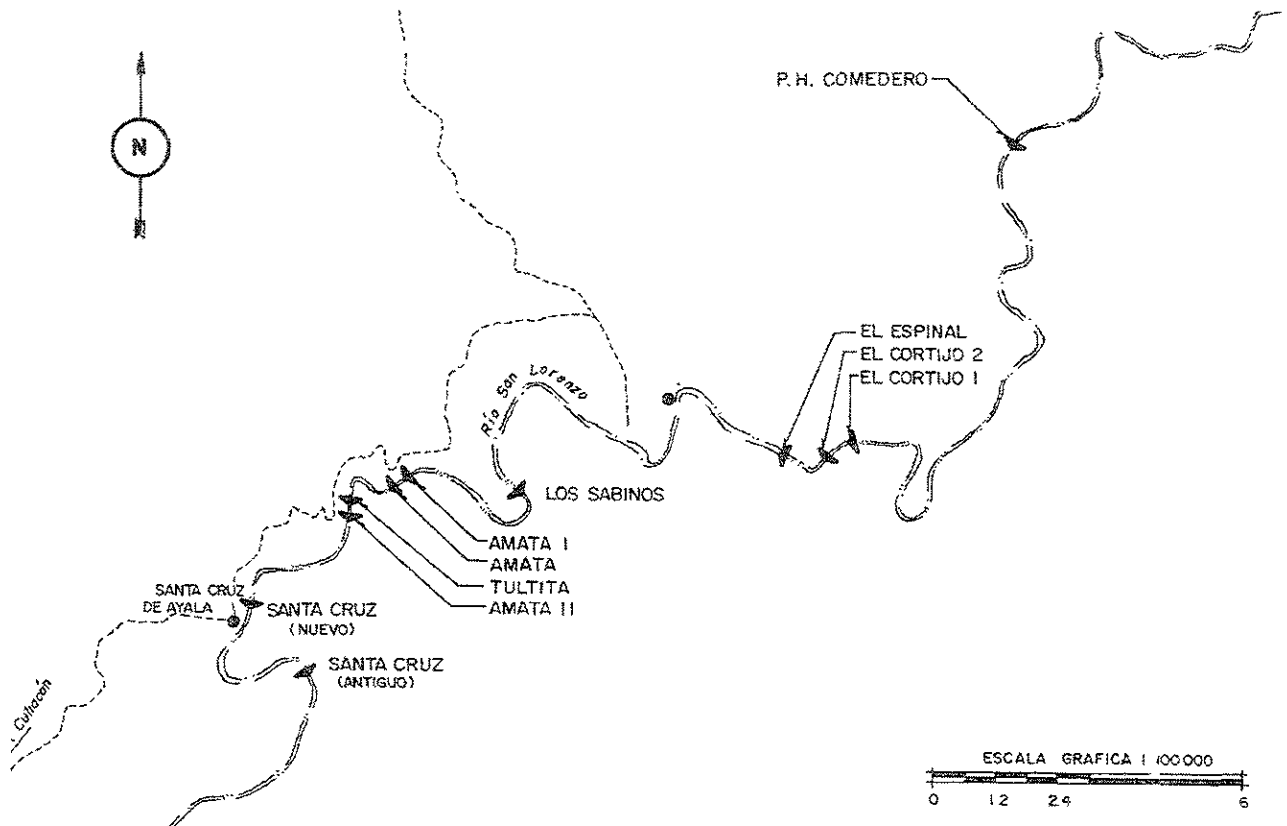


## 2. DERIVADORA DE CAMBIO DE RÉGIMEN

### 2.1 Introducción

Con base en el análisis de la central hidroeléctrica de Comedero, se decidió estudiar la posibilidad de llevar a cabo el estudio de factibilidad, de una presa reguladora aguas abajo de la presa Comedero, que tenga la capacidad de regular el gasto diario de la presa Comedero, con la finalidad de que siempre se logre producir energía con el mayor gasto posible, dentro de cuatro horas mínimo, las cuales se adecuaran a las horas en las que la demanda de energía eléctrica es máxima.

A partir de lo anterior se llevó a cabo un análisis a nivel gran visión, de diversos posibles sitios para desarrollar el proyecto, varios sitios se fueron descartando por diversos factores, como el tamaño de la boquilla (lo que lleva asociado mayores dimensiones en la obra de contención), así como las propiedades geológicas de los distintos sitios y los inconvenientes en cuanto a afectaciones, al final se decidió llevar a cabo el estudio de dos distintos sitios, los cuales se consideraron idóneos por las características antes mencionadas como los viables, para poder subsanar el problema que presentaba la presa Comedero, siendo por sus características de boquilla, el sitio denominado Amata el más viable, ya que presentaba condiciones que se pueden estabilizar, así como menor cantidad de material y por otra parte el eje Tultita tiene la posibilidad y la ventaja de poderse equipar, con lo cual se lograría generar en este sitio, aprovechando la carga que se tendrá en la cortina.



*Sitios estudiados a nivel granvisión*

## 2.2 Características Generales de los Sitios

### 2.2.1 Localización y Acceso

El tramo del Río San Lorenzo, considerado para ubicar una presa reguladora se localiza entre la cortina de Comedero y el poblado de Santa Cruz de Alayá con una longitud medida sobre el Río de 34 km.

El acceso a la zona de estudio se puede realizar de dos maneras, siendo la primera la más recomendable:

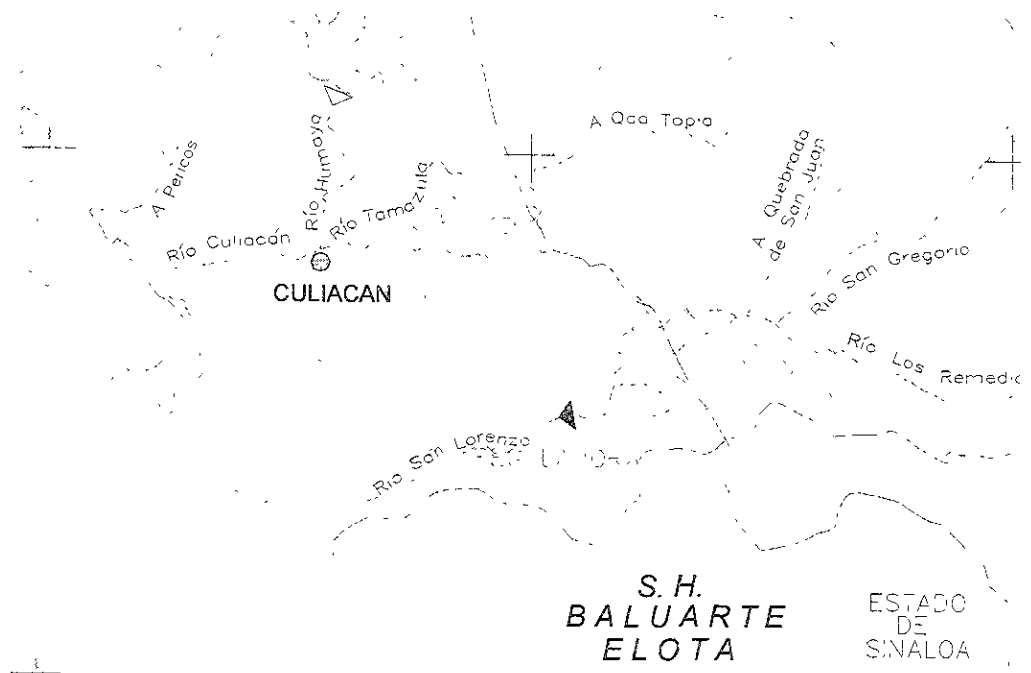
#### Camino Culiacán- Santa Cruz

Partiendo del sur de la ciudad de Culiacán por la Carretera federal No. 15, que lleva a Mazatlán, antes de llegar al puente San Lorenzo(46 km de recorrido), se encuentra por la margen derecha del Río del mismo nombre, el entronque del camino que lleva a Santa Cruz de Alayá. Este camino es una terracería en un buen estado de aproximadamente 20 km. de desarrollo. Los ejes que se mencionaron así como los estudiados se localizan en su mayoría aguas arriba del citado poblado.

Existe otra terracería de aproximadamente 15 km., de mayor calidad que la anterior, que lleva al Pueblo de Alayá. El acceso aguas arriba del río se hace a pie y el paso a la otra margen se realiza con lancha.

#### Camino Culiacán Comedero

Partiendo, del oriente de la ciudad, por una terracería de 70 km. transitable todo el año, se llega hasta el cruce con una brecha de 13 km., transitable solo en estiaje, que lleva al Pueblo de Alayá. El acceso aguas abajo es por la terracería que lleva a Santa Cruz, y que fue comentada en el punto anterior. De la misma manera, el acceso aguas arriba se realiza a pie y el cruce del río con lancha.



*Sitios de los posibles sitios de la presa reguladora*

### 2.2.2 Climatología y Vegetación

El clima de la región según Thortwaite es de tipo semiárido cálido con pocas lluvias en invierno; la temporada de lluvias es de julio a septiembre, definida por temporales ocasionados por ciclones.

La precipitación media anual según isoyetas del Boletín Hidrológico No. 26 para la región noroeste de México es de 950 mm anuales; los vientos dominantes son del sureste y tienen una velocidad media de 20 m/s.

La temperatura máxima registrada es de 45° C y la mínima de 2° C con promedio de 24° C.

La vegetación en el área se clasifica como bosque espinoso, observándose especies pereniformes únicamente en cañadas y a orillas del río. Esta constituida principalmente por guamúchil, mezquite gigantes, amapa, papeliyo, mauto, casiguana, vinolo, chutama y algodoncillo, así como gran variedad de pequeños arbustos espinosos.

### 2.2.3 Hidrografía

El Río San Lorenzo nace en el estado de Durango en la Sierra Madre Occidental, a elevaciones cercanas a los 2 800 m.s.n.m., la corriente principal que primero toma el nombre de Río de los Remedios, se forma con la confluencia de los ríos de las Vueltas y los Fresnos que llegan de lo alto de la cuenca.

El Río de los Remedios corre con una trayectoria sensiblemente este-oeste, hasta el arroyo San Juan de Camarones, a partir de donde cambia de dirección hacia el suroeste, recibiendo el nombre de Río San Lorenzo cruza el Estado de Sinaloa por los municipios de Cosalá y Culiacán; finalmente desemboca en la Bahía de Quevedo.

En Santa Cruz, existe una estación de aforo hidrométrico de la C.N.A. que lleva este nombre y cuenta con: escala, limnógrafo y estructuras para aforos; además de un laboratorio para procesamiento de sólidos en suspensión. Esta estación se empezó a operar en 1943 y continúa hasta la fecha.

A 1 km de la estación hidrométrica, sobre la margen derecha, existe una estación climatológica equipada con: pluviómetro termómetro y evaporímetro ha operado también desde 1943 a la fecha.

### 2.2.4 Fisiografía

El área de estudio está situada en la porción centro-occidental de la Subprovincia de Sierras de Piamonte, la que a su vez pertenece a la Provincia Fisiográfica de Cordilleras Sepultadas.

Las Sierras de Piamonte constituyen las estribaciones de la Sierra Madre Occidental en su flanco oeste. Están caracterizadas por cerros bajos y lomeríos cuyas cotas sobre el nivel del mar aumentan hacia el oriente. Estas prominencias se encuentran separando a pequeños valles, formando una red hidrográfica de tipo dentrítico en la cabecera de sus escurrimientos y arroyos, tendiendo a ser rectangular a medida que se acerca a la planicie costera.

## 2.3 Estudios Básicos

### 2.3.1 Hidrología

Los datos hidrológicos se tomaron del informe P.H. Comedero Río San Lorenzo, Sin, que a continuación se muestran.

#### Datos Hidrológicos

Area drenada hasta Comedero	8 567 km
Area drenada hasta la estación Santa Cruz	8 919 km
Gasto Equipado 2U	130 m/s
Gasto de la toma de riego Comedero	90 m/s
Demanda de riego máxima (estiaje)	50 m/s
Demanda de riego mínima (lluvias)	23.5 m/s
Azolve en suspensión (partes por millar)	1.35 x 10
Arrastre de fondo respecto al azolve en suspensión)	33%
Gasto máximo de descarga en Comedero	5 000 m <sup>3</sup> /s

Para el estudio se llevo acabo la actualización de los datos de la cuenca del río San Lorenzo, ya que los datos anteriores abarcaban el periodo de 1944 a 1971.

Para llevar acabo este estudio se decidió ampliar el margen de la matriz de escurrimientos que se tenían a partir del año 1944 a 1971, y se estableció un nuevo estudio que nos permitiera actualizar los datos de la cuenca, los siguientes se proporcionan en la tabla donde se muestran los escurrimientos que midió la estación de Santa Cruz con el fin de actualizar el proyecto, para este estudio se pudieron recopilar los datos completos hasta el año de 1996, con lo cual se tuvo un total de registro por 50 años completos, estos se presentan a continuación con los valores medios obtenidos, así como todos los registros de la estación Santa Cruz, con la finalidad de poder establecer la cantidad de agua que se podrá utilizar, para nuestro proyecto.

Años	Volúmenes mensuales en millones de metros cúbicos												Anuales
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
1944	129	90	102	26	14	15	84	207	375	54	294	112	1502
1945	72	21	13	7	6	6	223	377	150	200	24	16	1115
1946	16	9	6	5	4	36	130	144	197	98	19	52	716
1947	377	28	18	9	7	20	81	549	471	48	20	58	1686
1948	17	13	8	7	8	91	366	371	432	150	49	118	1630
1949	307	141	35	15	9	23	244	214	377	100	24	76	1565
1950	286	14	14	9	6	38	294	273	213	96	18	10	1271
1951	12	7	7	6	5	19	122	220	101	19	11	60	589
1952	12	7	9	6	5	33	197	263	109	30	16	47	734
1953	26	26	12	6	4	7	126	185	330	48	17	27	814
1954	106	14	9	5	5	24	276	435	139	111	24	13	1161
1955	344	30	16	9	6	8	172	741	370	186	30	19	1931
1956	16	10	8	6	8	38	158	217	193	21	10	11	696
1957	11	10	36	8	5	8	47	178	89	50	16	88	546
1958	48	18	117	11	5	119	153	382	830	317	63	82	2145
1959	35	16	10	7	4	9	202	694	170	49	20	15	1231
1960	282	23	12	6	4	6	95	332	183	144	30	76	1193
1961	389	63	19	11	6	46	394	467	618	169	52	237	2471
1962	30	15	13	6	5	8	113	196	384	313	33	19	1135
1963	16	9	8	5	5	28	380	605	413	149	35	635	2288
1964	45	26	35	12	10	58	109	393	707	441	42	26	1904
1965	30	52	14	8	6	7	93	146	254	48	17	241	916
1966	68	67	27	15	15	31	244	1183	711	119	34	22	2536
1967	19	12	9	6	4	26	391	777	519	124	41	147	2075
1968	154	264	300	47	18	20	564	804	1419	211	114	152	4067
1969	172	35	20	11	10	9	290	129	169	134	23	104	1106
1970	220	48	33	13	7	9	160	385	639	171	28	18	1731
1971	16.25	10	8	6	6	34	287	602	263	196	59	35	1522
1972	155	23	14	8	8	25	86	186	418	417	521	129	1987
1973	92	196	61	20	12	15	108	856	647	110	33	21	2171
1974	18	11	11	8	7	7	165	501	807	295	94	282	2206
1975	113	35	17	10	8	9	186	332	311	33	17	16	1086
1976	13	10	6	7	5	33	232	209	319	259	148	129	1370
1977	281	31	17	11	7	29	279	404	385	86	33	16	1579
1978	14	19	10	7	5	9	153	394	716	211	43	24	1605
1979	415	267	34	16	11	13	128	558	83	19	11	19	1573
1980	12	13	12	9	6	9	72	530	585	518	191	83	2039
1981	185	53	120	25	15	3	46	245	279	264	120	15	1369
1982	25	38	89	195	229	126	175	316	316	224	111	14	1856
1984	81	58	199	210	203	99	40	89	214	197	203	33	1627
1985	21	110	211	190	199	100	174	200	301	300	79	46	1931
1986	160	210	243	232	240	70	120	180	224	299	162	70	2210
1987	152	128	172	242	318	236	258	318	299	284	286	165	2858
1990	161	240	269	276	276	205	83	27	35	57	67	72	1767
1991	63	179	216	238	206	106	82	126	237	105	80	397	2035
1992	615	483	329	319	0	113	145	159	92	227	278	109	2869
1993	171	204	259	252	197	134	107	99	16	61	88	126	1715
1994	239	302	377	350	275	242	199	139	89	88	58	65	2425
1995	65	79	102	93	86	46	27	11	4	137	137	73	857
1996	49	5	89	126	43	7	7	8	5	89	123	77	617
<b>Media</b>	<b>127</b>	<b>75</b>	<b>75</b>	<b>63</b>	<b>51</b>	<b>48</b>	<b>177</b>	<b>347</b>	<b>344</b>	<b>161</b>	<b>81</b>	<b>90</b>	<b>1641</b>

*En esta tabla se presentan los escurrimientos de 50 años los cuales se utilizarán para llevar acabo el análisis*

## 2.4 Criterios de Diseño del Vaso

### 2.4.1 Nivel Mínimo de Operación, (NAMINO)

Primero se calculó la capacidad de azolves como el 75% del volumen que se puede acumular en 50 años de vida útil de la obra, considerando los sólidos en suspensión más el arrastre de fondo de la cuenca propia.

Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera

$$V_{az} = 0.75 \text{ VMA } P_1 V_u (1 + P_2)$$

En donde:

$V_{az}$  = volumen de azolves,  $10^6 \text{ m}^3$

VMA = volumen medio anual escurrido entre comedero y Amata =  $65.89 \text{ m}^3 \times 10^6$

$P_1$  = porcentaje de azolves en suspensión = 0.135%

$P_2$  = porcentaje de sólidos de arrastre = 33%

$V_u$  = vida útil de la obra = 50 años

Sustituyendo valores tendríamos:

$$V_{az} = 0.75 \times 65.89 \times 0.00135 \times 50 \times (1 + 0.33) \times 10^6 = 4.44 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Se tomó:  $V_{az} = 4.5 \times 10^6 \text{ m}^3$

El nivel que proporciona este dato es considerado como el NAMINO del proyecto y es el que además da la carga de agua necesaria, para desalojar por las compuertas del desarenador totalmente abiertas, la demanda máxima de riego de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$

De esta forma el NAMINO se estableció a la elevación 129.80 m.s.n.m. en el caso de Amata y para el caso de Tultita al ser obra de generación, el NAMINO se estableció a una mayor altura ya que se fijó el NAMINO de la turbina propuesta, además que considera que el volumen útil es el necesario para llevar a cabo la regulación horaria, con lo cual cumple con ambas características resultando un poco mayor su nivel, lo cual nos da por resultado la cota 131.25.

### 2.4.2 Nivel de aguas Máximas de Operación (NAMO)

La forma en que se estableció el NAMO de la presa reguladora, fue la siguiente:

Como se precisó anteriormente la presa de Amata tiene la función de hacer una regulación diaria, es decir debe tener la capacidad, para poder hacer una regulación de los gastos necesarios para el distrito de riego con la finalidad de que la central hidroeléctrica de Comedero funcione con el gasto de diseño de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ , con el cuál funcionan con una mayor eficiencia las turbinas, ya que en este punto es donde se tiene una menor pérdida. Por otra parte se logrará llevar a cabo la función primaria, para la cuál es diseñada es decir mejorar la calidad de la generación de la central, ya que podrá funcionar más

eficientemente, aportando energía en las horas pico de la curva de demanda, por lo cuál conviene generar en estas horas a la máxima potencia, lo que en la actualidad no se puede lograr debido a que el gasto que requiere la C.N.A para los distritos de riego es constante durante las 24 horas, debido a lo anterior no se puede generar la mayoría de las veces el gasto de 130 m<sup>3</sup>/s, con base en lo anterior la forma de calcular la capacidad útil de nuestro vaso debe ser la considerada para lograr almacenar diariamente el remanente del gasto total que se turбина para que Amata pueda soltar el gasto solicitado por C.N.A. durante 24 horas, para lo anterior se necesita saber el promedio de los requerimientos mensuales de riego necesarios para el distrito de riego, los cuales presentó la C.N.A. así como sus respectivos gastos medios diarios.

	Volumen mensual Millones de m <sup>3</sup>	Gasto medio diario m <sup>3</sup> /s
Enero	120.10	44.84
Febrero	119.77	49.51
Marzo	133.23	49.74
Abril	124.12	47.89
Mayo	124.71	46.56
Junio	124.32	47.96
Julio	67.20	25.09
Agosto	49.57	18.51
Septiembre	65.21	25.16
Octubre	98.92	38.16
Noviembre	121.62	46.92
Diciembre	108.02	41.67

*Demandas propuestas por C.N.A*

Considerando lo anterior se hace el cálculo para obtener el volumen útil de nuestro vaso de regulación, de lo anterior se puede concluir que el gasto máximo medio diario corresponde al mes de marzo y el mínimo correspondiente a este mismo parámetro se presenta en el mes de septiembre. Cabe mencionar que a pesar de que estos datos se obtuvieron de un oficio realizado por la C.N.A. esto se debió a las dimensiones de la obra de toma, que requiere la misma C.N.A en la obra de toma de Amata, por lo que se consideró un gasto mayor a los que aquí se proporcionan, aunque hidrológicamente no es muy viable, se llevo el análisis de la dimensión del vaso hasta un gasto de 130 m<sup>3</sup>/s que supondría que la central trabajará las 24 horas y como mínimo se considero un gasto de 18 m<sup>3</sup>/s que representa un 30 por ciento menos del gasto medio mínimo de septiembre por variación diaria, por lo que el análisis se hará con un gasto que oscila entre 130 y 18 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

La metodología para sacar el volumen necesario para la regulación diaria se hará de la siguiente manera:

Primero se obtendrá el volumen que representa el gasto diario es decir se multiplica el gasto medio diario por el número de segundos que tiene un día, es decir  $60 \times 60 \times 24 = 86400$  seg., con lo cual se tomara el volumen diario, posteriormente se toma el tiempo en segundos que se toma al descargar por comedero el volumen necesario de riego, con un gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  que es el que producen las turbinas en su máxima operación, tomando como única limitante cumplir las cuatro horas de generación.

Por último se multiplicará el número de segundos que vierte la central de Comedero, para sacar todo el volumen necesario equivalente al gasto, con la diferencia del gasto turbinado en comedero menos el requerido por la C.N.A.

A continuación se ejemplifica la metodología para el valor de  $50 \text{ m}^3/\text{s}$

$$50 \text{ m}^3/\text{s} \times 86\,400 \text{ s} = 4\,320\,000 \text{ m}^3$$

$$4\,320\,000 \text{ m}^3 / 130 \text{ m}^3/\text{s} = 33\,230.77 \text{ s}$$

$$33\,230.77 \text{ s} \times (130-50) = 2\,658\,461 \text{ m}^3$$

Lo siguiente es establecer una tabla donde se repite las siguientes operaciones para las distintas necesidades de riego, que se puede presentar, con lo cual se establecerá el valor máximo y con base en ese dato se determina la capacidad útil necesaria para el proyecto y se procede a sumar este volumen, más el calculado por azolverse en 50 años que determinó el NAMINO y se lleva a la curva Elevaciones-Areas-Capacidades del proyecto de Amata como el de Tultita para fijar la elevación del NAMO, por consiguiente se presenta la tabla de las necesidades de riego con los requerimientos de volumen de la reguladora.

Gasto medio Diario (riego)	Vol. Diario $\text{m}^3$	Tiempo de turbinas en segundos	Tiempo de turbinas en horas	Gasto turbina	Volumen en Reguladora $\text{m}^3$
20	1728000	14400	4	120	1440000
22	1900800	14622	4.06	130	1579126
24	2073600	15951	4.43	130	1690782
26	2246400	17280	4.80	130	1797120
28	2419200	18609	5.17	130	1898142
30	2592000	19938	5.54	130	1993846
32	2764800	21268	5.91	130	2084234
34	2937600	22597	6.28	130	2169305
36	3110400	23926	6.65	130	2249058
38	3283200	25255	7.02	130	2323495
40	3456000	26585	7.38	130	2392615
42	3628800	27914	7.75	130	2456418
44	3801600	29243	8.12	130	2514905
46	3974400	30572	8.49	130	2568074
48	4147200	31902	8.86	130	2615926
50	4320000	33231	9.23	130	2658462
52	4492800	34560	9.60	130	2695680



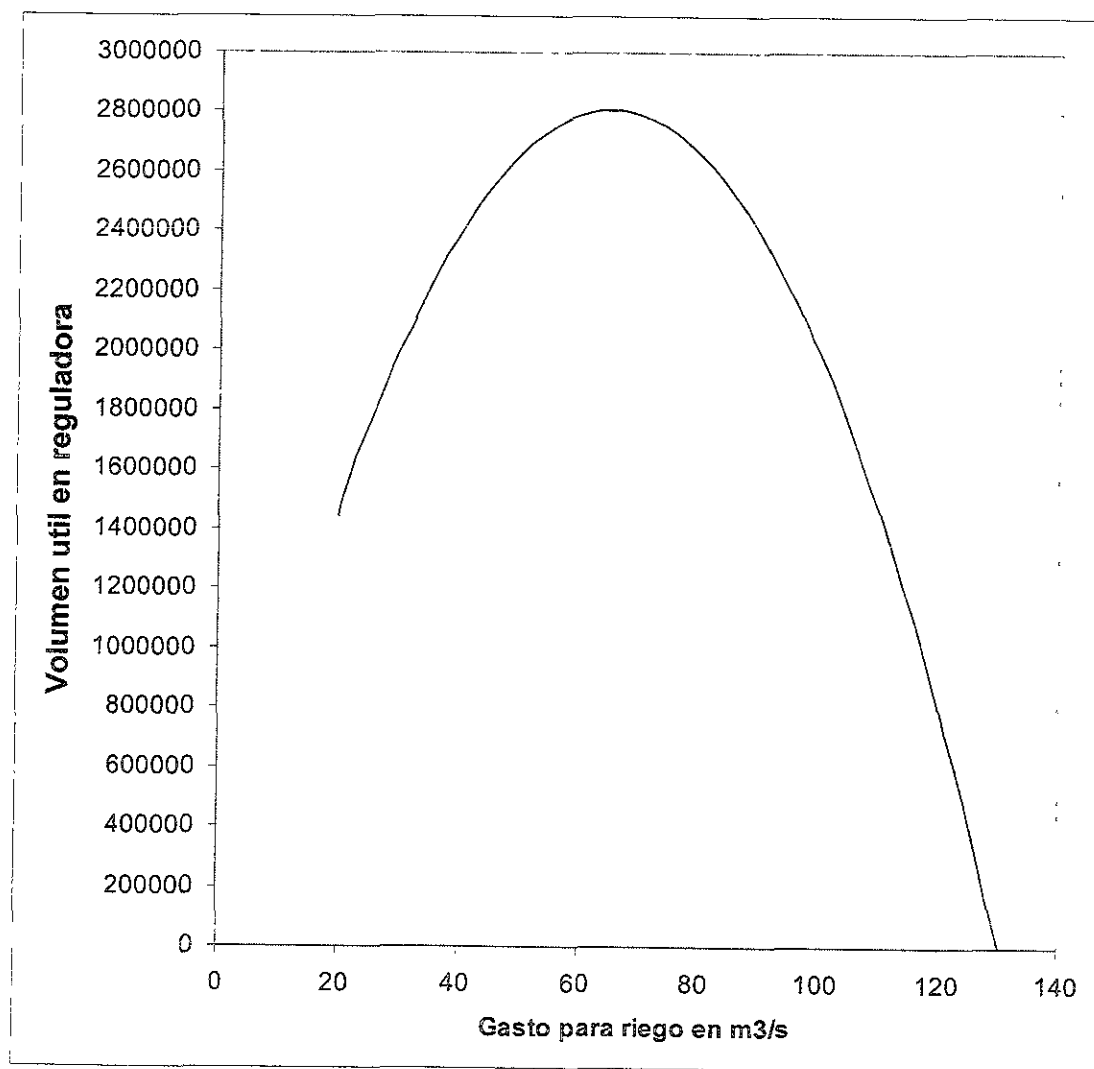
Gasto medio Diario (riego)	Vol. Diario m <sup>3</sup>	Tiempo de turbinas en segundos	Tiempo de turbinas en horas	Gasto turbina	Volumen en Reguladora m <sup>3</sup>
54	4665600	35889	9.97	130	2727582
56	4838400	37218	10.34	130	2754166
58	5011200	38548	10.71	130	2775434
60	5184000	39877	11.08	130	2791385
62	5356800	41206	11.45	130	2802018
64	5529600	42535	11.82	130	2807335
66	5702400	43865	12.18	130	2807335
68	5875200	45194	12.55	130	2802018
70	6048000	46523	12.92	130	2791385
72	6220800	47852	13.29	130	2775434
74	6393600	49182	13.66	130	2754166
76	6566400	50511	14.03	130	2727582
78	6739200	51840	14.40	130	2695680
80	6912000	53169	14.77	130	2658462
82	7084800	54498	15.14	130	2615926
84	7257600	55828	15.51	130	2568074
86	7430400	57157	15.88	130	2514905
88	7603200	58486	16.25	130	2456418
90	7776000	59815	16.62	130	2392615
92	7948800	61145	16.98	130	2323495
94	8121600	62474	17.35	130	2249058
96	8294400	63803	17.72	130	2169305
98	8467200	65132	18.09	130	2084234
100	8640000	66462	18.46	130	1993846
102	8812800	67791	18.83	130	1898142
104	8985600	69120	19.20	130	1797120
106	9158400	70449	19.57	130	1690782
108	9331200	71778	19.94	130	1579126
110	9504000	73108	20.31	130	1462154
112	9676800	74437	20.68	130	1339865
114	9849600	75766	21.05	130	1212258
116	10022400	77095	21.42	130	1079335
118	10195200	78425	21.78	130	941095
120	10368000	79754	22.15	130	797538
122	10540800	81083	22.52	130	648665
124	10713600	82412	22.89	130	494474
126	10886400	83742	23.26	130	334966
128	11059200	85071	23.63	130	170142
130	11232000	86400	24.00	130	0

*Tabla de análisis de Volumen útil requerido*

Con base en la tabla se llevó acabo una gráfica, la cual como se puede observar a continuación representa una parábola, esta se representa con la ecuación:

$y = -667.05x^2 + 86819x - 16250$ , la cual se deriva quedando de la siguiente forma  $dy/dx = -667.05(2)x + 86819$  y se iguala a cero para obtener el máximo el cual da por resultado que  $x = 65$  substituyendo este valor da por resultado 2 808 000 en el eje y lo cuál quiere decir que se necesita mínimo una capacidad útil de 2 808 000 metros cúbicos, pero considerando algún imprevisto se determina una capacidad útil de 3 500 000 de metros cúbicos, ya que según la curva Elevaciones Areas Capacidades no representa una gran diferencia de altura por lo cual se decidió tomar una capacidad útil un poco mayor.

Llevando este valor a la gráfica de áreas-capacidades obtenemos como NAMO la elevación 132.70 m.s.n.m., en el caso de Amata y para el caso de tultita una altura de 133.25 m.s.n.m.

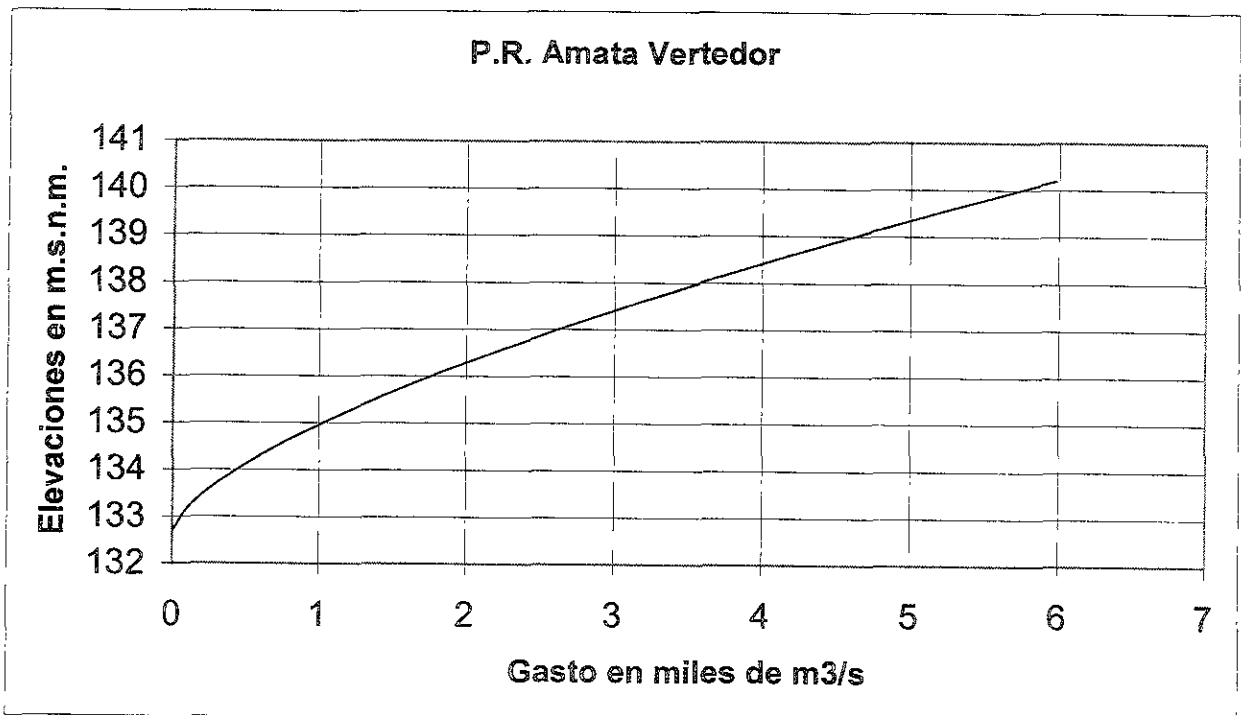


*Volumen necesario para cambio de régimen*

### 2.4.3 Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, (NAME).

Primero se realizó un tránsito por el cauce con la hidrografía de salida de Comedero, hasta el sitio del proyecto, no encontrando variación importante en los gastos de entrada y salida, por lo que se siguió tomando este mismo hidrograma. Posteriormente se transitaron estas descargas por el vertedor de Amata, el cual se presenta su gráfica de elevaciones descargas obteniendo una capacidad de regulación mínima.

A continuación se muestra la gráfica de la capacidad del vertedor propuesto en el sitio Amata, con lo cual se podrá observar, como se comporta el vertedor Creaguer de cresta libre, a continuación se muestra la curva elevaciones gastos del vertedor propuesto, para determinar el NAME posteriormente se transita la avenida asociada a una avenida con periodo de retorno de 10 000 años que una vez transitada por Comedero, resulta un gasto máximo de 5 118 m<sup>3</sup>/s a continuación se presenta el análisis para las dos alternativas.



*Curva elevaciones gasto del vertedor en el sitio Amata*

A continuación se presenta el tránsito de la avenida máxima por el vertedor de Amata

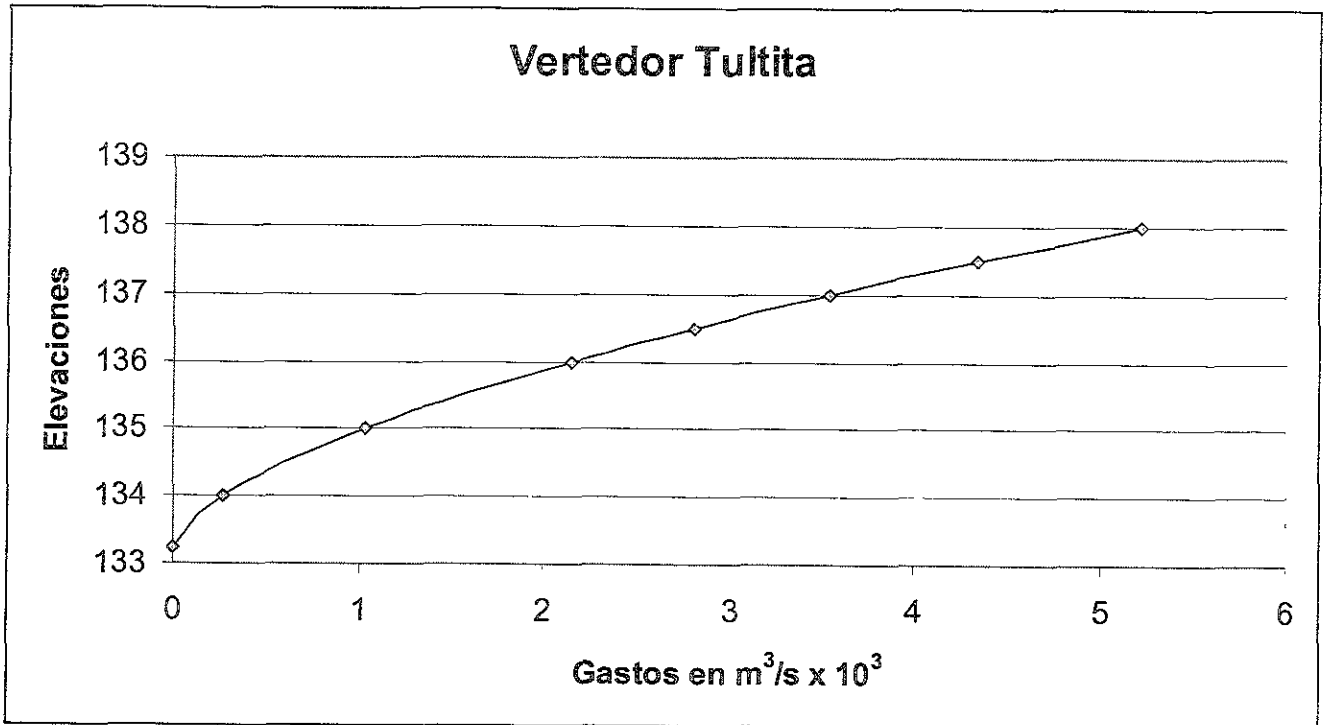
Hora	Hidrograma de entrada (m <sup>3</sup> /s)	Elevación del Vaso (m.s.n.m)	Volumen del Vaso m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>	Descarga Vertedor (m <sup>3</sup> /s)
0	0	132.7	8.04	0
3	15	132.73	8.08	7.25
6	35	132.81	8.18	24.38
9	65	132.92	8.33	49.09
12	150	133.17	8.65	105.42
15	520	133.86	9.54	400.24
18	860	134.57	10.46	810.18
21	1250	135.09	11.19	1163.85
24	1950	135.84	12.73	1752.2
27	2610	136.68	14.43	2491.45
30	3400	137.44	15.98	3233.2
33	4050	138.13	17.38	3956.62
36	4470	138.54	18.21	4409.45
39	4825	138.85	18.85	4767.19
42	5070	139.09	19.33	5039.5
45	5118	<b>139.15</b>	19.46	<b>5115.81</b>
48	5040	139.1	19.36	5054.81
51	4950	139.02	19.20	4964.89
54	4830	138.92	19.00	4851.94
57	4735	138.83	18.82	4747.23
60	4640	138.76	18.66	4657.08
63	4540	138.67	18.48	4556.15
66	4435	138.58	18.29	4453.5
69	4360	138.5	18.14	4369.83
72	4275	138.43	18.00	4291.66

*Tránsito avenida máxima por Vertedor Amata*

Como se puede ver que la cota máxima se presenta a las 45 horas de iniciada la tormenta con una elevación máxima de 139.15 m.s.n.m. lo cual nos define el NAME. de nuestro proyecto.

NAME Tultita

En cuanto al NAME de Tultita se procede a llevar acabo el mismo procedimiento



*Curva elevaciones gastos del vertedor de tultita*

Al igual que Amata se muestra el tránsito de la Avenida máxima vertida por Comedero, transitada ahora en el vaso de Amata:

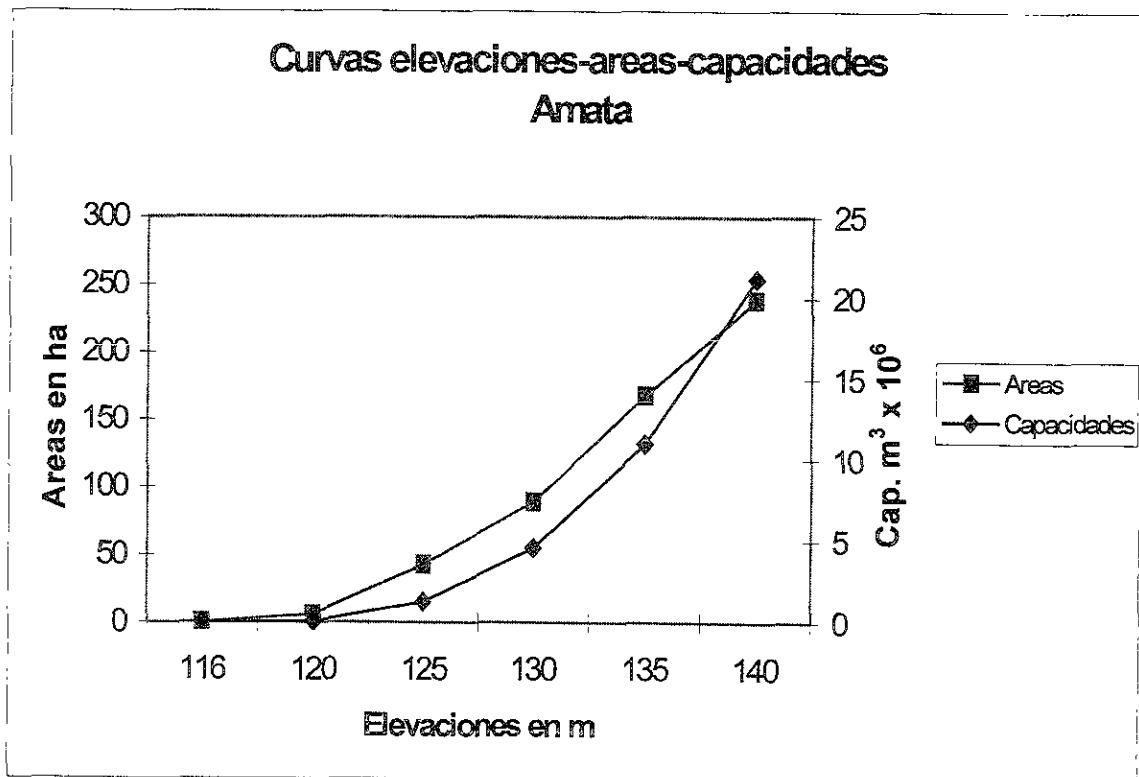
Hora	Hidrograma de entrada ( $m^3/s$ )	Elevación del Vaso (m.s.n.m)	Volumen del Vaso $m^3 \times 10^6$	Descarga Vertedor ( $m^3/s$ )
0	0	133.25	13.406	0
3	15	133.27	13.445	7.76
6	35	133.32	13.535	25.61
9	65	133.39	13.662	50.86
12	150	133.55	13.957	109.49
15	520	134.12	15.012	365.23
18	860	134.70	16.115	810.45
21	1250	135.10	16.897	1154.8
24	1950	135.70	18.128	1817.12
27	2610	136.28	19.350	2516.59
30	3400	136.81	20.554	3270.50
33	4050	137.27	21.630	3980.16
36	4470	137.54	22.281	4419.28
39	4825	137.75	22.806	4778.61
42	5070	137.90	23.194	5044.53
45	5118	138.00	23.445	5116.12

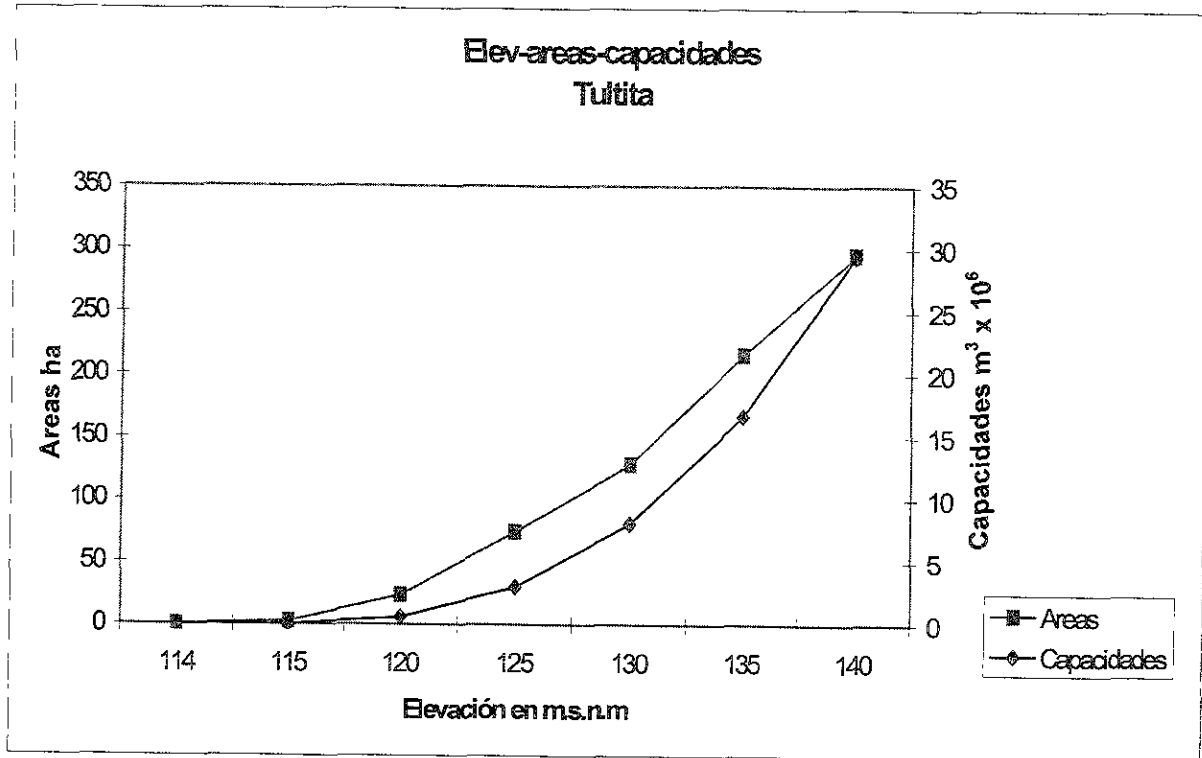
48	5040	137.90	23.204	5051.37
51	4950	137.85	23.074	4962.61
54	4830	137.79	22.907	4848.28
57	4735	137.73	22.756	4744.71
60	4640	137.68	22.625	4654.63
63	4540	137.62	22.476	4552.87
66	4435	137.56	22.326	4449.95
69	4360	137.51	22.206	4367.37
72	4275	137.46	22.090	4289.09

*Transito de avenida máxima por vaso de Tultita*

De aquí se establece el valor de la cota en el NAME para el vaso de Tultita el cual será de 138 m.s.n.m.

Características de los Vasos de Almacenamiento tanto del proyecto de Amata como del proyecto de Tultita se presentaran las curvas Elevaciones-Areas-Capacidades de las dos presas propuestas.





## 2.5 Geología

### 2.5.1 Estructuras

El patrón estructural dominante en los alrededores del P.R. Amata es de rumbo NW-SE/SW, burdamente paralelo a la actual línea de costa y está compuesto por fallas de salto estructural no determinado y fracturas; otro sistema importante es el rumbo NE-SW/SE; es notoria la presencia de numerosas estructuras circulares de variados diámetros entre 1 y 19 km diseminados en la región y que pueden asociarse a las intrusiones del batolito de Sinaloa o las estructuras domíticas pertenecientes a la serie del Súper grupo Volcánico Superior, se distribuyen de forma errática en la región y no parecen guardar relación con las dos tendencias estructurales mencionadas.

### 2.5.2 Estratigrafía

La columna estratigráfica a nivel regional incluye rocas comprendidas de edad entre el Cretáceo y el Reciente, en ellas existen rocas sedimentarias, ígneas extrusivas y metamórficas en menor medida. La base de la columna está representada por una sucesión de arenisca y conglomerado de color verdoso, bien litificados, duros y compactos que afloran mas o menos de forma amplia en ambas márgenes del río San Lorenzo aguas debajo de la localidad La Piedra Bola. Se le considera perteneciente al

Cretáceo Inferior. Son cubiertas en forma discordante, incluso por fallamientos de empuje por una sucesión de caliza arcillo-arenosa con intercalaciones de lutita; todos en horizontes delgados medianos (1-30 cm), la edad de éstas rocas se asigna al Cretácico Medio con base en rudistas y orbitolina son encontrados en los alrededores de Cosalá, Sin, a esta unidad se le ha asignado el nombre informal de caliza Amata, la unidad está ampliamente expuesta en el área, en las localidades de La vuelta de los Sabinos, Rancho Humágua, norte de Santa Cruz Alayá, etc.

Le sobreyace, o está en contacto lateral por metamorfismo de contacto con Skarn, corneana de piroxena y milonitas en zonas de falla, originados por la intrusión de algo del Batolito de Sinaloa, que afloran en forma moderadamente amplias a la altura del eje-boquilla Santa Cruz y en ambas márgenes del río.

El contacto Cretácico-Terciario está marcado como una discordancia de tipo angular y erosional, donde la base del eristema Cenozoico está representado por conglomerado rojo sin nombre formacional, toba o brecha arenosa e ignimbrita riolítica, expuestas en forma discreta en las localidades de la Vuelta de Tultita, arroyos del Huachapone, del Sapo, margen derecha al sur de Santa Cruz de Alayá.

Las cubren en forma discordante aglomerados basálticos y brechas vulcano sedimentarias que están expuestas en forma muy restringida casi a nivel del cauce a la altura de la ranchería Humágua.

El resto lo conforman acarreos aluviales mas o menos extensos, que ocupan algunos de los meandros más importantes del área estudiada, como las Vueltas de los Sabinos y Tultita, áreas de Santa Cruz de Alayá y Panteón San Francisco, en general están formados por gravas, arenas y cantos rodados.

La zona de la boquilla está conformada por dos unidades pétreas, cubiertas parcialmente por depósitos de materiales sueltos, siendo unos de los más evidentes los productos de abanicos aluviales, que cubren un gran porcentaje de la parte media baja de la margen izquierda, así como los de aluvión que dan lugar a un extenso playón en la margen derecha.

#### Unidad Caliza Amata

Esta unidad está constituida principalmente por calcarenitas con intercalaciones de lutitas calcáreas y carbonosas son compactas, resistentes, se presentan en capas menores a 15 cm, son de color gris oscuro a negro. En conjunto presentan plegamientos tipo chevrón y en ocasiones sólo ligeras ondulaciones locales, también se observan afectadas por fallamiento el cual presenta dimensiones y saltos de poca magnitud. Aflora con gran continuidad en la parte media-baja de la ladera de margen izquierda y en afloramientos restringidos en la porción baja de la margen derecha, se estableció que conforma en su totalidad la zona del cauce y sirve de base a los depósitos de aluvión del playón de la margen derecha. Fuera del área se le calcula un espesor aproximado a 200 m.

#### Unidad Conglomerado Rojo

Esta unidad está constituida por un conglomerado sedimentario de composición polimítica, compacto, muy resistente, estratificado aunque en ocasiones se observa masivo, en ejemplar de mano se le observa una textura rudacea y un color rojizo, los fragmentos de roca llegan a tener hasta 50 cm, pero predominan los del tamaño de la grava. Al microscopio presentan fragmentos de rocas: calizas, areniscas, tobas,



ignimbritas, andesitas y cuarcitas, así como cuarzo y plagioclasas como minerales esenciales; magnetita y pirita como accesorios en tanto que la calcita espática y micrita como cementante.

Esta unidad se distribuye ampliamente en la margen derecha, forma lomeríos de mediana altura con inclinaciones mayores a 35° y su espesor estimado es de 250 m.

El conglomerado rojo descansa discordante sobre la Caliza Amata, por lo que de acuerdo a esto y correlacionándolo con la formación Maune, se le asignó una edad Oligo-Miocénica.

#### Principales discontinuidades

Las principales discontinuidades detectadas en el macizo rocoso que conforma el sitio donde se pretende construir la presa reguladora Amata, Sin,. Son en orden de importancia las siguientes:

La estratificación, el fracturamiento y el fallamiento.

#### Estratificación

##### Caliza Amata

Con base en un total de 40 datos estructurales de dirección é intensidad de la estratificación se logró establecer que ésta tiene en general una variación en rumbo é intensidad de:

N14E/17NW a N51E/14NW

Los espesores de los estratos de la caliza son muy uniformes, se presenta en capas laminadas (0.2 a 1 cm) y en capas muy delgadas (1 a 20 cm), son de forma ligeramente ondulada y se presentan como planos discontinuos, la superficie en general va de poco rugosa a rugosa, es muy uniforme su actitud presentando una marcada concentración de sus polos definiéndose que su rumbo é inclinación preferencial es hacia:

N 71 E/ 21NW a N 75 E/ 14NW

#### Fallas

Se detectaron un total de 10 fallas en la margen derecha todas dentro de la unidad conglomerado rojo, 5 en la superficie y 5 dentro del socavón de ésta misma margen, se estableció que su continuidad varía de 4 a 7m, presentan rellenos generalmente de material brechoide (fragmentos de roca empacados en material arcillo arenoso). En la margen izquierda únicamente se detectaron 8 fallas dentro del socavón, con longitudes variables de 2 a 6m y rellenos de calcita y material brechoide, en términos generales éstas estructuras se encuentran presentes en la Caliza Amata.

A pesar de que en el análisis de las fallas es evidente una gran dispersión, pudiera ser que por lo menos una concentración forme una familia con una orientación sensiblemente al:

N 52 E/ 65NW

La cual guarda mucha similitud con una de las orientaciones preferenciales de las estructuras regionales presentes en el entorno del sitio.

#### Fracturamiento

Las unidades presentes en la zona de la boquilla son de origen sedimentario y están estratificadas, pero son de diferente ambiente de depósito y de significativa edad de formación, lo que se traduce en una competencia mecánica propia, por lo que tuvieron una respuesta diferente a los esfuerzos generados por la tectónica que los afectó, dando como resultado un grado y frecuencia de fracturamiento muy particular para cada una, por lo que a continuación se describe el mismo por unidad.

Fracturamiento del Conglomerado Rojo, este esta bien definido, predominan las fracturas con continuidad de 1 a 3 m y en menor proporción las de 3 a 10 m, la frecuencia varía de 1 a 3 planos por metro en una proporción del 70% en el 30% restante predominan los sistemas donde se pueden observar desde 4 hasta 8 planos por metro, la forma en términos generales es regular y esporádicamente es ligeramente irregular, la superficie de los planos va de poca rugosa a rugosa, generalmente son planos cerrados con contacto roca-roca, apreciándose algunos con aberturas de 0.1 a 1.5 cm o rellenos de calcita, epidota u óxidos de hierro.

Con el análisis de los datos de actitud se pudieron determinar cuatro sistemas preferenciales:

Sistemas	Rumbo	Inclinación
1	N 04°W	72° SW
2	EW	65° S
3	N 74° W	68° SW
4	N 02° W	70° EN

Fracturamiento de la Caliza Amata, es una estructura poco relevante aunque muy persistente, pocas llegan a alcanzar los 3 m de longitud en la mayoría de los casos son menores al metro, forman sistemas; se pudieron observar zonas que tienen desde 8 hasta 10 estructuras por metro, son de forma regular, discontinuas en general son cerradas pudiéndose presentar abiertas o rellenas de calcita con espesores que no rebasan los 2 cm. En el análisis de la actitud de las fracturas se pudo determinar dos sistemas que tienen una tendencia semi-ortogonal:

Sistemas	Rumbo	Inclinación
1	N 40° E	70° SE
2	N 59° W	75° SW

### 2.5.3 Aspectos ingenieriles

#### Margen Derecha

Esta margen presenta una cobertura de suelo y talud con una distribución errática y con un espesor menor a 50 cm, el cual no fue mapeado, ya que se consideró que no representará ningún problema para su retiro, los valores sísmicos que se obtuvieron en este material varían de 0.55 a 0.60 km./s y con valores de resistividad desde 110 a 1000 ohm-m predominando en general los valores de resistividad alta; por los valores de sismicidad y los datos proporcionados por el barrenos B, se puede determinar que la excavación para el empotramiento de la cortina no rebasaría los 5 m. de profundidad para alcanzar una roca de aceptable calidad esto en caso de que no quiera ser tratada toda la zona de descompresión, la que a priori se considera que pudiera mejorarse basándose en tratamientos. Por abajo del conglomerado se tiene a la unidad Caliza Amata, la cual presenta valores de sismicidad de 4.00 a 4.20 km/s y resistividades de 300 a 1000 ohm-m, esta última también es considerada una roca sana y aunque el RQD sea bajo se le considera de buena calidad.

#### Margen Izquierda

Toda la margen tiene una cubierta generalizada de material producto de abanicos aluviales, sobre todo en su parte media alta, con base a la información geofísica se determinó que el espesor de este material varía de 1 a 7 m donde se tienen velocidades sísmicas de 0.36 a 0.54 km/s y resistividades desde 20 hasta 380 ohm-m; este material esta constituido por fragmentos redondeados y subredondeados empacados en una matriz areno arcillosa con poca cohesión y fácilmente disgregables en presencia de agua, por lo que para la construcción de la obra de retención tendrá que ser removido en su totalidad.

La zona de descompresión varía de 6 a 8m, presenta valores sísmicos desde 1.10 hasta 2.30 km/s y resistividades desde 36 a 1000 ohm-m, esta zona se presenta muy alterada por meteorización, con fracturamiento generalmente abierto; el barreno A practicado en esta margen reporta de 8.00 a 14.00m una zona poco permeable y de 14.00 a 20.00m una zona permeable, esta condición puede deberse a la cercanía del cantil aunque deberá considerarse la conveniencia de impermeabilizar la ladera por debajo de la cota 115, y en caso de no retirar toda esta zona deberá de efectuarse tratamientos para mejorar su calidad.

La roca sana se encuentra por debajo de la zona descomprimida y tiene valores sísmicos desde 3.20 a 4.30 km/s y resistividades de 40 a 1700 ohm-m, por sus características se le considera favorable para el empotramiento de la obra.

#### Cauce y Playón Margen Derecha

Estas zonas tienen una cubierta irregular de depósitos de acarreo (aluvión) cuyo espesor varía de 2.0 a 7.5m, presentan valores sísmicos que varían de 0.38 a 2.4 km/s y resistividades de 60 a 2600 ohm-m

Por abajo del aluvión se tiene caliza de buena con valores sísmicos desde 3.50 a 5.00 km/s y resistividades de 50 a 850 ohm-m, con base en la información del sondeo C y de las velocidades sísmicas se puede predecir que la roca requerirá de mínimos tratamientos para que sirva de asiento a la estructura que se pretende realizar.

#### 2.5.4 Conclusiones

La boquilla donde se localiza el eje de proyecto Amata y Tultita está conformado básicamente por dos unidades rocosas ambas de origen sedimentario; la más antigua es la unidad Caliza Amata perteneciente al periodo Cretáceo Medio mientras que la unidad Conglomerado Rojo pertenece al Oligoceno-Mioceno, indistintamente están cubiertas parcialmente por materiales sueltos como pueden ser depósitos aluviales, talud y/o suelo. Las discontinuidades más importantes detectadas en el macizo rocoso en orden de importancia son: la estratificación, el fracturamiento así como pequeñas fallas de carácter local; la primera es producto de su génesis mientras que las otras son producto de la respuesta de cada roca a los esfuerzos deformantes que afectaron a la región las estructuras de cada unidad tiene características propias las que se describen dentro del texto.

Con base en la información de los sondeos de diamante con recuperación de núcleo practicados en el sitio de estudio, se pudo establecer que el conglomerado tiene una calidad de roca mala (32.63 a 49.77% de R.Q.D.). Aunque debe tomarse con reservas estos resultados por el carácter estratificado de ambas unidades.

Los resultados de permeabilidad indican que en términos generales ambas unidades tienen un comportamiento que va de impermeable a poco permeable de 0.00 a 14.00 m en

promedio, por debajo de esta profundidad se tiene un comportamiento homogéneo siendo este impermeable; con excepción del barreno A donde la zona de poco permeable a permeable se profundiza hasta los 20.00 esta condición puede ser provocada por la cercanía del cantil distante 25.00 m del barreno o por influencia del socavón localizado a escasos 5.00 m y a 13 m de profundidad con relación al brocal del barreno.

La obra podrá empotrarse en la ladera de margen izquierda sobre roca caliza, previo retiro del material de cobertura, se considera que aunque la roca tiene un espesor de descomposición máximo de 8 m esta no tendrá que ser retirada en su totalidad, pudiendo mejorar su calidad a través de tratamientos, aunque se recomienda retirar el material más alterado.

### 2.5.5 Bancos de Materiales

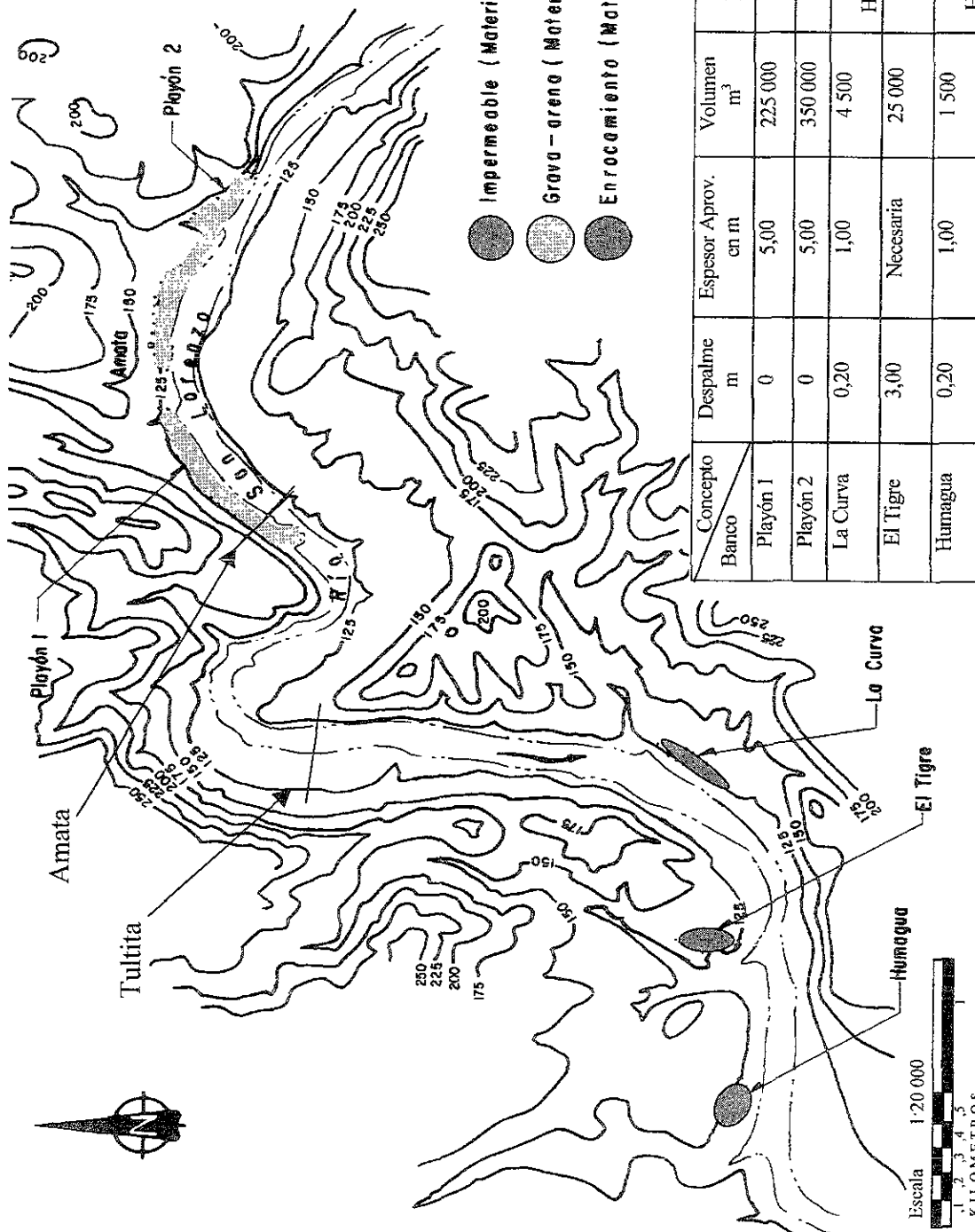
En términos generales existen buenas posibilidades para explotar algunos bancos de materiales dentro del área de proyecto.

Para el material impermeable, del cual se requiere un volumen de 5 000 m<sup>3</sup> del tipo 1 y 1', se localizaron los bancos La curva y Humagua a 1.5 y 2 km aguas abajo del eje respectivamente. Dichos bancos están constituidos principalmente por una brecha de matriz arcillo-arenosa, con espesores de 1.5 a 2m, estimándose una posible explotación 6 000 m<sup>3</sup>.

Las gravas y arenas de material 2, para agregados de la cortina y filtros de las ataguías se encuentran en cantidad suficiente en el lecho del río, pudiéndose tomar las de la excavación para desplantar la cortina (22 000 m<sup>3</sup>) y el resto 18 000 m<sup>3</sup> de aguas arriba del eje de la misma, a no más de un kilómetro de distancia. Será necesario cribar estos materiales para la obtención de los diferentes tamaños requeridos.

De los 10 000 m<sup>3</sup> de material para respaldo requerido (material 4R) se contará con 34 000 m<sup>3</sup> del producto de excavación del canal desarenador, rezaga que se seleccionará debidamente.

Para el enrocamiento a volteo requerido, 6 000 m<sup>3</sup> de material 5R, se localizo el banco llamado El tigre a 3 km aguas abajo del eje de la cortina, constituido por una ignimbrita de buena calidad y económicamente explotable. Tiene un potencial de 25 000 m<sup>3</sup>.



Concepto Banco	Despalme m	Espesor Apro. en m	Volumen m <sup>3</sup>	Tratamiento Recomendado	Tipo de Propiedad
Playón 1	0	5,00	225 000	Cribado	Federal
Playón 2	0	5,00	350 000	Cribado	Federal
La Curva	0,20	1,00	4 500	Despalme y Humedecimiento	Federal
El Tigre	3,00	Necesaria	25 000	Triturado y cribado	Comunal
Humagua	0,20	1,00	1 500	Despalme y Humedecimiento	Comunal

Localización de Banco de Materiales

## 2.6 Hidrogeneración

Con respecto a este aspecto que es el principal para llevar a cabo el proyecto a un nivel de mayor detalle en cuanto a los estudios, debido a que en esta parte es donde se define si nuestro proyecto generará los beneficios asociados, para poder seguir con los análisis posteriores, razón por lo cual es indispensable desarrollar este estudio y hacerlo de la manera más confiable posible, ya que de esto depende en gran medida la factibilidad o no del proyecto, en este caso el estudio se aboca a entender los beneficios de todo el proyecto, por lo cual se puede decir que es la propia raíz del proyecto, que en este caso se estudia.

El punto de mayor importancia que se debe tomar en cuenta, es la forma en que se presenta el agua en esta cuenca, ya que como la producción de energía se basa principalmente en los escurrimientos que se tengan en la cuenca, es de vital importancia desarrollar el estudio que nos permita simular como se comportarán los escurrimientos y la cantidad que se podrá generar con el equipo ya instalado en la presa Comedero.

Analizando la tabla se puede deducir que a pesar de que la media es de 1 641 millones de metros cúbicos no se puede considerar lo anterior, para poder establecer la política de riego, de la cual dependerá totalmente la política de generación.

Debido a lo anterior se consideró aceptable la política de extracciones de riego de la C.N.A. la cual no sufre variación a la establecida en el capítulo uno, con base en estas extracciones, los escurrimientos, la curva elevaciones áreas capacidades, así como la evaporación neta (la cual contempla tanto las evaporaciones así como las precipitaciones sobre el vaso) y la potencia de nuestras máquinas se procede a establecer los funcionamientos de vasos, los cuales nos dará los resultados de la cantidad de energía que se obtiene actualmente y la que se obtendrá en el futuro, cuando se lleve a cabo la reguladora aguas abajo de este proyecto.

Cabe mencionarse que el desarrollo de los funcionamientos de vasos se hicieron por medio del programa FUNVASO. creado por la C.F.E. el cual nos permite hacer funcionamientos de vasos ya sea para el análisis de proyectos solos o en cascada, por medio del análisis de todas las variables propuestas.

Dentro de estos archivos se obtuvieron los datos que se interpretaron de la siguiente forma:

Debido a que en la actualidad la central hidroeléctrica depende totalmente de las demandas de riego requeridas por la C.F.E., las cuales se vierten en un lapso de 24 horas es decir se demanda un gasto continuo, para lo cual se llevará a cabo el proyecto que cambiará la forma de descargar en Comedero, es decir que la idea es poder sacar el gasto en cuatro horas del volumen diario requerido o en caso de que se exceda, obviamente se mantendrá la operación de las turbinas trabajando a toda potencia, el tiempo necesario para cumplir con el gasto requerido para el distrito de riego.

Cumpliendo con estos parámetros se utilizaron los resultados del funcionamiento del vaso, para lo cual se hicieron los dos análisis de estos resultados.

El primero simulando que no existe el proyecto de aguas abajo en donde el volumen que es factiblemente turbinable para un mes se transita y dependiendo de la demanda de riego se convierte en gasto, con lo cual se compara este resultado con el mínimo gasto turbinable para que opere una de las unidades, el cual es  $28 \text{ m}^3/\text{s}$ , en dado caso que no se

cumpla con esta condición la central hidroeléctrica no podrá operar, ya que no cuenta con el gasto mínimo para que funcione la unidad, con base en esto se sacara el gasto por medio de la válvula de mariposa la cual dará el gasto necesario al distrito de riego aguas abajo, con lo cual no se podrá generar como ha llegado a suceder en el transcurso de los últimos años, por lo cual se tendrán ceros en cuanto a la generación, por último se hace la división entre la energía firme es decir la que cumple con las demandas de riego y la extra, la cual se obtiene al poner a funcionar a las máquinas cuando se esta por arriba del NAMO. y se operan las máquinas para aprovechar en lo posible y de esa manera no desperdiciarle al sacarla por el vertedor de excedencias, aunque en realidad el departamento de programación toma en cuenta la energía firme la cual se puede garantizar (como se explicara en su momento en los capítulos 4 y 5) el 95 % de las ocasiones, se realizó el análisis con base en los criterios del FUNVASO al 95 % de eficiencias, aunque en realidad se tomo a partir del 5% de los valores más bajos, el mayor valor de gasto y con base en este gasto se consideró la energía tomada en cuenta como firme a lo largo del periodo de cincuenta años, los gasto son presentados mensualmente en los cincuenta años y se desecharon los valores por debajo del 5% menor con lo cual se estableció el criterio para tomar en cuenta la energía garantizada de manera anual, el resto de la energía que se presenta se considera secundaria al no poder ser garantizada de manera anual.

Por lo pronto se juntaron los dos tipos de energías, ya que como se explicará, al considerar un gasto constante, se produce una energía secundaria en todo el periodo debido a que se presentaron en todo el periodo deficiencias.

En cuanto al análisis obtenido en el funcionamiento considerando la presa reguladora, se tomo el principio que se vio al establecer el NAMO. con lo cual se obtuvo una generación más constante lo cual es conveniente para nosotros, ya que se consideró que solo se operaría en un rango de cuatro horas todo el volumen necesario para el distrito de riego, obviamente en el caso de ser mayor el requerimiento de agua por el distrito de riego se operaría un mayor tiempo a máxima potencia hasta completar con el volumen requerido, con lo cual esta agua se podrá almacenar en la reguladora aguas abajo, la cual dosificara el gasto necesario aguas abajo en el distrito de riego.

Para darnos una idea del cambio que se logra, pongamos de ejemplo que se requiere un gasto continuo de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$  en el distrito de riego, con lo cual no se podría generar y se sacaría el gato por la toma de riego, sin aprovechar el gasto para la generación en Comedero, lo cual trae consigo un funcionamiento de la central hidroeléctrica intermitente transformando la energía en secundaria es decir no se puede garantizar, con el vaso regulador el volumen diario equivalente a este gasto sería de  $1\ 555\ 200 \text{ m}^3$ , si se saca este volumen en cuatro horas se tendría un gasto de  $108 \text{ m}^3/\text{s}$ , gasto necesario para que funcionen las dos unidades en Comedero.

Con base en este criterio se llevo acabo la simulación del vaso, tomando de igual manera en cuenta el gasto máximo dentro del 5% menor de los gastos registrados, para tomar esto como energía firme, el resto de la energía reportada en el funcionamiento del vaso que nos arrojo el programa de simulación se consideró secundaria.

Por otra parte se analizó si era posible que toda esta energía firme se otorgará en el lapso de las horas picos lo cual es viable.

Los resultados concentrados se presentan enseguida, lo cual despliega los cincuenta años de la simulación del funcionamiento del vaso, con los criterios mencionados anteriormente.

### **Generación de Comedero Sin Reguladora**

Promedio mensual de generación (secundaria)	22.40 GWh
Generación Anual (secundaria)	268.78 GWh

### **Generación de Comedero Con Reguladora aguas abajo**

Promedio mensual de generación (firme en hora pico)	7.19 GWh
Promedio mensual de generación (secundaria)	17.90 GWh
Generación Anual (firme en hora pico)	86.28 GWh
Generación Anual (Secundaria)	214.84 GWh
Generación Anual Total	301.12 GWh

## **2.7 Conclusiones**

El proyecto puede llegar a ser viable, ya que produce una generación de 32.23 GWh al año por el hecho de construir una obra reguladora aguas abajo.

Además que existen las condiciones básicas para desarrollar el proyecto, por lo que se propondrán las obras necesarias para poder llevar acabo el cambio de régimen necesario para modificar la generación en la Central Hidroeléctrica Comedero.

Logrando obtener por medio de los estudios presentados en este capítulo la viabilidad técnica, así como los parámetros importantes para llevar acabo el proyecto de la presa reguladora aguas abajo de Comedero.

Por otra parte se pudo observar que es factible desarrollar cualquiera de los dos proyectos ya que cuentan con bancos de materiales idóneos para poder llevar acabo el desarrollo de la obra reguladora aguas abajo, así como también se puede observar que las características geológicas de los sitios son aptas, aunque cabe mencionar que para un estudio de ingeniería de detalle, se hace necesario un análisis previo de la geología más exhaustivo, para asegurar que el sitio es realmente idóneo para poder llevar acabo las obras propuestas para el proyecto.

Se obtuvieron las características importantes que debe tomar en cuenta el vaso para poder llevar acabo el cambio de régimen y obtener los beneficios directos que producirá la creación de la reguladora aguas abajo.



### 3. DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS

#### 3.1 *Obra de desvío*

##### 3.1.1 *Introducciones de la obra de desvío*

La obra de desvío dentro de una presa de cualquier tipo, tiene la función, de modificar el cauce natural de las aguas del río, con la finalidad de poder realizar las obras que conformarán el proyecto de construcción de la presa, sobre el cauce original del río.

La obra esta compuesta por ataguías aguas abajo y aguas arriba y conducto de desvío.

Las primeras tienen la función de desviar el paso del agua por el cauce del río, en el tramo donde se piensa llevar a cabo la construcción de la presa, con la finalidad de que el gasto por el río no interfiera en la construcción y de esta forma poder realizar los trabajos en seco, y poder colocar tanto los equipos necesarios, como el personal que construirá la presa.

El tercer componente básico de la obra de desvío consta del propio canal o túnel de desvío el cual se elegirá dependiendo de las condiciones topográficas de la zona de construcción, así como de los procesos constructivos que se vayan a emplear dentro de la realización de esta obra, por lo que se estudia la posibilidad de llevar a cabo el túnel de desvío o el canal de desvío, en nuestros dos casos se utilizará el canal de desvío.

Cabe mencionar que los diseños para ambas obras de desvío serán con base en la premisa que como máximo se presentara un gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  con lo cual se diseñó esta obra, el cual equivale al gasto máximo que descargas las dos turbinas de Comedero empleadas a su máxima potencia, cabe mencionar que en la actualidad dentro del distrito de riego nunca se ha demandado un gasto mayor de  $120 \text{ m}^3/\text{s}$ , razón por la cual es suficiente, considerando que en cierta forma esta nueva obra en si, ya se encuentra protegida por la propia presa de Comedero aguas arriba, por lo cual no se considero llevar a cabo el estudio de la avenida máxima para un periodo de retorno de 50 años como habitualmente se lleva a cabo, amén de lo anterior es importante que durante la construcción de la presa reguladora Comedero esté opere con niveles bajos con lo cual se pueda regular grandes avenidas en el vaso de Comedero y de esta forma se evitara en gran medida las descargas por el vertedor de Comedero, lo cual podría obstaculizar el desarrollo de nuestra obra.

##### 3.1.2 *Recomendaciones para la construcción de las ataguías:*

###### Ataguía Aguas Abajo

Se construyen con enrocamiento producto de las excavaciones del canal de desvío, colocando el material de mayores dimensiones hacia la zona de ataguías o cortina, reduciendo la granulometría hacia los paramentos en contacto con el agua para reducir las filtraciones. Una vez teniendo completa la sección se procede a la colocación de una capa de limo a fondo perdido sobre el paramento mojado de cada preataguía.

###### Excavación para colocar el material a fondo perdido

Se ejecuta con draga de arrastre hasta alcanzar el lecho rocoso que es definido a entera satisfacción del personal de control de la Obra.

Debe tenerse especial cuidado para que no queden bolsas de aluvión en el fondo que faciliten la filtración de agua en el fondo que puede causar arrastre de finos y hacer fallar la estructura.

Al explotar el banco es necesario separar, manualmente algunos sobre tamaños que se presentan, la compactación debe ejecutarse con rodillos de almohadilla o similar.

Filtro Aluvión del Banco Playon 2 despedrado a 2"

Colocado en capas de 40 cm de espesor y compactado con cuatro pasadas mínimo de rodillo liso vibratorio de 7.5 ton de peso estático en el tambor evitando la segregación y separando los tamaños mayores del contacto núcleo filtros.

Respaldos de enrocamiento o aluvión

Material producto de las excavaciones del canal de desvío o aluvión del playón 2 colocado en capas de 60 centímetros de espesor en estado suelto y compactado con seis pasadas de rodillo liso vibratorio de 7.5 ton mínimo, de peso estático en el tambor.

Enrocamiento de protección

Material producto de las excavaciones del canal de desvío, separado al momento de la carga de material, conteniendo tamaños mayores de 60 cm de diámetro y colocado apoyando su área mayor horizontalmente formando sobre el talud una superficie lo más pareja que sea posible, colocando escantillones para mejores resultados.

### 3.1.3 Recomendaciones finales

Las capas de los materiales colocados deben ser susceptiblemente horizontales

No se permite segregación en ninguno de los materiales donde se especifica su granulometría.

El contacto entre materiales debe ser gradual, por lo que no se permite concentración de tamaño en las juntas.

La obra de desvío se ubicó en la margen derecha, debido a que el camino de acceso se encuentran en dicha margen, y esta constituido por un canal excavado a cielo abierto con una sección de control formada por 2 vanos de 4 m de ancho, con una pila intermedia de 2 m de espesor, dicha obra será utilizada posteriormente como toma para riego.

### 3.1.4 Amata

#### 3.1.4.1 Ataguías aguas arriba

El eje de la ataguía de aguas arriba se localiza a 48 m del eje de la cortina; tiene una altura de 8 m al terreno natural, 150 m de longitud y elevación 123.00 m, con ancho de corona de 8 m.

Está compuesta también por una preataguía de 3.50 m de altura a la elevación 118.50 m y 7.0 m de ancho en la corona.

Ataguías aguas abajo

La ataguía de aguas abajo se ubica a 65 m del eje de la cortina, con altura de 4.50 m, 125 m de longitud y elevación y ancho de corona 118.50 m y 16 m, respectivamente. La preataguía es de 2.5 m de altura, a la elevación 116.50 m, con 7 m de ancho en la corona; también es de materiales graduados.

Se presentan las características generales

Elevación (aguas arriba)-----	123.00	m.s.n.m.
Altura al T. N.-----	8.00	m
Longitud aproximada-----	150.00	m
Elevación (aguas abajo)-----	118.50	m.s.n.m.
Altura al T. N.-----	4.50	m
Longitud aproximada-----	125.00	m

#### 3.1.4.2 Canal de desvío

Está constituido por un canal de sección trapecial de 10 m de ancho, para conducir un gasto de 130 m<sup>3</sup>/s, taludes 0.25:1 y 485 m de longitud; en el tramo donde se aloja la cortina vertedora presenta muros verticales en una longitud 54.10 m. El muro izquierdo se alargó 28 m hacia aguas arriba con la finalidad de que sirva como empotramiento a la ataguía respectiva.

Tipo-----	Canal a cielo abierto	
Sección-----	Trapecial	
Ancho-----	10.00	m
Longitud-----	485.00	m
Taludes-----	0.25:1	
Gasto de diseño-----	130.00	m <sup>3</sup> /s
Tirante-----	2.997	m
Velocidad-----	5.422	m/s

#### 3.1.5 Tultita

##### 3.1.5.1 Ataguías

Las características de las ataguías son las siguientes:

Las ataguías tanto de aguas arriba como de aguas abajo se realizaran de materiales graduados.

La ataguía aguas arriba tendrá una pendiente en el paramento aguas abajo de 2:1 y en el paramento aguas arriba 1.5:1 al nivel del lecho del río tendrá un ancho en la base de 35.0 metros y el ancho de la corona será de 8.00 metros y alcanzara la cota 120, elevación suficiente para que el gasto del río sea dirigido hacia el canal de desvío y además el gasto de diseño no brinque la presa de materiales graduados, por último en cuanto a la parte longitudinal se tendrá una longitud de 126 metros transversales al río.

En cuanto a la ataguía de aguas abajo, esta cumple la función de que el agua no retorne hacia el lugar en donde se desarrollará la cortina. Esta ataguía se hará del mismo modo como se propuso el sitio de Amata con las mismas características y sus dimensiones serán las siguientes, el paramento aguas arriba tendrá una pendiente 1.5:1 y el paramento aguas debajo de 2:1, un ancho de 29 metros al nivel del cauce original, la cota de e la corona será la 120 y al igual que la ataguía de aguas arriba será de 8 metros, en cuanto a la parte

longitudinal será considerada de 112 metros perpendiculares al cauce del río al nivel de la corona.

### 3.1.5.2 Canal de Desvío

En cuanto al canal de desvío se considerará capaz de transitar el gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  el cual su geometría será trapezoidal tendrá un ancho de 8 metros en la base con un talud de 1:1 en ambas márgenes y una pendiente de .004 en la base y una longitud de 325 metros, y cruzará la cortina por medio de dos ductos de  $3.00 \times 3.5$  metros con soporte de 2.0 m. El cual con el gasto máximo trabajara como conducto semi ahogado, por lo cual se tendrá que incrementar a 6.00 metros el tirante del canal en esta zona, al finalizar se harán taponés de concreto en estos ductos con tratamiento para evitar filtraciones una vez que ya este lleno el vaso.

Cabe mencionar que el canal con estas características tiene un tirante de 3.00 metros asociado a un gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ , lo que regirá para el diseño es la parte donde se atraviesa la cortina la cual esta conformada por los ductos revestidos con concreto que para el caso del gasto máximo de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  se formará un remanso aguas arriba que alcanzara el tirante de 6.20m por lo que en esta parte se recomienda un tirante del canal de 6.50 metros.

Tipo	-----	Canal a cielo abierto
Sección	-----	Trapezoidal
Ancho	-----	8.00 m
Longitud	-----	325.00 m
Taludes	-----	1:1
Gasto de diseño	-----	130.00 $\text{m}^3/\text{s}$
Tirante	-----	3.012 m
Velocidad	-----	3.94 m/s

### 3.2 Obra de Contención

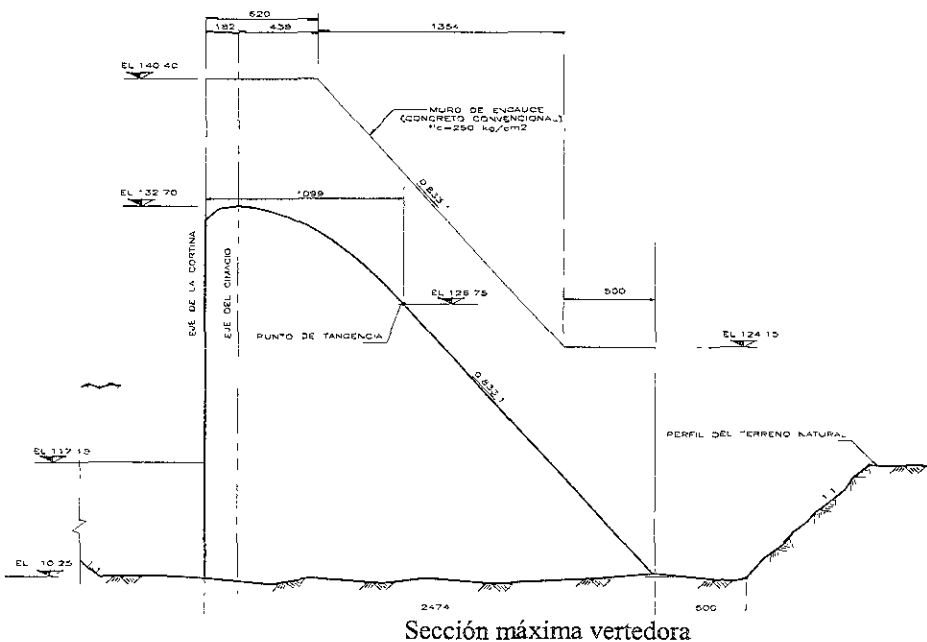
La obra de contención es la principal obra civil de la presa, llamada comúnmente como cortina es la encargada de contener las aguas del río con lo cual se provocara el embalse, para cumplir múltiples usos como lo es el control de avenidas, para evitar inundaciones aguas abajo del río, almacenar agua para abastecer del vital líquido a poblaciones o hacia distritos de riego u obtener una carga y almacenar un volumen determinado, para poder tener la suficiente energía potencial, que al transformarse en energía cinética moverá la turbinas que a su vez moverá el generador por medio de la flecha de la turbina lo que producirá energía eléctrica.

Cabe mencionar que dentro de estas obras es de vital importancia que se diseñen y construyan con una alta responsabilidad, ya que un error en los cálculos o la falta de calidad en el proceso constructivo podría traer graves consecuencias a los poblados aguas abajo de la cortina.

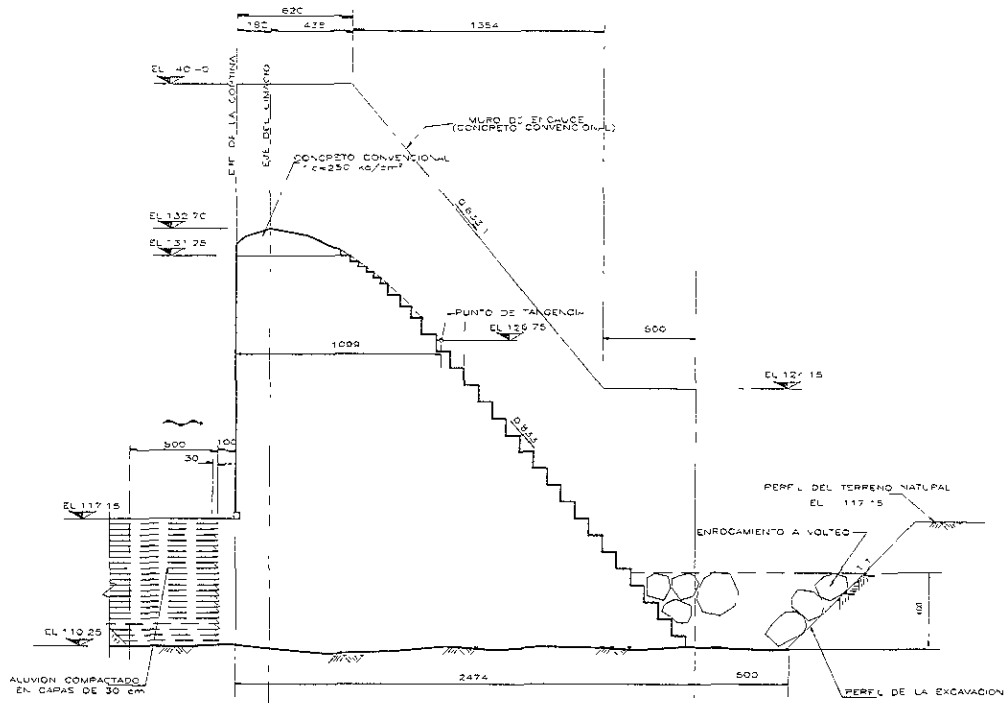
### 3.2.1 Definición de la geometría de la cortina

Con base en la revisión de la información hidrológica y topográfica, se ajustaron tanto las elevaciones en el vaso de almacenamiento como las dimensiones de la obra de excedencias de la siguiente manera:

Con la carga de diseño, se definieron la geometría para un cimacio tipo WES con el paramento de aguas arriba vertical, obteniéndose el punto de tangencia para un talud de 0.833:1 el cual fue definido a partir de la densidad del Concreto Compactados con Rodillos (CCR) esperada en campo ( $2\,330\text{ kg/m}^3$ ), tomando como base los resultados de las pruebas de mezclas realizadas por el Departamento de Materiales de la Gerencia de Ingeniería Experimental y de Control, Por otra parte, de la configuración del contacto aluvión roca sana en el cauce de acuerdo con las isopacas y el informe geológico final, se definió la elevación de desplante de la cortina, la cual será aproximadamente la cota 110.25 m.s.n.m. para el caso de Amata y 115.00 para el caso de tultita



Posteriormente, teniendo en consideración los métodos constructivos, ya que se trata de una presa de CCR y tomando en cuenta la teoría de los vertedores escalonados, se definió la sección adaptando la geometría anterior a la de un vertedor escalonado hasta el contacto con la roca, tal como se muestra en la Figura.



Sección máxima vertedora adaptada

### 3.2.1.1 Revisión de la Sección

Definidas la mezcla de CCR y los concretos convencionales que se pretenden utilizar, se procedió a efectuar las revisiones propuestas por el United States Bureau of Reclamation (USBR) para las combinaciones de carga usual, inusual y extrema, así como las condiciones de presa vacía con sismo actuando y llenado inicial, analizándose 15 elevaciones tanto para la sección vertedora como para la sección máxima.

El análisis se realizó por el método cortante-fricción, el cual es utilizado por el USBR y que contempla las revisiones por deslizamiento, agrietamiento, esfuerzos y volteo, bajo cada una de las combinaciones de carga que se pudieran presentar.

Dentro de las principales solicitaciones a la que estará sometida esta presa, se encuentran la presión hidrostática, el nivel de restitución aguas abajo correspondiente, la subpresión, la presión ejercida por los sedimentos y las presiones hidrodinámicas y fuerzas de inercia derivadas de la acción del sismo máximo probable. Cabe aclarar que debido a que no se cuenta con un análisis de riesgo sísmico, en este caso se está considerando un coeficiente sísmico horizontal  $C = 0.15$  el cual se obtuvo de la regionalización establecida en el Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo de la C.F.E. 1993.

Se hicieron los análisis para la estabilidad de las dos cortinas, sometidas a las condiciones de construcción, la combinación de carga usual, llenado inicial de la presa, combinación de carga usual, la cual considero el peso propio, nivel del embalse al NAMO, nivel de restitución aguas abajo, subpresión total y empuje de sedimentos, combinación de carga inusual, la cual considera el peso propio, nivel del embalse al NAME, nivel de restitución aguas abajo, subpresión total y empuje de sedimentos y por último la combinación de carga extrema la cual considera la condición de carga usual, más las fuerzas generadas por el sismo máximo probable.

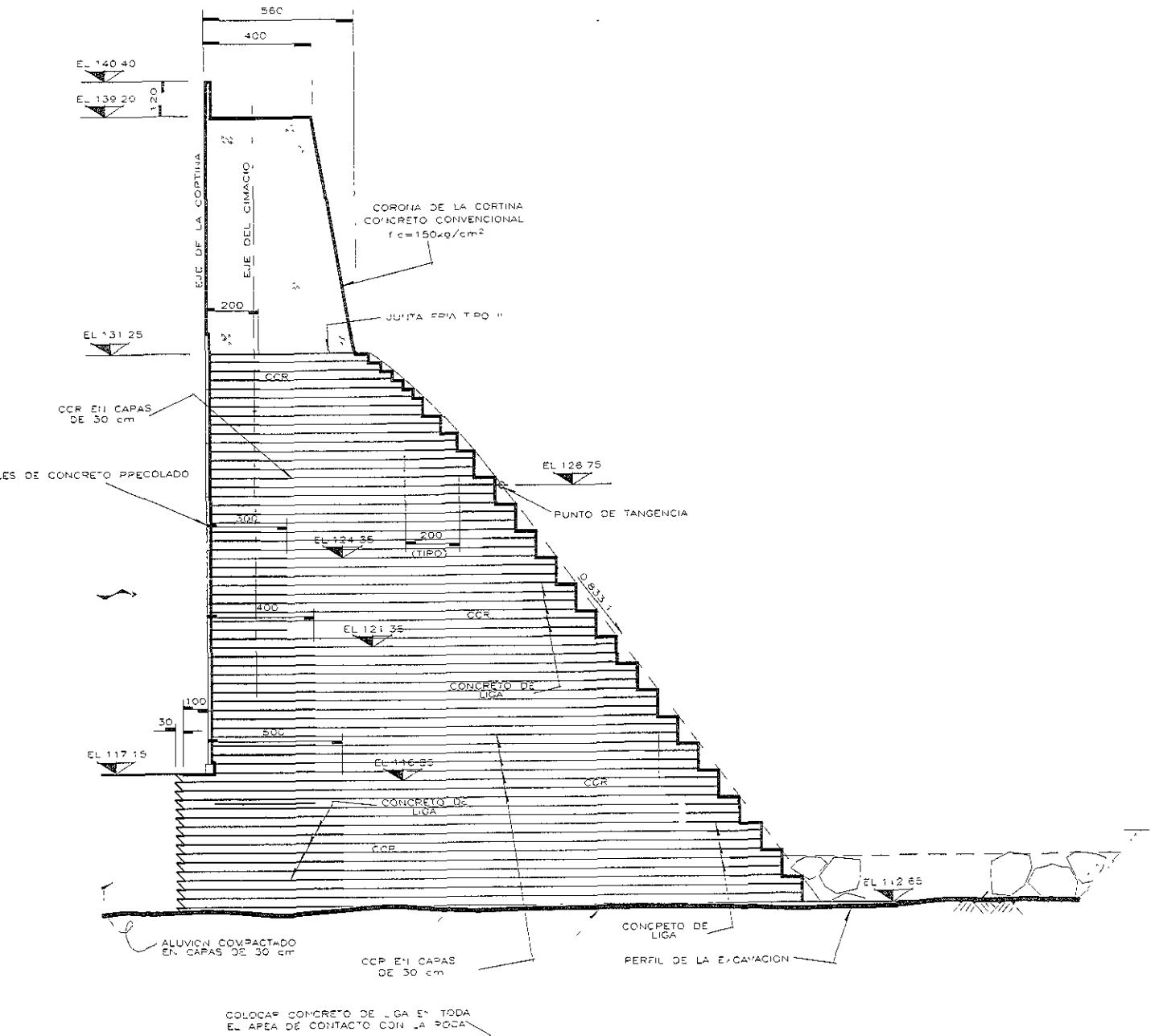
Como puede verse, la sección vertedora es prácticamente la que rige el diseño, lo cual es normal si consideramos que no se cuenta con el efecto de la coronación, ya que al tener menor peso la hace menos estable ante la acción de las combinaciones de carga a la que se encuentra sometida.

De acuerdo con lo anterior, se puede ver que no es posible prescindir de la cohesión entre capas para que la presa sea estable, para lo cual, se ve la necesidad de garantizarla, lo cual se lograría únicamente mediante la inclusión del concreto de liga. Teniendo esto en cuenta y con base en los análisis realizados, se hizo la distribución de dicho concreto en las zonas en que es requerido, lo cual se muestra en las Figuras 3 y 4.

Por otra parte, dado que se trata de una cortina vertedora y teniendo en cuenta la posibilidad de que descargue el gasto de diseño ( $5\ 116\ m^3/s$ ) con base en las experiencias de otros proyectos, se decidió el colocar para la conformación de los escalones, un concreto de mejor calidad, enriquecido con un mayor contenido de cemento para evitar su degradación debido a la erosión causada por el flujo del agua cuando vierta.

Como resultado de este análisis puede verse que la presa es estable bajo cualquiera de las condiciones de carga que se presenten, aún sin contar con la presencia de un sistema de drenaje que nos permita abatir la subpresión, sin embargo, habrá que revisar la cimentación de la presa ante la acción de dichas combinaciones y determinar si es necesario o no el implementar algún sistema de drenaje o tratamiento. Durante la construcción se deberá llevar un estricto control de calidad de todos los procesos (mezclado, transportación,

colocación, extendido, compactación, etc.) para garantizar la calidad del CCR y por ende la seguridad de la presa.



Sección máxima en ladera



### 3.2.1.2 *Tratamientos*

Definidas las secciones y la excavación de la presa, se diseñaron los tratamientos tanto de la cimentación de la presa como de los taludes de la excavación, para lo cual se siguieron los lineamientos marcados por la GIEC.

En lo que respecta al cauce, no se requirió ningún tratamiento como tapete de consolidación o anclaje, únicamente se colocará un drenaje cuyo patrón y dimensiones aparecen en el plano de Juntas y Drenaje con el objeto de aliviar la subpresión y así aumentar el factor de seguridad.

Por lo que respecta al macizo rocoso de la margen izquierda, el tratamiento consiste en un tapete de consolidación en las plataformas que conforman dicha ladera con un patrón de barrenación de 6 x 6 m, en tresbolillo y longitud de 6 m, el diámetro de los barrenos puede variar entre 2 ¼ y 3 ½ ' máx, También se dará tratamiento a aquellos taludes que sean mayores de 6 m, consistiendo en anclas de fricción de 1' de diámetro,  $f_y = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$  y longitud de 6 m, el patrón de anclaje será de 3 x 3 m. Adicionalmente se colocarán barrenos para drenaje en los taludes de aguas abajo de la presa, siendo éstos de 3' de diámetro y 6 m de longitud colocados en un patrón de 6 x 6 m. Finalmente, los taludes deberán ser protegidos por medio de concreto lanzado de 5 cm de espesor y reforzados con malla de acero electrosoldada de 10 x 10 cm x 0.32'.

Con base en estos criterios se establecieron las dos cortinas para los respectivos ejes que se estudiaron el Eje Amata, así como el eje Tultita con lo cual se ejemplificó los parámetros utilizados con ilustraciones de la cortina de Amata, ahora se pasará a describir en específico cada una de las obras las cuales tomaron en cuenta lo visto anteriormente en el inciso anterior.

### 3.2.2 *Amata*

En este caso la obra de Amata como se explicó anteriormente debe cumplir con la altura de 139.20 la cual nos representa el N.A.M.E. y la 140.40 donde se fijo la corona, la distribución de la cortina será de la siguiente manera, se ensamblarán los paneles de concreto precolado en el paramento mojado de ahí se esparserán las capas de concreto compactado con rodillos, obviamente cumpliendo con la pendiente hacia aguas abajo de 0.8333:1 estableciendo las huellas de los escalones en lo que será la parte vertedora de esta cortina, la cual tendrá como punto extremo un metro de concreto convencional el cual debido a que es mas resistente, podrá aguantar el paso del agua sin afectar la cortina ganando al mismo tiempo rigidez, este procedimiento continuará hasta la cota 131.25 en la cual se desplantará concreto convencional con un ancho de 5.60 metros hasta la elevación 139.20 en la cual alcanzará un ancho de 4 metros, conservando vertical el paramento mojado, a partir de esta cota se tendrá un muro de 1.20 metros que servirá para establecer la corona de la cortina.

A continuación se presentan las características más importante de la presa reguladora en el eje de Amata:

Tipo -----	Gravedad de CCR	
Elevación de la corona -----	140.40	m.s.n.m.
Longitud de corona -----	244.00	m
Altura máxima -----	26.00	m
Bordo libre -----	1.25	m

### 3.2.3 Tultita

En cuanto a la obra de contención se puede decir que ésta, al igual que en el eje Amata será de concreto compactado con rodillos lo cual se decidió que era lo más conveniente, ya que al no tener dentro de la boquilla estructuras geológicamente aptas, no es propicio tener cortinas tipo arco Bóveda, ya que las laderas no tienen la capacidad para recibir la transmisión de carga que se hará por parte de este tipo de cortinas hacia las laderas lo cual es una de las características necesarias para poder hacerla del tipo Arco bóveda, por otra parte se tiene la limitante en cuanto el volumen de los materiales, ya que no existe gran cantidad de materiales graduados propicios, por lo cual se opta por el concreto compactado con rodillos debido a que se tiene materiales viables para producir concreto, con lo cual conviene llevar a cabo una obra de este tipo, de las cuales ya existen obras en México, por lo cual se tiene experiencia, además que reduce considerablemente los tiempos de construcción debido al proceso constructivo, lo cual nos trae ventajas económicas al acortar la etapa de construcción del proyecto.

En cuanto a la definición propia de la cortina cabe mencionar que esta tendrá las características de la de Amata es decir se tendrá una cimentación, y de ahí se partirá hacia arriba con la característica anteriores en el paramento mojado, es decir el de aguas arriba será vertical y estará compuesto por medio de paneles de concreto precolado, además que las capas de concreto compactado con rodillos serán de 30 centímetros con lo cual se podrá tener las huellas, para establecer la parte escalonada también esta obra constará con un muro que divida la parte vertedora de la no vertedora, la cual tendrá la finalidad de encausar el gasto para que no salte el agua, a la parte no vertedora de nuestra cortina, se tiene planeado llevar a cabo el agregar concreto convencional en la parte superficial del paramento de aguas abajo con un metro de espesor, así como a partir de la cota 132.00 donde se empezará a colocar concreto convencional hasta la cota del NAME es decir hasta la 138.00 de donde se desplantará un muro de 1.50 metros de altura, el cual define la altura de la corona a la elevación 139.25 donde terminará esta obra, la cual es estable al igual que en Amata ya que se tomaron las mismas consideraciones.

Se tendrá concreto de liga al igual que en Amata por lo que en general se puede establecer que el método a seguir dentro del eje tultita será de la misma forma con las variaciones mencionadas en cuanto a las dimensiones las cuales serán las siguientes.

Tipo -----	Gravedad de CCR	
Elevación de la corona -----	139.25	m.s.n.m.
Longitud de corona -----	355.00	m
Altura máxima -----	22.75	m
Bordo libre -----	1.25	m

### 3.3 Obra para toma de Riego

La obra de toma de riego tendrá la función de dosificar el gasto necesario para llevar por medio del cauce del río el agua necesaria hacia la presa derivadora San Lorenzo la cual abastecerá del vital líquido al distrito de riego aguas abajo, en el caso de Amata así será, para el de Tultita, se hará con la finalidad de complementar el gasto vertido por la toma de generación cuando las necesidades de riego sean mayores a lo que puede abastecer el desfogue de la obra de toma de generación.

Para el diseño de la obra de toma, la C.N.A solicitó un gasto de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  para sus necesidades máximas de riego aguas abajo,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  para la interconexión con el río Tamazula y  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  para la derivadora San Lorenzo.

#### 3.3.1 Amata

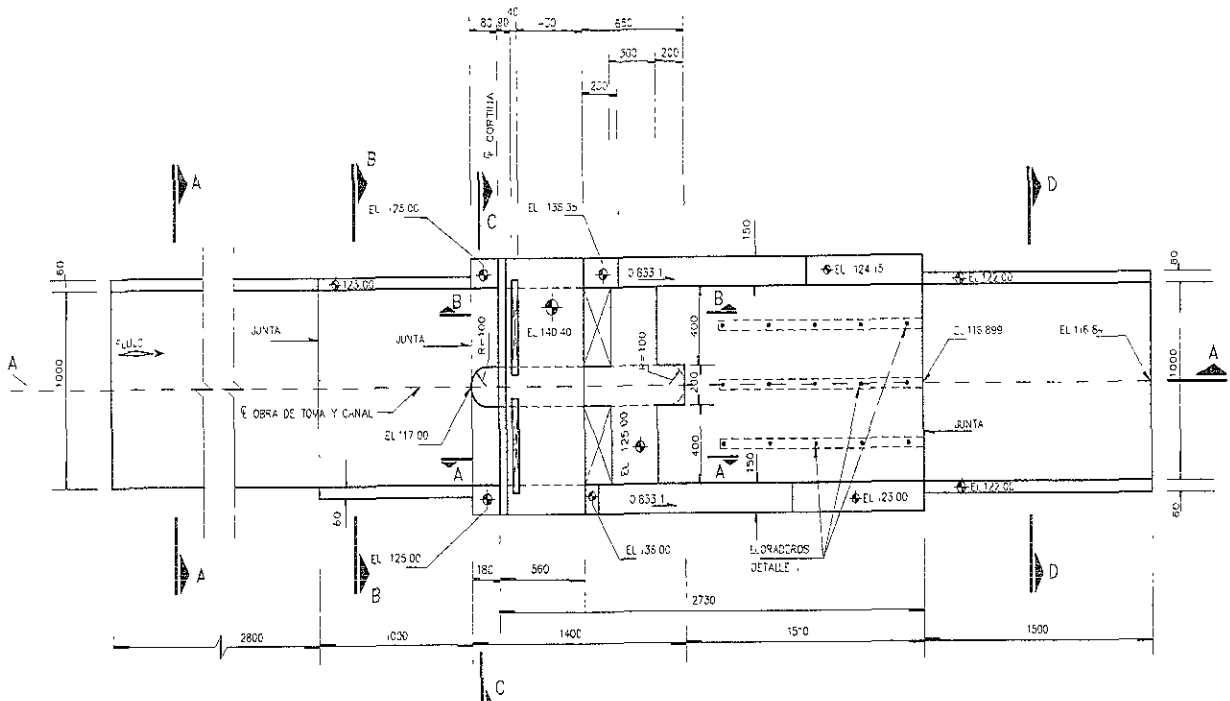
En el caso de Amata, esta estructura ha sido proyectada aprovechando el canal de desvío, por lo que el eje, el canal de acceso y el de descarga presentan la misma geometría anteriormente descrita.

El cambio radica únicamente en lo que será la zona de control, ya que ésta se localiza en planta, donde se interceptan los ejes de la cortina y el desvío, continuándose hacia aguas abajo  $27.30 \text{ m}$  y  $11.80 \text{ m}$  hacia aguas arriba, dando una longitud total de  $39.10 \text{ m}$ , y  $10.00 \text{ m}$  de ancho, muros verticales de  $1.50 \text{ m}$  de espesor y plantilla de  $2 \text{ m}$  en la zona de la pila. El gasto de diseño es de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  y está formada por una pila central de concreto reforzado de  $2 \text{ m}$  de ancho,  $14 \text{ m}$  de longitud y altura máxima de  $23 \text{ m}$  para llegar a la elevación  $140.40 \text{ m}$  de la corona; entre la pila y los muros laterales se dispone de una pantalla de espesor variable que parte de la elevación  $121.00 \text{ m}$  y llega a la corona, donde se tiene prevista una plataforma de maniobras de  $5.60 \text{ m}$  de ancho, para la operación de las compuertas. Hacia aguas abajo la pila baja recta hasta la elevación  $125.00 \text{ m}$ , donde se ha dispuesto otra plataforma de  $6.60 \text{ m}$  de ancho para acceso a la zona de las compuertas radiales, mismas que resultaron de  $4.0 \times 4.0 \text{ m}$  y radio  $7.61 \text{ m}$ . Para poder aislar en dado caso la zona de control, se han dispuesto ranuras para alojar obturadores que se encuentran alojados inmediatamente aguas arriba de la pantalla.

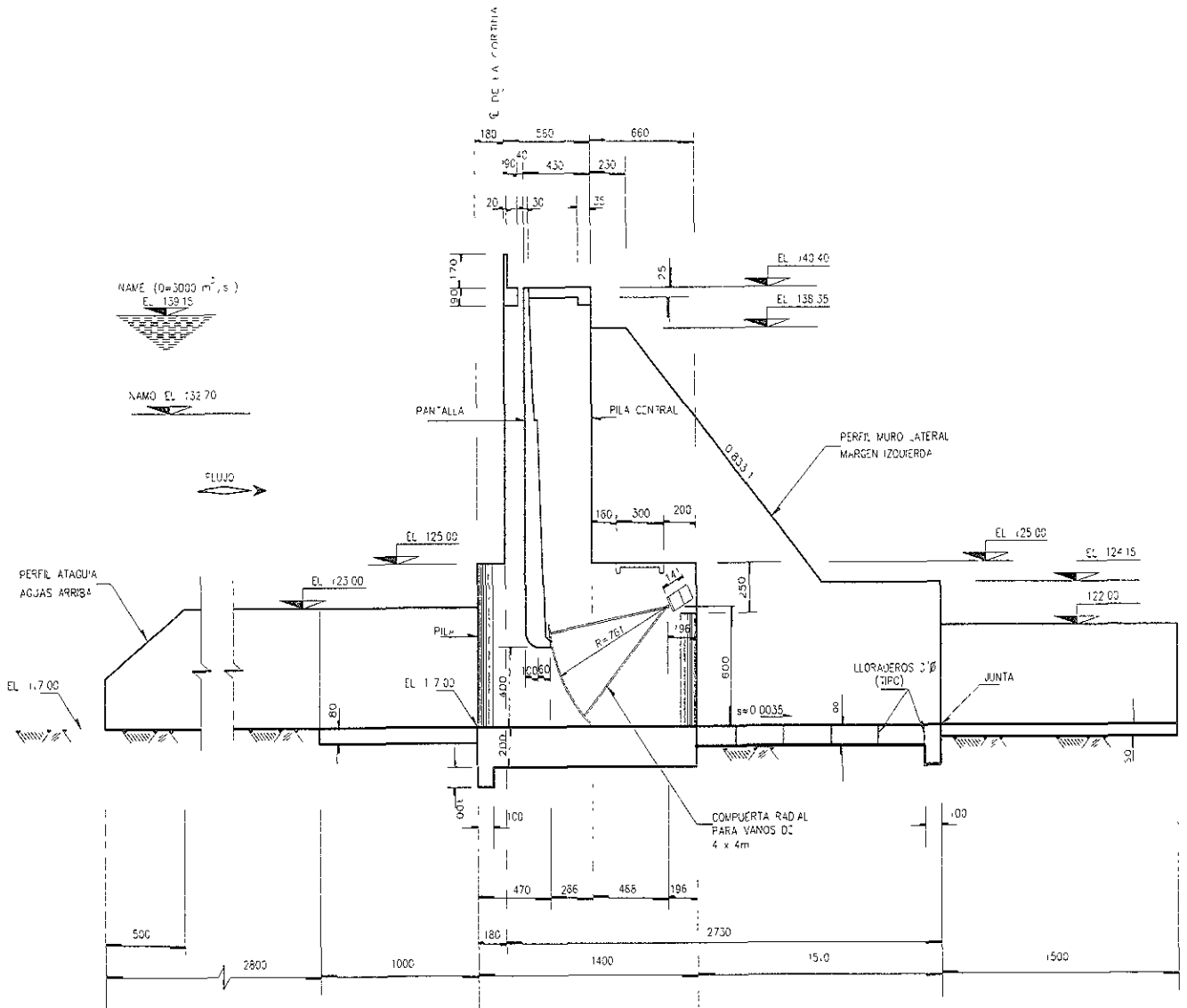
Para el diseño y ubicación de la toma para riego se consideró adecuado y económico aprovechar la obra de desvío, ya que como se puede ver en el plano, quedaría un canal con muros de encauce que tendrán para un gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  una velocidad de  $2.5 \text{ m/s}$ , suficiente para arrastrar materiales con un diámetro medio de partículas de  $25$  a  $40 \text{ mm}$  (grava media en estado suelto) con un tirante medio de la corriente de  $5 \text{ m}$  y aún para tirantes superiores a los  $10 \text{ m}$ , desde luego que este efecto podrá lograrse en el área de influencia del canal de encauce y deberá procurarse realizar dicha operación de limpieza periódicamente para evitar la consolidación del material sedimentado, ya que de otra manera la velocidad requerida para mover el material deberá ser mucho mayor.

Para verificar su funcionamiento se calculó la curva de gastos desde el NAMINO elevación  $129.90 \text{ m.s.n.m.}$  y hasta el NAMO elevación  $132.70 \text{ m.s.n.m.}$  suponiendo la compuerta totalmente abierta, se anexa la tabla que relaciona elevación del embalse con los gastos descargados por una compuerta totalmente abierta, de donde se puede observar que para la elevación del NAMINO se podrá descargar por una sola compuerta un gasto ligeramente

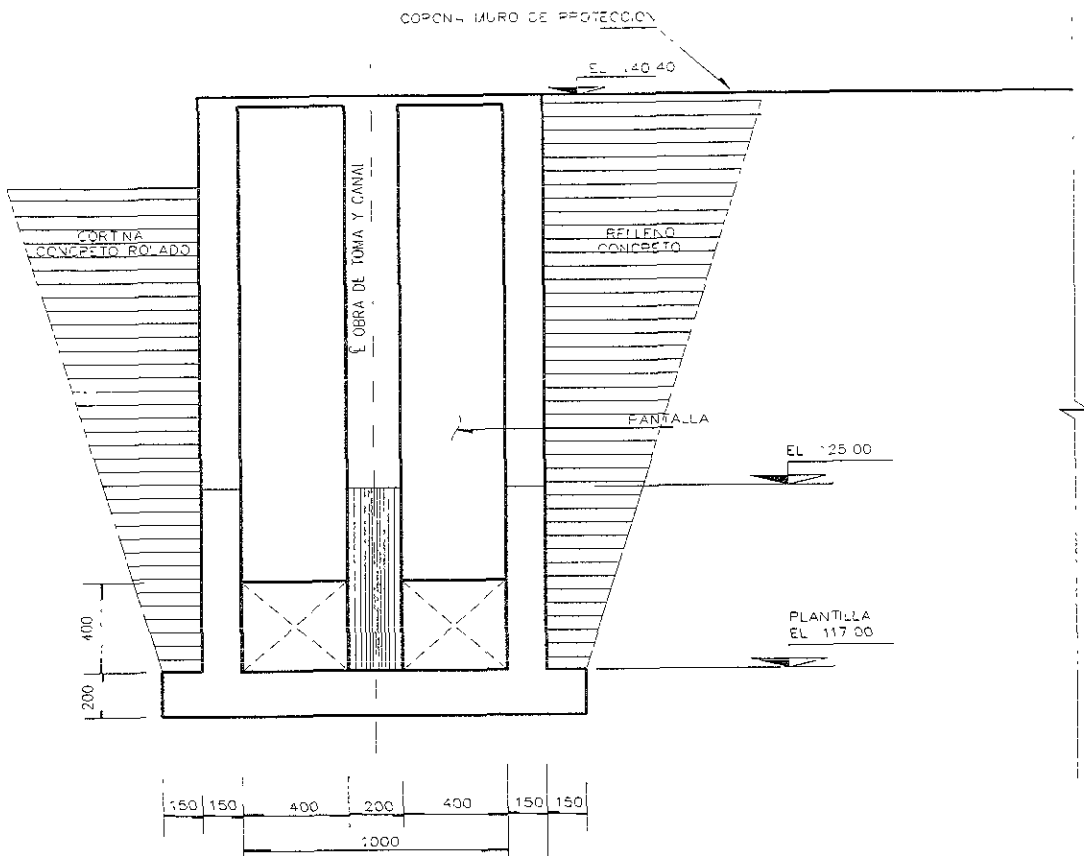
mayor que el solicitado por la C.N.A., esto garantiza la demanda aún cuando alguna de las compuertas esté fuera de servicio por mantenimiento o reparación.



Obra de toma; planta



Obra de toma; corte longitudinal



*Obra de toma; corte transversal*

Tipo -----	Canal a cielo abierto con control
Ancho del canal -----	10.00 m
Longitud del canal -----	46.00 m
Pila central -----	2.00 m (ancho)
Compuertas radiales -----	2 de 4 x 4 m
Gasto de diseño -----	160.00 m <sup>3</sup> /s

### 3.3.2 Tultita

En cuanto a la obra de toma esta es similar a la propuesta del eje Amata ya que al mismo tiempo servirá como desarenador, además aunque contará con el respaldo de la obra de generación que en conjunto podrán desalojar hasta un gasto de  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  con lo cual se cumple con los requerimientos máximos para que un futuro se amplíe el distrito de riego, ya que este eje contará con dos obras de toma una con fines de riego al igual que en el eje Amata y además contará con una obra de toma para generación, la cual tendrá dos turbinas tipo Bulbo las cuales serán las primeras de su tipo en México de llevarse a cabo el proyecto. Empezando por la obra de toma de riego esta tendrá las siguientes características, se localizará sobre el canal de llamada del desarenador por lo cual tendrá esta doble función se encontrará en la margen derecha del río entre la separación del vertedor por medio del muro y la obra de toma de generación esta contará con compuertas de aguja u obturadores que sellaran por completo el paso del agua, así como por dos compuertas de tipo radial las cuales regularán el gasto necesario hacia el distrito de riego, razón por lo cual se calibrará para determinar según la carga que se tenga la abertura necesaria para establecer el gasto requerido, cabe señalar que el umbral se decidió establecer en donde se determinó el volumen de azolves, que se confinarán en el vaso de Tultita con base en los cálculos realizados en el Capítulo 2.

La conducción hacia aguas abajo de la cortina se llevará a cabo por medio de un canal el cual tendrá una longitud de 63 metros medidos después que se pasa el umbral de la cortina, posterior a esto se tendrá una plataforma a la elevación 120 m.s.n.m. la cual contará con una pendiente hacia el cauce del río, con lo cual finalmente desembocará hacia el mismo 120 metros hacia aguas abajo del pie de la cortina se podrá dar el gasto necesario para los requerimientos de riego hacia aguas abajo, para surtir del vital líquido al distrito de riego, el diseño de la obra de toma tendrá una capacidad de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ , ésta tendrá dos tomas las cuales tendrán las siguientes características:

Tipo -----	Canal a cielo abierto con control	
Ancho del canal -----	10.00	m
Longitud del canal -----	140.00	m
Pila central -----	2.00	m (ancho)
Compuertas radiales -----	2 de 4 x 4	m
Gasto de diseño -----	130.00	$\text{m}^3/\text{s}$

### 3.4 Obra de Generación

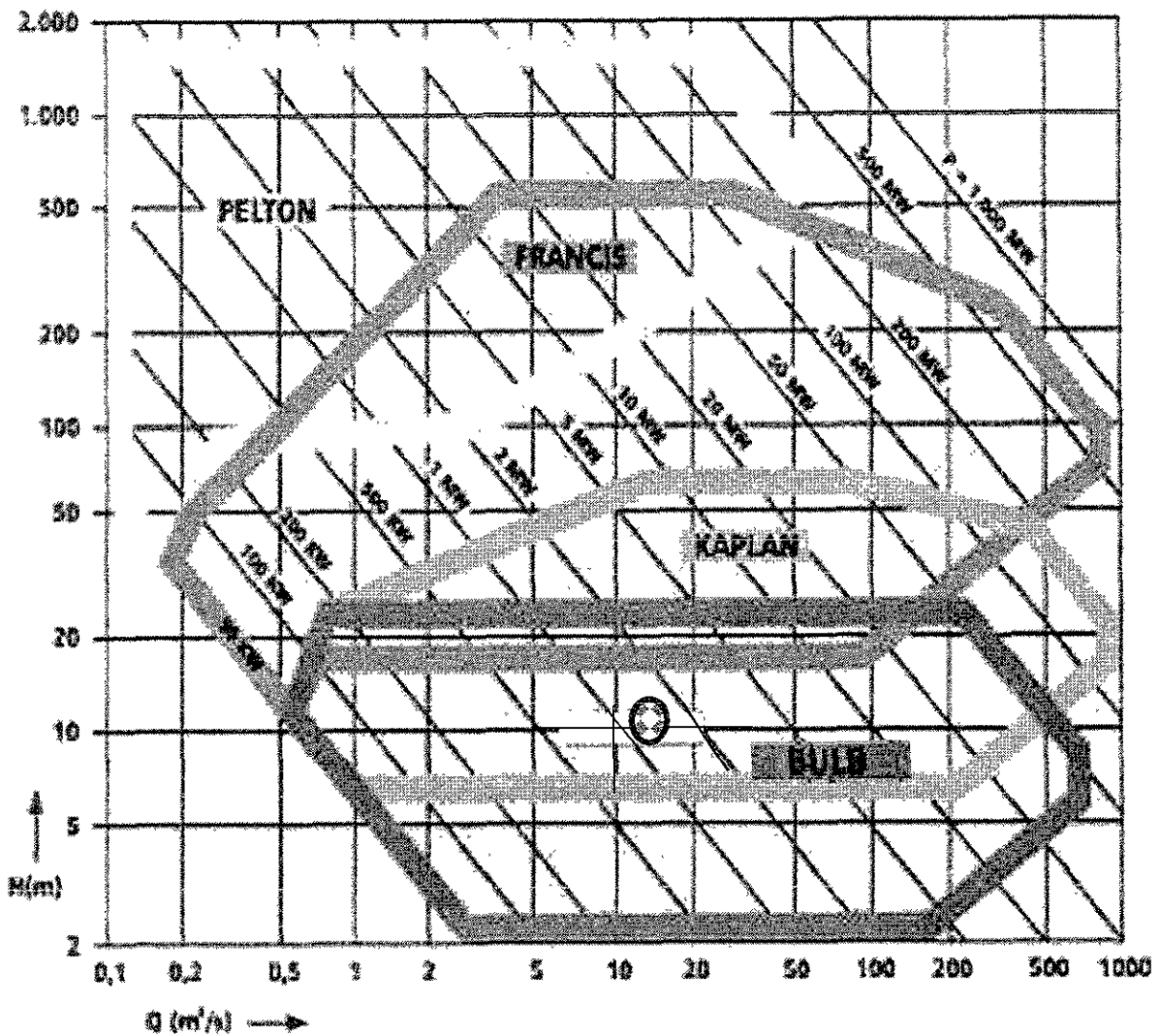
Este conjunto de obras son las que conforman el conjunto por medio del cual, la presa producirá energía eléctrica, esta compuesta por la obra de toma que es la encargada de llevar el agua del vaso de almacenamiento, donde obtiene una carga suficiente para conducir el gasto a la casa máquinas por medio de una tubería a presión, de aquí el líquido a presión mueve el rotor de la turbina y la flecha de este mueve al generador, los cuales junto con la casa de máquinas, que es el espacio donde se alojan los mecanismos

electromecánicos, para dar mantenimiento se tienen grúas que son diseñadas para ser capaces de izar la parte mas pesada del mecanismo electromecánico conformado por la turbina y el generador, el cual se diseña, con base en la carga y el gasto donde se establece la turbina más adecuada para nuestro caso, para nuestro estudio esto sólo se lleva acabo para el vaso de Tultita, ya que en el caso de Amata no se puede tener la carga suficiente para operar turbinas del tipo Bulbo debido a que no se puede elevar la cortina de Amata ya que existe la limitación de la elevación del poblado de Alayá hacia aguas arriba de las presas reguladoras, lo cual no permite a nuestras presas a elevarse a una cota mayor a la 141, ya que de lo contrario se tendría que reacomodar a la gente de este poblado, con lo cual se complica el proyecto en la parte social, además que tendría un mayor costo debido a las indemnizaciones, por lo cual solo se consideró para llevar acabo estas obras para el caso del eje de tultita el cual se muestra a continuación.

### *3.4.1 Tultita*

En cuanto a la obra de toma para generación, se tendrán dos tomas que de la misma manera se utilizarán para conducir a sus respectivas tuberías de presión, las cuales las llevarán hacia las turbinas bulbo, las cuales como se comento serían las pioneras en México aunque en la actualidad existen países con gran experiencia en esta materia, en él nuestro no se han llevado acabo este tipo de obra, ya que primero se planeo agotar el potencial hidroeléctrico para proyectos de gran escala, por lo cual en México no se ha explotado este potencial, ya que debido a las características de la turbinas bulbo que son adecuadas para las caídas pequeñas como se muestra en la gráfica, donde se muestra el rango de tipo de turbinas que se debe usar dependiendo del gasto y de la carga con la finalidad de que estas tengan un buen funcionamiento, los cuales no se han construido en la actualidad, como se presenta en la curva de cargas y gastos en la cual se observa que para bajas caídas la turbina óptima es la Bulbo, en nuestro caso la carga de diseño será de 10 metros y el gasto de diseño de las dos unidades será de  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  cada una y el conducto que llevara el gasto a la turbina bulbo será de 2.8 metros visto en planta por 3 metros en perfil, en cuanto a la turbina presenta las siguientes características, el cual según el análisis que se presenta en el capítulo 5 se observo que fue la mejor opción, contará con una elevación de desfogue a la cota 122 m.s.n.m., el umbral de la obra de toma será en la cota 126 m.s.n.m. cabe mencionar que este tipo de máquinas tiene la capacidad de poder dejar pasar el agua, sin generar sin tener problemas de sobre velocidad con lo cual no se tendrá problemas para el gasto requerido en el distrito de riego.





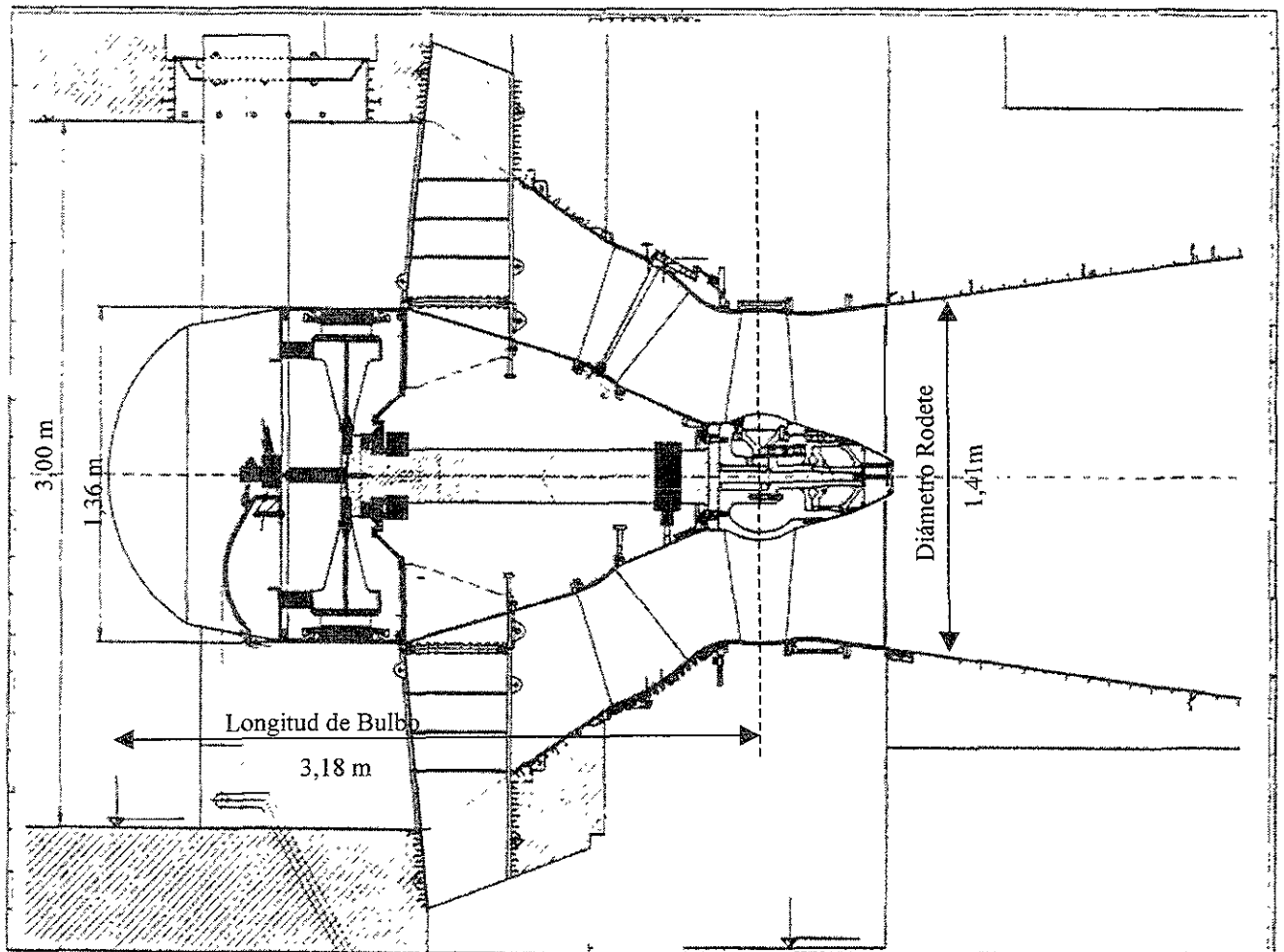
Rango de la turbina

Los datos tomados en cuenta fueron los siguientes:

Carga bruta de diseño	10.00 m
Potencia Instalada	2.40 MW
Eficiencia de la conducción (hidráulica)	.913
Eficiencia de la turbina	.955
Eficiencia del generador	.985
Elevación del desfogue	122 m.s.n.m.

## Característica de los equipos

Tipo de Turbinas	Bulbo
Carga neta	9.13 m
Potencia turbina	1218.27 Kw
Potencia de Generador	1.2 MW
Gasto	14.26 m <sup>3</sup> /s
Velocidad de rodete	360 r.p.m.
Sobre velocidad	792.29 r.p.m.
Diámetro del rodete	1.41 m
Longitud del Bulbo	3.18 m
Diámetro Bulbo	1.36 m



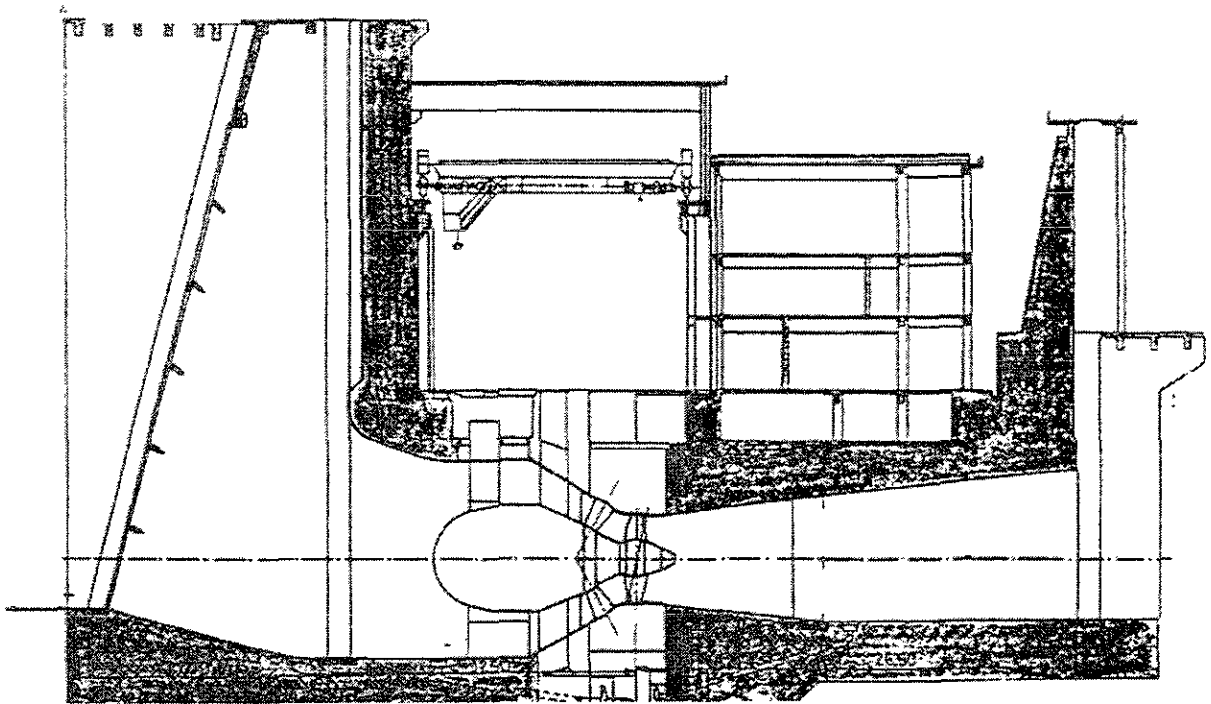
### Características de la Casa de máquinas

Tendrá una grúa para poder desarmar los equipos

La longitud de la casa de máquinas será de 16.0 m

El ancho de la casa de máquinas 4.50 m

La altura de la casa de maquinas 3.50 m



*Turbina Bulbo con casa de máquinas*

### 3.5 *Desarenador*

La función de esta obra es la de provocar el mismo efecto que provoca un tanque de sedimentación el cual tiene como función recoger las partículas sedimentables que lleva consigo el agua del río, las cuales arrastran a las partículas cuando lleva cierta velocidad, estas son conducidas por el caudal, lo cual provoca que al momento de llegar al embalse pierda la velocidad, por lo cual todo el vaso en sí funciona como un gran tanque de sedimentación, y debido a esto la presa se azolva, para la cual se determina el volumen muerto como se pudo corroborar en el Capítulo 2, una ayuda para evitar en cierta medida este problema es por medio de la utilización de un desarenador, el cual es recomendable a un nivel menor del umbral de las obras de toma de generación y cerca de estas, ya que provocará que cercano al punto donde se encuentren las obras de toma, no permita que se acumulen los sedimentos para alargar la vida útil del proyecto, ya que lo anterior esta en función de que se azolve el umbral de las obras de toma evitando sacar el gasto, afectando el funcionamiento ya sea de las compuertas o las turbinas.

#### 3.5.1 *Amata*

En el caso de Amata en sí no existe como tal un desarenador, aunque se aprovecha el canal de llamada de la obra de toma de riego, el cual opera por medio de compuertas y es capaz de funcionar como un desarenador por las características de las pendientes, lo que provoca un adecuado desempeño como canal desarenador, debido a lo anterior se recomienda utilizar las dos compuertas, con la finalidad de que no pase mucho tiempo, sin utilizar evitando que se acumule en exceso los sedimentos, con lo cual la pendiente de diseño ya no podrá precipitar adecuadamente los sedimentos.

#### 3.5.2 *Tultita*

Al igual que en Amata se tiene una obra de este tipo esta se encuentra en la margen derecha, la cual tendrá como finalidad poder desalojar los sólidos sedimentables a partir de la cota 123.90 donde se alojará este canal que permitirá con base en el principio del funcionamiento de los tanques de tratamiento primario para una planta ya sea de tratamiento de aguas negras o agua potable, en lo que se refiere a que se permitirá que se sedimenten los sólidos sedimentables dentro del canal que tendrá una pendiente de .0015 hacia el vaso de captación en donde se almacenaran el mayor número de sólidos sedimentables y una vez pasando la cortina se incrementa la pendiente hasta .0030 con el fin de que estos fluyan hacia aguas abajo de la cortina, con lo cual se podrán desalojar y de esta forma tirar por el canal los sedimentos para incorporarlos de nuevo hacia el caudal. Se tendrá unas compuertas deslizantes que funcionaran para regular el paso de los sedimentos.

### 3.6 *Obra de Excedencias*

En cuanto a la obra de excedencias se puede decir, que esta obra es de gran importancia ya que esta servirá como válvula de escape a las grandes avenidas que se pueden presentar por situaciones climatológicas externas, como lo son lluvias intensas o provocados por eventos como ciclones, razón por la cual esta obra será la encargada de proteger las obra en si de estos meteoros, ya que tendrá la función de verter el gasto en exceso para evitar que el

embalse rebase nuestra obra de contención, por lo cual por métodos probabilísticos se recomienda obtener el comportamiento de los escurrimientos en el transcurso de un largo periodo de años, llevando el análisis a la probabilidad de ocurrencia de un evento que se repita cada diez mil años, con lo cual siempre se han diseñado este tipo de obras las cuales han funcionado correctamente, ya que no hay registros que con este criterio se halla superado una cortina.

Los vertedores pueden ser de distintos tipos, trabajar con carga por medio de compuertas o en descarga libre como los dos casos que se presentan, estas pueden formar parte de la cortina como en los casos analizados o se puede tener una obra independiente, siempre se diseñan para que funcionen a partir del NAMO y normalmente descargan sus aguas sobre el propio cauce del río hacia aguas abajo.

### 3.6.1 Tipo de Vertedores

El esquema adoptado incluye una cortina de concreto gravedad, la cual puede ser aprovechada para alojar en su cuerpo a la estructura vertedora en forma económica, estará constituida por un cimacio con descarga libre, por lo que la obtención de la curva cargas contra gasto se obtuvo de la siguiente expresión.

De la ecuación general para vertedores:

$$Q = CdLeH^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

- Cd coeficiente de descarga
- H carga total sobre la cresta
- Le longitud efectiva de la cresta
- Q descarga

Y además:

$$Le = L - 2(NKp + Ka)H$$

Donde:

- H: carga total sobre la cresta
- Ka: coeficiente de contracción por estribos
- Kp: coeficiente de contracción por pilas
- L : longitud total neta de la cresta
- N : número de pilas
- Le longitud efectiva de la cresta

Para este caso queda:

$$Le = L - 2KaH$$

### Perfil geométrico de la sección vertedora-cimacio

Se seleccionó un cimacio tipo Creager siguiendo el criterio del U. S. Army Corps of Engineers, para el perfil del eje hacia aguas abajo, y los puntos que la forman hasta el punto de tangencia fueron dados mediante la expresión:

$$X^{1.85} = 2.0Hd^{0.85}Y$$

Válida para velocidad de llegada despreciable, talud vertical y  $p/Hd > 1$ , donde Hd se tomó como la carga total al NAME, Después del cimacio se propuso una rampa inclinada con talud 0.8333:1 hasta el contacto con la roca, Considerando Hd = 6.45 para evitar presiones negativas en el paramento de aguas abajo, la ecuación queda como:

$$X^{1.85} = 9.75339366Y$$

y el punto de tangencia donde se inicia la rampa se ubica en:

$$X = 8.7609 \text{ m}$$

$$Y = 5.6828 \text{ m}$$

#### 3.6.2 Amata

Es tipo gravedad con concreto compactado con rodillos (CCR); tiene 144 m de longitud, 24 m de altura máxima al desplante en roca sana y está diseñada para un gasto de 5 116 m<sup>3</sup>/s.

La sección transversal está formada por un paramento vertical aguas arriba hasta ligar con el perfil Creager del cimacio, cuya cresta se encuentra a la elevación 132.70 m, la cual corresponde al NAMO. A continuación y hacia aguas abajo se une tangencialmente el talud teórico de 0.833:1 en la elevación 126.75 m. Cabe mencionar que a partir de la elevación 131.25 m la sección presenta un escalonamiento (considerando peraltes diseñados con múltiplos de 0.30 m, que corresponden al tendido de las capas del CCR y que se ajustan al perfil teórico mencionado) hasta el desplante con la roca. La longitud de la sección transversal resultó de 24.74 m y tanto aguas arriba como abajo se ha considerado un espacio de 5 m al nivel del desplante para facilitar los trabajos de excavación y tendido del CCR abajo del terreno natural. Una vez concluidos dichos trabajos serán rellenados los espacios abiertos con aluvi6n compactado y enrocamiento; este 6ltimo solamente hacia aguas abajo donde se producen las descargas.

Debe mencionarse que para encauzar el flujo se previeron muros de encauce en ambas márgenes: en la izquierda se liga con la cortina convencional y en la derecha, con la obra de toma.

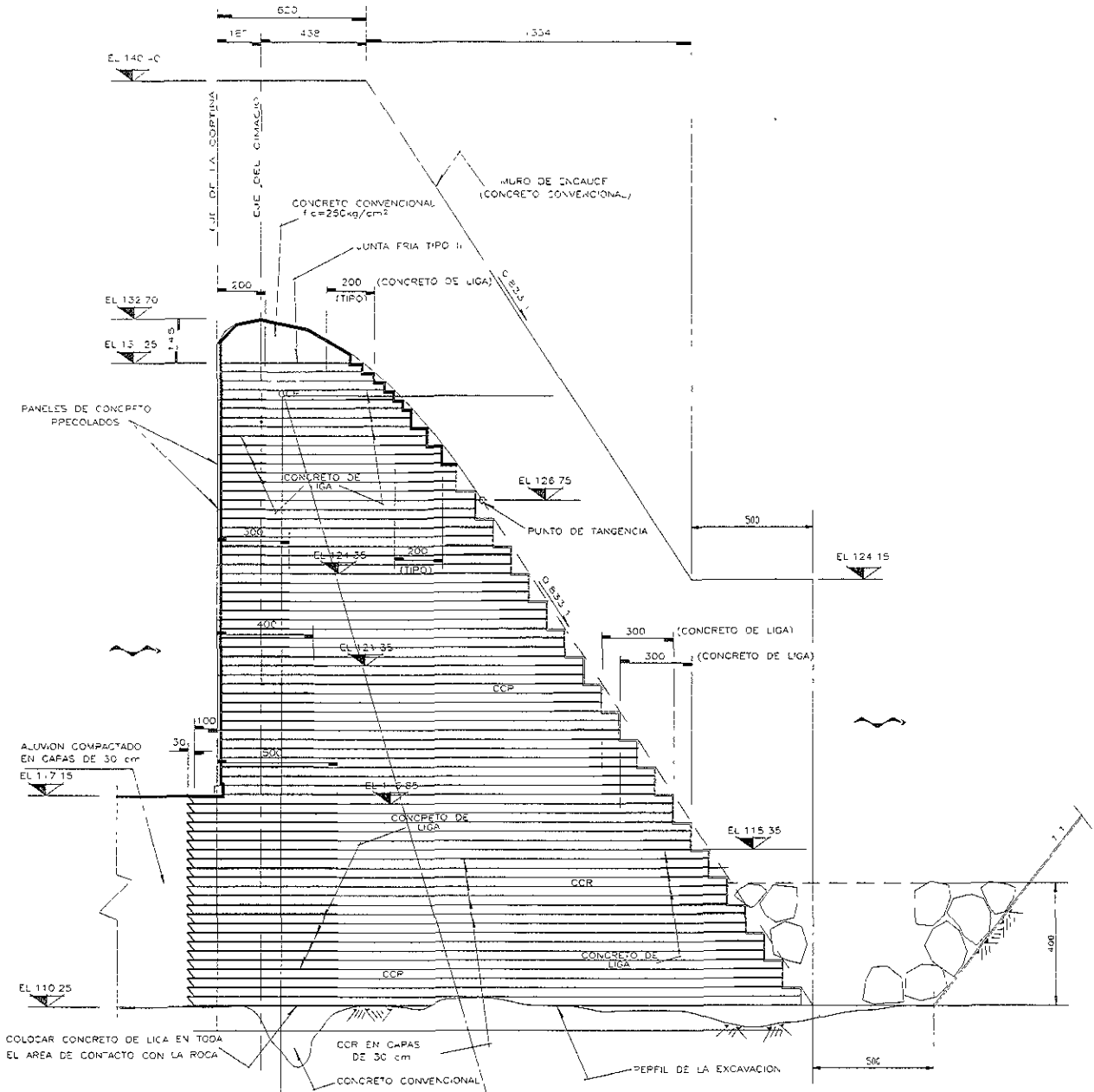
Tipo -----	Descarga libre de CCR	
Longitud de la cresta-----	144.00	m
Elevaci6n de la cresta -----	132.70	m.s.n.m.
Carga de dise1o -----	6.45	m
Gasto de dise1o -----	5 116.00	m <sup>3</sup> /s
Gasto unitario-----	35.53	m <sup>3</sup> /s
Periodo de retorno-----	10 000	a1os

### 3.6.3 Tultita

En cuanto a la obra de excedencias es capaz de resistir la avenida asociada a un periodo de retorno la cual es de 5 116 m<sup>3</sup>/s que es lo que verterá Comedero, esta se desarrollará por medio de un vertedor de perfil tipo Creguer de cresta libre que empieza en la cota 133.25, la cima del perfil de la cresta se encuentra en la 133.25, cabe mencionar que esta obra se encuentra sobre la propia obra de contención, la cual al igual que en Amata se llevará acabo por medio de concreto rodillado con lo cual se tendrá un paramento aguas abajo con una pendiente de 1:0.8 por el cual vertera el agua por medio de este paramento el cual será constuido por medio de una capa de concreto convencional de un metro de peralte, con lo cual será suficiente para resistir el gasto que sobre el se verterán los excedentes, además cabe mencionar que se aprovechará el método constructivo del Concreto Rodillado utilizado en la cortina, con la finalidad de crear escalones de múltiplos de 30 cm según sea más conveniente, con la finalidad de disipar la energía del agua que bajará por el vertedor, con lo cual se espera disipar gran parte de la energía del agua, esto será conveniente para que el agua llegue con una menor energía hacia la cubeta de lanzamiento, lo cual desalojará el agua lejos del pie de la cortina, lo anterior se estudiará con la finalidad de que no se presente socavaciones al pie de la presa, que puedan llegar a afectar su estabilidad en esta zona, para lo cual se tiene pensado llevar acabo la compactación del terreno, además de agregar enrocamiento en la parte donde será vertida el agua, por último cabe mencionar que se tendrá un muro lateral de encauce, el cual permitirá dirigir el agua por la sección vertedora la cual será protegida de las partes de la cortina a las que no pertenece el vertedor, con lo cual cada uno de los dos lados, será protegido por este tipo de estructuras, que separa las dos secciones de la cortina y evitará que el cauce del vertedor se mantenga por donde se diseñó.

Este vertedor tendrá una longitud de cresta de 230 m, esto se logra debido a que las características topográficas de la boquilla, permiten una mayor longitud del vertedor, ya que la boquilla es sensiblemente mayor a la del eje Amata, lo que lo hace más propicio en su funcionamiento hidráulico, al trabajar con una menor carga unitaria, aunque cabe aclarar que los dos vertedores lo hacen de manera adecuada.

Tipo -----	Descarga libre de CCR	
Longitud de la cresta-----	230.00	m
Elevación de la cresta-----	133.25	m.s.n.m.
Carga de diseño -----	5.75	m
Gasto de diseño -----	5 116.00	m <sup>3</sup> /s
Gasto unitario-----	22.24	m <sup>3</sup> /s
Periodo de retorno-----	10 000	años



Sección máxima vertedora



## 4. EVALUACIÓN ECONÓMICA EJE AMATA

### 4.1 Introducción

En este capítulo se pretende exponer las variables y parámetros para poder evaluar la rentabilidad de la presa reguladora en el sitio Amata, una vez desarrollados los estudios que se presentaron en los capítulos previos en los cuales se desarrolló el proyecto, con el fin de mostrar la factibilidad técnica, en este capítulo se pretende establecer lo referente a la evaluación económica del proyecto, ya que como se pudo observar el proyecto es viable técnicamente, debido a que al mismo tiempo se puede llevar a cabo y cumplir con la función para la cual fue diseñado adecuadamente, por lo que ahora resta llevar a cabo la factibilidad, la cual nos permitirá establecer si en dado caso las variables como lo son, el costo total del proyecto, así como sus beneficios, nos dan como resultado parámetros favorables en cuanto a la rentabilidad económica del mismo que trata de subsanar el problema de la Central Raúl J. Marsal en la presa el Comedero y esta opere de una forma más eficiente.

### 4.2 Costos

El costo de cualquier tipo de proyecto está determinado, por el dinero necesario que se requiere para poner en marcha el proyecto, el cual debe cumplir cabalmente con el objetivo que se plantea, así como el costo asociado para que este funcione adecuadamente durante su vida útil.

En el primer caso nos referimos a los costos inherentes a la construcción y a los asociados a toda la infraestructura que se construya y que se destruya para poder llevar a cabo el proyecto, los cuales se denominan costos de inversión.

En el segundo caso se deben considerar tanto los costos de operación, los cuales se definen como el costo necesario para asegurar la puesta en marcha del proyecto a lo largo de toda su vida útil de manera adecuada, una vez terminada su construcción.

Tomando en cuenta el concepto de inversión anterior, para este rubro se incluye, tanto la mano de obra como los insumos necesarios para que el proyecto cumpla con la finalidad de que funcione a lo largo de su vida útil.

Por otra parte es importante considerar el costo asociado a la maquinaria tanto eléctrica como mecánica con la finalidad de que estos funcionen correctamente, a lo largo de la vida útil de la central y con lo anterior se evitará en gran medida que alguna falla afecte el funcionamiento de nuestras máquinas, las cuales se consideran que tendrán una vida útil de 50 años.

#### 4.2.1 Costos de la Inversión

Para obtener el costo necesario para llevar a cabo la creación del proyecto, se cuantificaron los materiales necesarios para el proyecto, con base en las obras que se describieron dentro del capítulo 3, por medio de lo anterior se establecieron tanto los volúmenes requeridos de los distintos materiales de construcción, así como las actividades necesarias para poder llevar a cabo la colocación de estos materiales en el proyecto de la Presa reguladora en el eje Amata, con lo cual se establecieron las cantidades de obra necesarias para su realización.

Por otra parte se consultaron los precios unitarios, los cuales como normalmente se lleva a cabo, ya llevan incluido los costos del personal, maquinaria y material necesario, lo que conforma el costo directo del precio unitario, además dentro de cada uno de los precios unitarios se consideran los gastos indirectos de la constructora, necesarios para poder realizar la obra, así como un porcentaje el cuál representa la utilidad de la constructora, todo lo anterior en su conjunto, se toma en cuenta para poder considerar el precio unitario del concepto de obra que se describa, en la unidad que se considere más conveniente para poder cuantificar el concepto que se menciona dentro del presupuesto.

Cabe mencionar que todos los precios utilizados se extrajeron del catálogo de precios unitarios del área de Anteproyectos hidroeléctricos, el cual se basa en las experiencias adquiridas por la Gerencia de Construcción de proyectos hidroeléctricos de la C.F.E., la cual ha llevado a cabo este tipo de obras a lo largo de su historia, por consiguiente se tienen buenos criterios para realizar los precios unitarios, ya que se manejan rendimientos tanto de maquinaria como de personal, así como la colocación de materiales puestos en obra adecuados a las vivencias en proyectos realizados con anterioridad, renovándose constantemente, lo cual proporciona una base confiable de una gran cantidad de precios unitarios de diversos conceptos utilizados en estas obras, lo cual permite tener un parámetro lo suficientemente aproximado del costo real de la obra.

Por último es importante considerar que los precios de este presupuesto son en pesos medios del año 2000.

#### 4.2.1.1 Presupuesto de Obra

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe total
	<b>Infraestructura</b>				
0.15002	Camino de construcción sin pavimentar con revestimiento provisional	Km	3.00	8 651 100.78	25 953 302
0.15003	Pavimentación de camino existente, en terreno plano y lomerío suave	Km	5.00	2 836 168.98	14 180 845
0.16001	Construcción del puente sobre el Río Santiago	m	20.00	776 944.43	15 538 889
	<b>Total Infraestructura</b>				<b>55 673 036</b>

<b>OBRA DE DESVÍO</b>					
	<b>Ataguías</b>				
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	23 639.00	35.07	829 020
0.21145	Sobreacarreo en km subsecuentes al primero del material producto de excavación (al banco de desperdicio)	m <sup>3</sup> -km	47 278.00	39.12	1 849 502
0.31030	Material N impermeable para el núcleo. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y tratamiento requendo, carga, acarreo, descarga y colocación, en ataguías y cortina	m <sup>3</sup>	3 400.00	93.61	318 274
0.31031	Colocación y compactación de material N	m <sup>3</sup>	3 400.00	551.30	1 874 410

0.31035	Sobreacarreo en 1 km subsecuentes al primero del material N impermeable	m <sup>3</sup> -km	13 600.00	23.80	323 614
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	1 400.00	76.98	107 772
0.31065	Enrocamiento 5 proveniente de las excavaciones. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga y colocación en atagüa y cortina, Ø < 40 y Ø > 40 cm	m <sup>3</sup>	9 100.00	52.26	475 566
0.3105	Enrocamiento 3A proveniente de las excavaciones para los respaldos. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga, colocación en atagüa, Ø < 40 cm	m <sup>3</sup>	5 800.00	41.74	242 092
0.31055	Sobreacarreo en 1 km subsecuentes al primero del material 3A	m <sup>3</sup> -km	29 000.00	6.67	193 430
0.41155	Bombeo en exceso de 10 l/s con bomba centrífuga de Ø=4"	h	45.00	1 230.69	55 381
<b>Total Atagüas</b>					<b>6 269 060</b>
<b>Total Obra de Desvío</b>					<b>6 269 060</b>

<b>OBRA DE CONTENCIÓN</b>					
<b>Cortina</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	M <sup>3</sup>	34 957.56	35.07	1 225 962
0.21007	Excavación en roca a cielo abierto en grandes masas para sección obligada	m <sup>3</sup>	22 520.00	199.75	4 498 370
0.21135	Limpia del cauce del río, para desplante de la atagüa y cortina	m <sup>3</sup>	480.00	261.77	125 650
0.21006	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en laderas	m <sup>3</sup>	500.00	35.07	17 535
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	7 728.00	76.98	594 901
0.31065	Enrocamiento 5 proveniente de las excavaciones. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga y colocación en atagüa y cortina, Ø < 40 y Ø > 40 cm	m <sup>3</sup>	5 600.00	52.26	292 656
0.41242	Suministro, barrenación de Ø=3", habilitación, colocación e inyección de anclas de tensión de Ø=1" en muros y 9 m de longitud	m	612.00	616.92	377 555
0.4106	Barrenación en roca de Ø=3" de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	708.00	261.63	185 234
0.41115	Suministro y colocación de malla electrosoldada	m <sup>2</sup>	320.00	84.17	26 934
0.41331	Inyección de lechada agua-cemento-bentonita para pantalla profunda	m <sup>3</sup>	6 052.50	3 131.96	18 956 188

0.5102	Concreto simple $f'c=200$ kg/cm <sup>2</sup> en tiro directo para plantillas en túneles de desvío y plataformas. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	17 800.00	2 024.00	36 027 200
0.51100	Concreto rodillado para cortina de gravedad. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	42 200.00	1 083.29	45 714 838
0.41417	Acero Estructural, montaje colocación y anticorrosivo	Kg	1 000.00	22.00	22 000
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	704.00	9 485.93	6 678 095
<b>Total Cortina</b>					<b>114 743 118</b>
<b>Drenes</b>					
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	35.00	9 485.93	332 008
0.4106	Barrenación en roca de $\varnothing=3"$ de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	180.00	261.63	47 093
0.41171	Suministro y colocación, tubo de concreto perforado de 6" de diámetro para drenes	m	138.00	110.28	15 219
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	373.52	76.98	28 754
<b>Total Drenes</b>					<b>423 073</b>
<b>Total Obra de Contención</b>					<b>115 166 191</b>

<b>OBRA DE TOMA</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	4 944.00	35.07	173 386
0.21007	Excavación en roca a cielo abierto en grandes masas para sección obligada	m <sup>3</sup>	44 492.40	199.75	8 887 357
0.51256	Concreto en muros laterales de canal. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	1 614.79	2 247.58	3 629 370
0.51245	Concreto en pilas del vertedor y estribos. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	338.16	2 384.00	806 173
0.51250	Concreto en muro separador del vertedor. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	100.07	2 384.00	238 567
0.51257	Concreto en plantilla de canal.	m <sup>3</sup>	533.72	2 806.68	1 497 981
0.51265	Concreto en puente de maniobras. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	24.26	26 492.65	642 712
0.4106	Barrenación en roca de $\varnothing=3"$ de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	510.00	261.63	133 431
0.41267	Barrenación, habilitación, colocación e inyección de anclas de tensión de varilla corrugada de $\varnothing=1"$ , en muros hasta 9 m	m	800.00	531.83	425 464
0.4115	Suministro y colocación de malla electrosoldada en taludes y tratamiento de laderas	m <sup>2</sup>	84.17	1 700.00	143 089
0.51307	Revestimiento de mortero lanzado $f'c=180$ kg/cm <sup>2</sup> ó gunita. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	120.00	2 777.61	333 313
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	266.00	9 485.93	2 523 257

0.41417	Acero Estructural, montaje colocación y anticorrosivo	Kg	11 000.00	22.00	242 000
<b>Total obra civil en toma</b>					<b>19 676 101</b>
<b>Equipo Mecánico</b>					
0.60225	Compuerta tipo radial de 3,1 m de ancho, 1 m de altura de cada elemento, 23,5 m de carga máxima hidrostática, Incluye mecanismo de izaje	Pieza	2.00	1 108 681.35	2 217 363
.60310	Transporte y montaje de la compuerta	Lote	1.00	399 123.69	399 124
0.60230	Compuerta tipo Aguja (obturador) de 3,1 m de ancho, 1 m de altura de cada elemento, 23,5 m de carga máxima hidrostática, 8. Incluye las guías y el mecanismo de izaje	Pieza	1.00	1 215 405.87	1 215 406
0.60320	Transporte y montaje de la compuerta	Lote	1.00	218 771.70	218 772
<b>Total Equipo Mecánico</b>					<b>4 050 664</b>
<b>Total Obra toma</b>					<b>23 726 765</b>

<b>AFECTACIONES</b>					
	Bienes Inmuebles	Lote	1.00	63 496.12	63 496
	Tierras afectadas	Lote	1.00	713 329.12	713 329
	Vías de comunicación	Lote	1.00	191 264.28	191 264
<b>Total de Afectaciones</b>					<b>968 090</b>

<b>Total</b>	<b>201 803 141</b>
--------------	--------------------

<b>Resumen</b>	
	<b>Precios totales en pesos</b>
<b>Obra Civil</b>	
Infraestructura	<b>55 673 036</b>
Obra de desvío	<b>6 269 060</b>
Obra de Contención	<b>115 166 191</b>
Obra de Toma	<b>19 676 101</b>
Afectaciones	<b>968 090</b>
<b>Total Obra Civil</b>	<b>197 752 477</b>
<b>Equipo Electromecánico</b>	
Obra de toma	<b>4 050 664</b>
<b>Total Equipo Electromecánico</b>	<b>4 050 664</b>
<b>Total Amata</b>	<b>201 803 141</b>

#### *4.2.2 Costos de Mantenimiento y Operación*

En lo referente a los costos de operación y mantenimiento, se obtuvieron considerando que en la propuesta de este sitio, no se equipará con turbinas esta presa reguladora por lo cual el costo de mantenimiento, sólo se consideró como el aumento de mantenimiento para la central Hidroeléctrica Comedero, que al incrementar la generación se le asociará un cargo extra, ya que teóricamente tendrá un mayor costo de mantenimiento el cual se le asociará a la presa Reguladora Amata.

En cuanto a los costos de generación, tomando en cuenta que la Comisión Nacional del Agua, con base en lo dispuesto en la Ley de Aguas Nacionales, es la encargada de conservar el agua, la cuál esta se encuentra bajo su custodia, al mismo tiempo es la responsable de cobrar los derechos por el uso de agua, por lo cual se paga un costo adicional por este rubro ya que como se menciona en el capítulo dos , por medio de la reguladora de Amata se ganan 32.34 GWh anuales, por lo cual sacando el consumo específico del proyecto, el cual se obtiene del volumen utilizado entre la generación que se produjo, se agrega este costo adicional asociado a el cambio de generación del proyecto.

En cuanto a los gastos de operación, debido a que la central no genera en sí, no es necesario contratar personal extra para que opere esta central, por lo cual se considera que no se generarán gastos de operación propios de la reguladora debido al personal y considerando que las compuertas se podrán controlar de manera remota, se omiten los gastos de operación referentes al personal y sólo se aplican los establecidos por el derecho al uso de agua para generación..

#### *4.3 Programa de Obra*

En cuanto al programa de obra el cual se presenta a continuación, cabe mencionar que se llevo a cabo con los criterios de los rendimientos obtenidos con anterioridad en obras realizadas o subcontratadas por la C.F.E., en las cuales se ha tenido amplia experiencia, cabe mencionar que se considera el escenario más negativo del programa de obra, ya que como se podrá ver a continuación existen tres meses en los cuales no se tiene actividad civil que corresponde al periodo en el cual se terminan los trabajos de Infraestructura necesarios para el inicio de los trabajos de construcción, los cuales los absorbe la propia C.F.E., posteriormente se licitan los trabajos que conforman la infraestructura del nuevo proyecto, con lo cual en ocasiones debido a problemas administrativos y de requisitos de la empresa, que gana el concurso, se llegan a desfasar los trabajos incluso hasta por tres meses, entre estas dos etapas mencionadas, cabe señalar que con base en este esquema, se consideran los tiempos para llevar a cabo, el flujo de efectivo anual que se presenta para la evaluación económica.

Programa de obra Presa Reguladora Amata Sinaloa

CONCEPTO	AÑO 1												AÑO 2											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J						
	<b>OBRA CIVIL</b>																							
Camino de acceso																								
Camino de construcción																								
Campanario, almacén, talleres y oficinas																								
Excavación																								
Concretos																								
Estructura de control																								
Atagulas incluyendo pantalla impermeable																								
Limpia y excavación																								
Tratamiento de la cimentación																								
Cortina																								
Restitución de los bienes inmuebles																								
Restitución de las tierras afectadas																								
Restitución de las vías de comunicación																								
<b>OBRA ELECTROMECÁNICA</b>																								
Compuertas: fabricación, montaje y transporte																								

El flujo de efectivo para la inversión se realiza tomando en cuenta el programa de obra, así como el presupuesto el cual resultó de la siguiente manera:

Enero	22 760 422
Febrero	34 532 879
Marzo	810 132
Abril	810 132
Mayo	810 132
Junio	5 869 633
Julio	10 474 609
Agosto	6 505 253
Septiembre	6 031 880
Octubre	2 933 759
Noviembre	10 196 734
Diciembre	10 517 738
<b>Primer Año</b>	<b>112 253 303</b>

Enero	12 566 142
Febrero	15 667 537
Marzo	19 542 060
Abril	24 220 252
Mayo	17 553 847
<b>Segundo Año</b>	<b>89 549 838</b>

#### 4.4 Beneficios

Como se presento en el capítulo dos, después de realizar las simulaciones del vaso de Comedero, con el proyecto de regulación ya en funcionamiento se tendrán beneficios asociados los cuales representan las ganancias del proyecto.

Para lo anterior cabe aquí mencionar que las ventajas que se pueden obtener del proyecto son, la calidad de la energía y la cantidad que se va a producir, por lo cual se explicará el criterio que se tiene para tomar en cuenta las energías.

##### Energía firme y secundaria

Tomando en cuenta la capacidad que tiene nuestra planta hidroeléctrica de generar una cantidad de GWh al año, se hace la diferenciación de los dos tipos de energía, los cuales es capaz de proporcionar la planta, para determinar la energía denominada firme es necesario asegurar durante todos los meses del año su producción constante, razón por la cual es una energía que se garantiza hasta con un 95% de seguridad, esto para fines de cálculo de evaluación de un proyecto hidroeléctrico, con base en lo anterior se puede establecer que la energía que no cumpla con estos requisitos se le llama secundaria, ya que no permite que se le programe para contar con ella durante todos los meses del año, debido a que esta no se puede asegurar, el precio de esta energía es menos valiosa, ya que no se asegura la generación de energía razón por la cual pierde valor.

##### Tipos de energías firmes

Dentro de la energía firme que fue la que se explicó anteriormente, se puede hacer una división, la cual es considerada como energía de base o energía de punta. Es decir dentro de la demanda diaria del fluido eléctrico hay momentos en que esta aumenta



considerablemente, que en un promedio esto sucede en cuatro horas que es aproximadamente de las seis de la tarde a las diez de la noche, en donde los usuarios demandan mayor cantidad de fluido eléctrico en comparación con la demanda en el resto del día, razón por la cual en las horas pico el fluido eléctrico adquiere un valor extra, debido a que tiene una mayor demanda, lo cual obliga a aumentar nuestra capacidad de generación, a raíz de lo anterior se puede deducir que la energía mas beneficiosa es la energía producida en las horas pico, por otra parte la energía que se sale del rango de las horas pico, se le denomina energía base.

Debido a lo anterior al ser mas valiosa la energía firme y sobre todo la energía de punta o pico, el proyecto de regulación esta enfocado a provocar este cambio, al producir energía pico en lugar de la secundaria que actualmente se produce.

En si el cambio se da al comparar la cantidad de energía que se genera actualmente con las condiciones que impone el distrito de riego, en comparación con lo que se tiene una vez realizada la presa reguladora aguas abajo, para entender un poco lo anterior se hará una breve explicación de la metodología que realicé para obtener los beneficios de la construcción de la reguladora.

Introduciendo los escurrimientos medidos en la estación Santa Cruz, se obtiene la cantidad de agua que se tiene en esta cuenca mensualmente, los que serán nuestros datos de entrada, de los cuales se tiene registrado un periodo de 50 años, posterior a esto se hace el análisis del funcionamiento del vaso, en el cual se introdujeron las variables de peso como lo es, las demandas de riego que se necesitan aguas abajo, así como se estableció la generación que se tenia en cada uno de los 50 años que se tienen registros en el ámbito mensual con los cuales se llevo a cabo la simulación, de estos funcionamientos de vaso, por otra parte se consideró restringir la generación a aquellas veces que no se cumpliera con el gasto mínimo de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual es el que se considera para que pueda funcionar una de las dos unidades, la diferencia para evaluar la generación con Amata o sin Amata es que el volumen que se genera con un gasto de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  en el caso de no considerar Amata, no se toma en cuenta, ya que este gasto se saca por la toma de riego al no poder generarlo por las turbinas.

En las condiciones actuales el volumen requerido por el distrito de riego, se proporciona de manera prácticamente uniforme durante las 24 horas del día, y en el caso de considerar el proyecto de Amata, debido a que se tiene una regulación diaria, el volumen diario necesario se podrá pasar por las turbinas en sólo 4 horas, es decir se sacará un gasto 6 veces mayor por medio de las turbinas de Comedero, almacenando el agua en la presa reguladora hacia aguas abajo donde se dosificará el volumen vertido en cuatro horas, almacenado el agua del distrito de riego el cual recibirá el agua, de la misma manera en la que actualmente funciona el distrito de riego, con la ventaja de que la planta de Comedero con regulación en lugar de dejar de trabajar cuando se requiera un gasto menor de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ , con la regulación lo hara cuando en el distrito de riego se requiera un gasto  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  o menor continuo en el distrito de riego.

La relación volumen requerido contra tiempo de generación, tiene la limitante de cuatro horas en cuanto a tiempo que es lo que se debe cumplir para satisfacer el pico y en cuanto a gasto este no debe ser superior a los  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  que es el gasto máximo con que funcionan las turbinas, por lo que en los casos de que se requiera un volumen mayor diario al que se obtiene de estas dos combinaciones se operará arriba de las cuatro horas con el gasto de  $130 \text{ m}^3/\text{s}$  hasta satisfacer el gasto demandado por el distrito de riego.

Tomando estas consideraciones se obtuvieron las generaciones de todo el periodo de manera mensual, las cuales se ordenaron de menor valor a mayor valor, con lo cual se

desecho el cinco por ciento más bajo y apartir del mayor de estos valores, fue el que nos estableció nuestra generación firme, la que posteriormente se estudió si era viable producirla exclusivamente en las horas pico, lo cual se adecuó por completo, teniendo como resultado el cambio de energía, que se transformó de secundaria a pico.

Por medio del procedimietno explicado se provoca el cambio de generación con la presa reguladora, para contrastar lo obtenido con la simulación del vaso contando ya con presa reguladora se establecen las condiciones actuales bajo las cuales opera.

En la actualidad en promedio la planta opera solo nueve meses, paradójicamente los tres restantes donde eventualmente se ha dejado de generar son los meses de lluvias, aunque esto se entiende debido a que la presa tiene la función de almacenar agua para los periodos secos, que es cuando no se tienen problemas para generar, esta inconsistencia nos lleva a tener solamente una generación secundaria, debido a que no se genera constantemente durante todos los meses del año.

A continuación se hace una comparación de lo que ha estado generando la Central Hidroeléctrica de Comedero comparado con lo que podrá generar una vez que se realice el proyecto de la presa reguladora Amata aguas abajo.

<b>Generación de Comedero sin Presa Reguladora</b>	Energía en GWh	Costo kWh	Beneficios en pesos
Generación Anual secundaria	268.78	.3426	92 084 028
<b>Total</b>	<b>268.78</b>		<b>92 084 028</b>
<b>Generación de Comedero con Presa Reguladora Amata</b>			
Generación Anual firme pico	86.28	1.0805	93.225.540
Generación Anual Secundaria	214.84	.3426	73.604.184
<b>Total</b>	<b>301.12</b>		<b>166 829 724</b>

Como se puede observar de la tabla se tiene una ganancia de energía total de 32.34 GWh totales. además mencionar que se gana 86.28 GWh en energía firme en hora pico, lo cual trae consigo los siguientes beneficios asociados al desarrollo de la Presa Reguladora Amata

Beneficios asociados al desarrollo del proyecto

Generación total anual 32.34 GWh

Generación firme en pico anual 86.28 GWh

Beneficio económico anual 74 745 696 M.N.

Con los datos obtenidos ya se puede establecer el costo del proyecto, así como el costo de mantenimiento y operación en conjunto con los beneficios anuales para establecer los parámetros económicos que a continuación se presentan..

## 4.5 Evaluación Económica

### Interés

La palabra interés significa la renta que se paga por utilizar el dinero en un determinado activo que nos produzca un beneficio, o bien la renta que se gana al invertir nuestro dinero por ejemplo en un banco. Con base en lo anterior puede ser el rendimiento obtenido en una determinada inversión, o el costo real que representa una determinada fuente de financiamiento.

Debido a que el dinero puede ganar un cierto interés, cuando se invierte por un cierto período usualmente un año, es importante reconocer que un peso que se reciba en el futuro valdrá menos que un peso que se tenga actualmente. Es precisamente esta relación entre el interés y tiempo lo que conduce al concepto del valor del dinero a través del tiempo. Por consiguiente, el valor de dinero a través del tiempo significa que cantidades iguales de dinero no tienen el mismo valor, si se encuentran en puntos diferentes en el tiempo si la tasa de interés es mayor que cero.

Basados en estos conceptos los análisis que se realizarán en este capítulo siempre se harán en un mismo punto del tiempo con la finalidad de no caer en incongruencias.

### Criterios para la evaluación del proyecto

En cuanto a lo que se refiere a la evaluación económica del Proyecto se establecen varios parámetros, que a continuación se describen para poder comprender mejor la forma en la que se evaluaron tanto la alternativa del eje Amata, así como los del eje Tultita mismos que se presentarán en el capítulo 5.

#### 4.5.1 Valor Presente Neto (VPN)

El método del valor presente es uno de los criterios económicos más comúnmente utilizados para la evaluación de un proyecto de inversión. Este método consiste en determinar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y compara esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces es recomendable que el proyecto sea aceptado.

Para comprender mejor la definición anterior a continuación se muestra la fórmula utilizada para evaluar el valor presente de los flujos generados por un proyecto de inversión.

$$VPN = S_0 + \sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t}$$

Donde

VPN = Valor Presente Neto

$S_0$  = Inversión inicial

$S_t$  = Flujo efectivo neto del periodo

$n$  = Número de periodos de vida del proyecto

$i$  = Tasa de recuperación mínima atractiva

$t$  = Periodo

Como se puede deducir esta fórmula para obtener el valor presente neto lleva implícito el valor del dinero a través del tiempo al seleccionar un valor adecuado de  $i$ , el cual nos establecerá el valor presente a esta tasa referenciada, la cual debe ser considerada por lo menos como la tasa con lo cual sin adquirir ningún riesgo nos da de dividendos este capital.

#### 4.5.2 Tasa interna de rendimiento (TIR)

La tasa interna de rendimiento, como se le llama frecuentemente, es un índice de rentabilidad ampliamente aceptado. Está se define como la tasa de interés que reduce a cero el valor presente, el valor futuro o el valor anual equivalente de una serie de ingresos y egresos. Es decir la tasa interna de rendimiento de una propuesta de inversión, es aquella tasa de interés que satisface la siguientes ecuación:

$$\sum_{t=0}^n \frac{S_t}{(1+i)^t} = 0$$

Donde :

$S_t$  = Flujo de efectivo neto del periodo  $t$

$n$  = Vida de propuesta de inversión.

$i$  = Tasa Interna de Retorno

$t$  = Periodo

En términos económicos la tasa interna de rendimiento representa el porcentaje o la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de una inversión. El saldo no recuperado de una inversión en cualquier punto del tiempo de la vida del proyecto, puede ser visto como la porción de la inversión original que aún permanece sin recuperar en ese tiempo.

#### 4.5.3 Relación Beneficio Costo

En cuanto a la relación Beneficio Costo esta simplemente se determina considerando el valor presente de todos los costos a lo largo de la vida útil del proyecto, y actualizar al mismo periodo el valor presente de los beneficios obtenidos a lo largo de la vida útil de todo el proyecto y se dividen el valor del beneficio entre el valor del costo, como se podrá deducir fácilmente, en dado caso de que esta relación sea superior a la unidad el proyecto es rentable y en caso contrario no será así.

#### 4.5.4 Año de recuperación de Capital

El momento en que el valor acumulado de nuestro valor presente neto se transforma de negativo en positivo, es el momento en que se considera que se recupera la inversión que se realizó al inicio del proyecto y a partir de ese momento se empiezan a generar ganancias.

#### 4.5.5 Resultados

A continuación en la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos de todos estos parámetros que se obtuvieron, con base en lo que se expresó anteriormente

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

Año	Inversión	Gastos de Oper y Mant	Beneficios	Valor Actualizado	Valor Acumulado
0	112 253 303.00	0.00	0.00	-112 253 303.00	-112 253 303.00
1	89 549 838.00	0.00	0.00	-81 408 943.64	-193 662 246.64
2		1 915 200.00	74 745 696.00	60 190 492.56	-133 471 754.07
3		1 915 200.00	74 745 696.00	54 718 629.60	-78 753 124.47
4		1 915 200.00	74 745 696.00	49 744 208.73	-29 008 915.74
5		1 915 200.00	74 745 696.00	45 222 007.94	16 213 092.19
6		1 915 200.00	74 745 696.00	41 110 916.30	57 324 008.50
7		1 915 200.00	74 745 696.00	37 373 560.28	94 697 568.77
8		1 915 200.00	74 745 696.00	33 975 963.89	128 673 532.66
9		1 915 200.00	74 745 696.00	30 887 239.90	159 560 772.56
10		1 915 200.00	74 745 696.00	28 079 309.00	187 640 081.56
11		1 915 200.00	74 745 696.00	25 526 644.54	213 166 726.10
12		1 915 200.00	74 745 696.00	23 206 040.49	236 372 766.60
13		1 915 200.00	74 745 696.00	21 096 400.45	257 469 167.05
14		1 915 200.00	74 745 696.00	19 178 545.86	276 647 712.91
15		1 915 200.00	74 745 696.00	17 435 041.69	294 082 754.61
16		1 915 200.00	74 745 696.00	15 850 037.90	309 932 792.51
17		1 915 200.00	74 745 696.00	14 409 125.37	324 341 917.88
18		1 915 200.00	74 745 696.00	13 099 204.88	337 441 122.75
19		1 915 200.00	74 745 696.00	11 908 368.07	349 349 490.83
20		1 915 200.00	74 745 696.00	10 825 789.16	360 175 279.98
21		1 915 200.00	74 745 696.00	9 841 626.51	370 016 906.49
22		1 915 200.00	74 745 696.00	8 946 933.19	378 963 839.68
23		1 915 200.00	74 745 696.00	8 133 575.62	387 097 415.30
24		1 915 200.00	74 745 696.00	7 394 159.66	394 491 574.96
25		1 915 200.00	74 745 696.00	6 721 963.33	401 213 538.28
26		1 915 200.00	74 745 696.00	6 110 875.75	407 324 414.04
27		1 915 200.00	74 745 696.00	5 555 341.59	412 879 755.63
28		1 915 200.00	74 745 696.00	5 050 310.54	417 930 066.17
29		1 915 200.00	74 745 696.00	4 591 191.40	422 521 257.56
30		1 915 200.00	74 745 696.00	4 173 810.36	426 695 067.93
31		1 915 200.00	74 745 696.00	3 794 373.06	430 489 440.98
32		1 915 200.00	74 745 696.00	3 449 430.05	433 938 871.03
33		1 915 200.00	74 745 696.00	3 135 845.50	437 074 716.53
34		1 915 200.00	74 745 696.00	2 850 768.64	439 925 485.17
35		1 915 200.00	74 745 696.00	2 591 607.85	442 517 093.02
36		1 915 200.00	74 745 696.00	2 356 007.14	444 873 100.16
37		1 915 200.00	74 745 696.00	2 141 824.67	447 014 924.83
38		1 915 200.00	74 745 696.00	1 947 113.34	448 962 038.17
39		1 915 200.00	74 745 696.00	1 770 103.03	450 732 141.20
40		1 915 200.00	74 745 696.00	1 609 184.58	452 341 325.78
41		1 915 200.00	74 745 696.00	1 462 895.07	453 804 220.85
<b>Valor Presente Neto</b>		<b>453 804 220.85</b>			

Como se puede observar el valor presente neto es positivo, tomando en cuenta que este análisis se realizó para una Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA) de 10 % esto se tomó debido a que en la actualidad los CETES dan un rendimiento del 9.39 % anualizado por lo cual, con base en lo anterior decidí que conveniente evaluar la alternativa con la TREMA del 10 %, para la cual resultó atractivo el proyecto de Amata, ya que se obtuvo un valor presente neto de más de 451 millones de pesos en un periodo de 40 años. En cuanto a la TIR realizando los cálculos se obtuvo un valor de 30.81 %, con lo que se considera atractivo este proyecto de inversión.

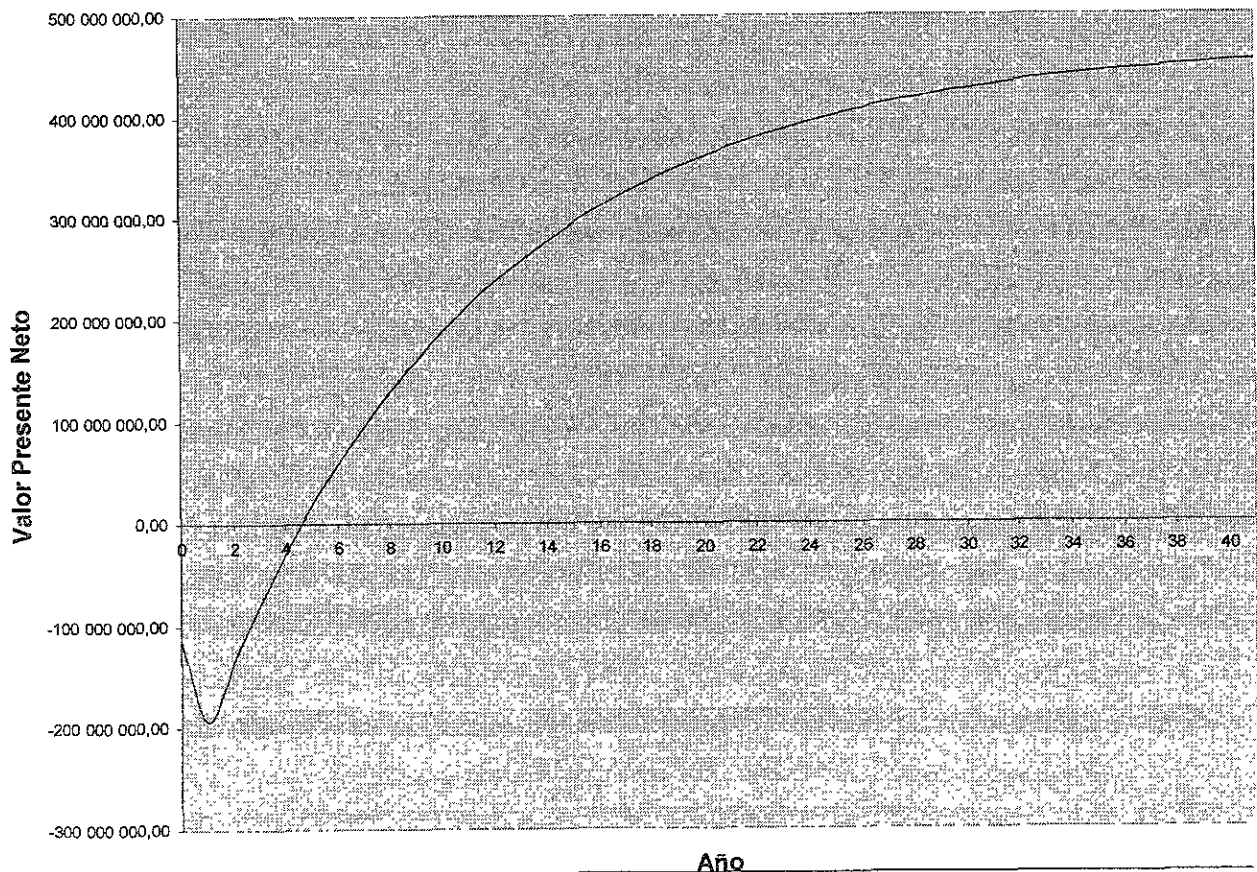
El año en que se recupera el capital, es a los cinco años y siete meses una vez iniciada la construcción del proyecto.

Por último se tiene un total del valor presente de los beneficios de 664 492 684 contra un valor presente de los costos de 210 668 463, razón por la cual se considera al proyecto con una relación de beneficio costo de 3.154 lo cual es muy atractiva.

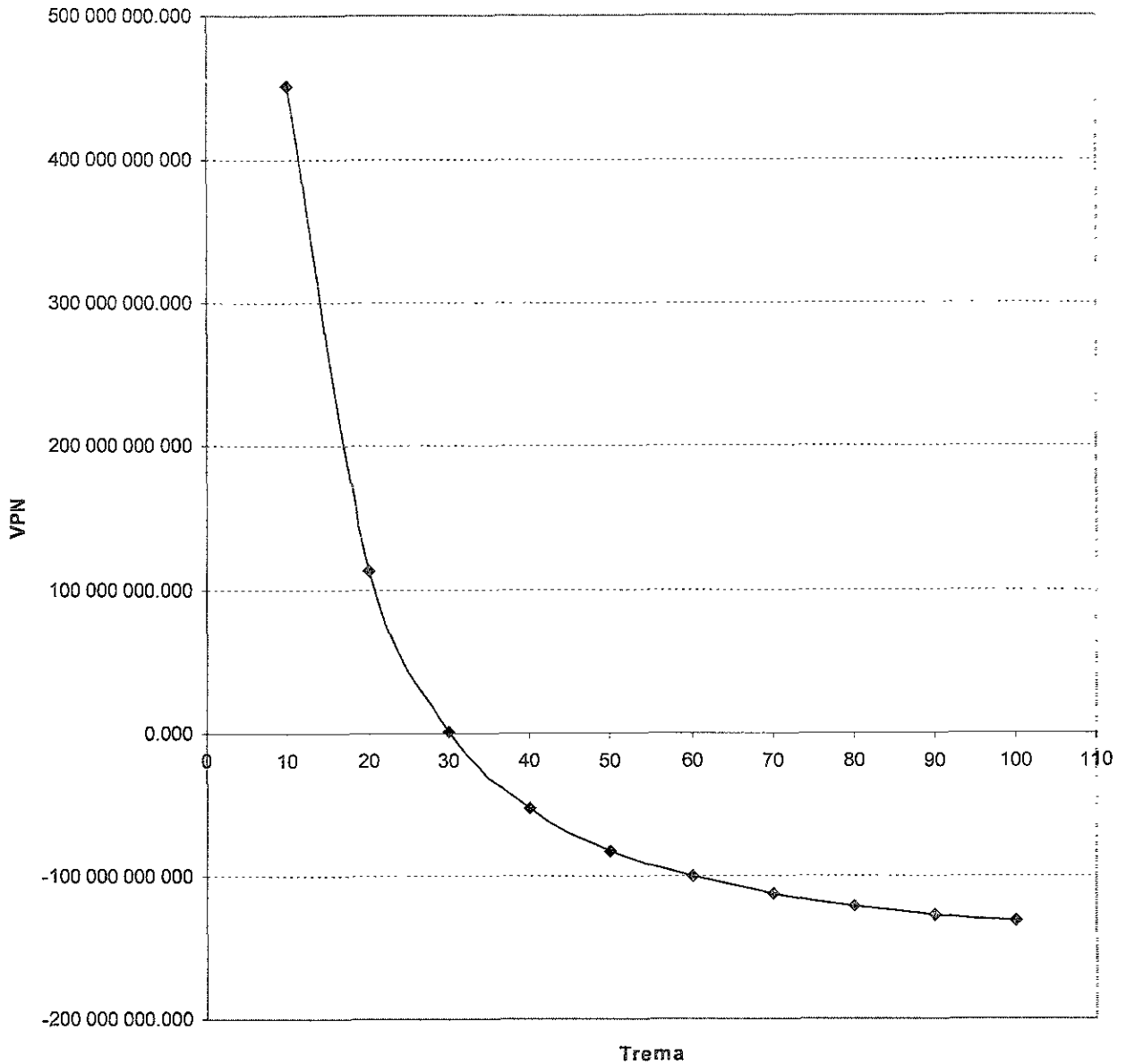
Se presenta la gráfica la cuál expone la evolución del valor presente neto, a lo largo de la vida útil del proyecto.

Por último se presentará la gráfica que relaciona el valor presente neto relacionado a distintos valores de TREMA, con la finalidad de observar el comportamiento del proyecto para distintas TREMA como un primer análisis de sensibilidad en donde se observa que ya para un TREMA de 31% el proyecto deja de ser rentable, como a continuación se podrá observar.

**Evolución de valor presente neto**



GRÁFICA DEL VALOR PRESENTE NETO PARA DISTINTAS TREMAS



#### 4.6 Conclusión

Como conclusión de este capítulo se puede establecer que debido al resultado obtenido en conjunto, todos los parámetros económicos del proyecto de la Presa reguladora en el sitio Amata son rentables, por lo cual es viable el proyecto tanto de manera económica como de manera técnica.

## 5 EVALUACIÓN ECONÓMICA EJE TULTITA

### 5.1 Introducción

En cuanto a la realización de la evaluación económica de la Presa Reguladora en el sitio Tultita, se le dará un tratamiento similar al que se estableció para el eje de Amata, agregando en este apartado un análisis, para la determinación de la dimensión de las turbinas, que se planean introducir a este proyecto, el cual servirá de presa reguladora y al mismo tiempo generará en el propio sitio, lo cual es distinto a lo que se plantea en el eje Amata, en cuanto a los parámetros establecidos para la evaluación económica se realizarán bajo las mismas premisas y con precios medios de 2 000, con lo cual se logrará uniformar criterios, para poder llevar a cabo el análisis del capítulo seis, donde se establecerá una comparación de los dos proyectos.

### 5.2 Costos

#### 5.2.1 Costos de Inversión

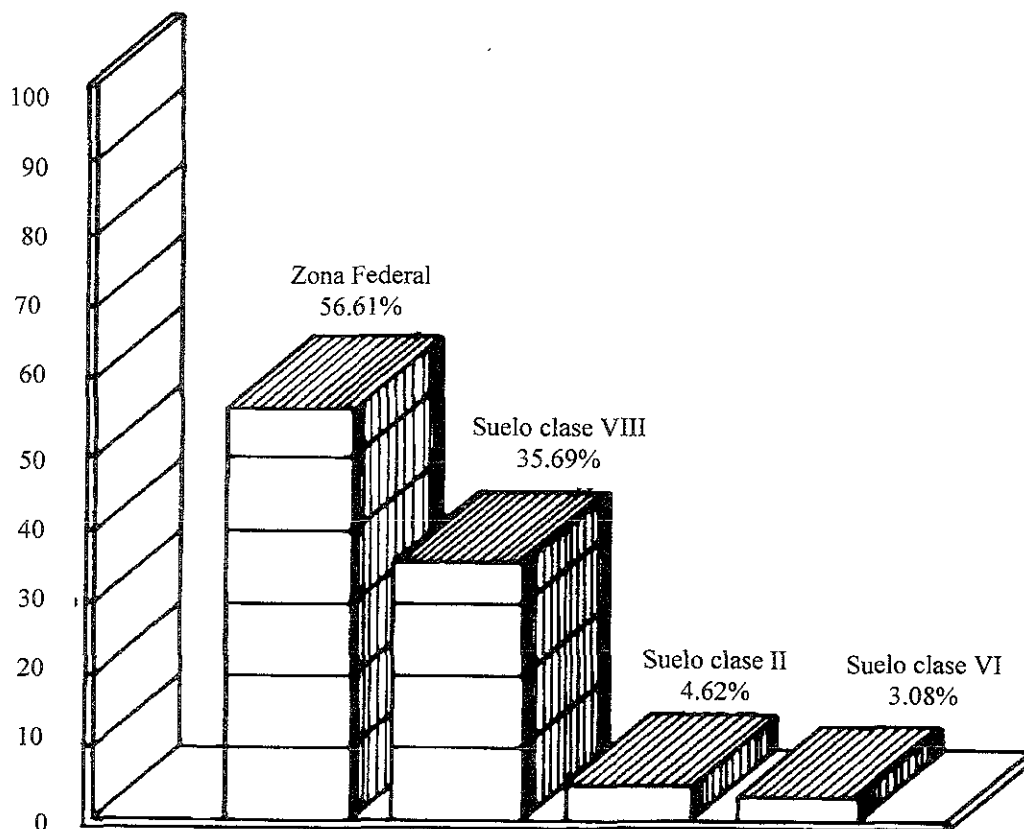
En cuanto al costo del proyecto este se definió con base en el cálculo de las volúmenes de las distintas obras que conforman el conjunto del proyecto hidroeléctrico y de regulación del sitio Tultita, con base en las obras descritas para el sitio, se llevó a cabo la volumetría citada, la cual se basa en este caso en los datos obtenidos del catálogo de conceptos y precios unitarios de obra civil para anteproyectos a nivel prefactibilidad y factibilidad.

El catálogo de conceptos está referido a precios medios del 2 000, este se basa en los análisis de precios unitarios llevados a cabo en la Gerencia de Construcción de la C.F.E. en el cual se toma en cuenta la propia experiencia que tiene la paraestatal para la realización de controles de obra de tipo hidroeléctrico, con lo cual se hace un estudio económico en el que interviene tanto la experiencia en los métodos constructivos para poder establecer rendimientos, así como desperdicios y empleo de maquinaria, con lo anterior se establecen los precios unitarios, los cuales son comparados constantemente con los precios que se cobran en la realidad, para de esta forma mantener un catálogo lo suficientemente fidedigno como para darnos un dato altamente aproximado al precio que se tendría en un mercado real, en el caso de procesos constructivos que se han dejado de utilizar o no se han llevado a cabo, se hacen comparaciones o actualizaciones de los precios y se procede a escalar los precios por medio de la consideración de las variables económicas, como el PIB en el ramo así como el índice de precios emitido por el Banco de México.

Con base en esta información y los volúmenes se procedió a realizar el presupuesto, en el cual además de considerar las obras, se tomarán en cuenta las afectaciones, que se harán a los dueños de los predios que se encuentran cercanos a la margen del río San Lorenzo, los cuales serán inundados por el vaso de regulación, que se pretende construir, como se puede ver en la gráfica de la distribución de las tierras afectadas para los dos proyectos, los que muestran la misma variación la cual se presenta en la siguiente gráfica. En cuanto a la población directamente afectada, se estableció que sólo una familia sería reubicada, ya que se tuvo como limitante no rebasar la cota 141 m.s.n.m. en el embalse, la cual inundaría el poblado de Alayá aguas arriba de la cortina, esto podría traer consigo problemas de tipo social, así como un mayor encarecimiento del proyecto al reubicar todo el poblado, razón



por la cual se decidió mantener esta limitación, incluso para la avenida máxima probable de 5 000 m<sup>3</sup>/s la cual será capaz de ser transitada por el vertedor sin necesidad de inundar el poblado de Alayá



### HECTAREAS

*Afectaciones asociadas al Proyecto Hidroeléctrico de la presa Reguladora Tultita*

Clave	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Importe total
	<b>INFRAESTRUCTURA</b>				
0.15002	Camino de construcción sin pavimentar con revestimiento provisional	km	3.00	8 651 100.78	25 953 302
0.15003	Pavimentación de camino existente, en terreno plano y lomerío suave	km	8.00	2 836 168.98	22 689 352
0.16001	Construcción del puente sobre el Río Santiago	m	20.00	776 944.43	15 538 889
	<b>Total Infraestructura</b>				<b>64 181 543</b>

<b>OBRA DE DESVÍO</b>					
<b>Ataguías</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	34 001.97	35.07	1 192 449
0.21145	Sobreacarreo en km subsecuentes al primero del material producto de excavación (al banco de desperdicio)	m <sup>3</sup> -km	68 003.94	39.12	2 660 295
0.31030	Material N impermeable para el núcleo. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y tratamiento requerido, carga, acarreo, descarga y colocación, en ataguías y cortina	m <sup>3</sup>	7 473.55	93.61	699 599
0.31031	Colocación y compactación de material N	m <sup>3</sup>	7 473.55	551.30	4 120 146
0.31035	Sobreacarreo en 1 km subsecuentes al primero del material N impermeable	m <sup>3</sup> -km	7 473.55	23.80	177 834
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	2 101.63	76.98	161 783
0.31065	Enrocamiento 5 proveniente de las excavaciones. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga y colocación en ataguía y cortina, Ø < 40 y Ø > 40 cm	m <sup>3</sup>	8 670.85	52.26	453 139
0.3105	Enrocamiento 3A proveniente de las excavaciones para los respaldos. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga, colocación en ataguía, Ø < 40 cm	m <sup>3</sup>	13 603.32	41.74	567 803
0.31055	Sobreacarreo en 1 km subsecuentes al primero del material 3A	m <sup>3</sup> -km	6 801.66	6.67	45 367
0.41155	Bombeo en exceso de 10 l/s con bomba centrífuga de Ø=4"	h	55.00	1 230.69	67 688
<b>Ataguías</b>					<b>10 146 102</b>
<b>Canal de desvío</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	15 693.25	35.07	550 362
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	592.00	76.98	45 572
0.51060	Concreto en tapón de cierre final. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	490.00	2 024.00	991 760
0.51245	Concreto en pilas del vertedor y estribos. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	224.00	2 384.00	534 016
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	704.00	9 485.93	6 678 095
0.61425	Obturador de Aguja de 4 x 3,5 para carga de 15 metros	pza	2.00	22 500.00	45 000

	<i>Canal de desvío</i>
	<b>Total de Obra de desvío</b>

<b>8 844 805</b>
<b>18 990 907</b>

<b>OBRA DE CONTENCIÓN</b>					
<b>Cortina</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	60 000.00	35.07	2 104 200
0.21007	Excavación en roca a cielo abierto en grandes masas para sección obligada	m <sup>3</sup>	21 000.00	199.75	4 194 750
0.21135	Limpia del cauce del río, para desplante de la ataguía y cortina	m <sup>3</sup>	480.00	261.77	125 650
0.21006	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en laderas	m <sup>3</sup>	1 250.00	35.07	43 838
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobreacarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	11 040.00	76.98	849 859
0.31065	Enrocamiento 5 proveniente de las excavaciones. Incluye carga en banco de almacenamiento, acarreo, descarga y colocación en ataguía y cortina, Ø < 40 y Ø > 40 cm	m <sup>3</sup>	8 050.00	52.26	420 693
0.41242	Suministro, barrenación de Ø=3", habilitación, colocación e inyección de anclas de tensión de Ø=1" en muros y 9 m de longitud	m	252.00	616.92	155 464
0.4106	Barrenación en roca de Ø=3" de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	1 200.00	261.63	313 956
0.41331	Inyección de lechada agua-cemento-bentonita para pantalla profunda	m <sup>3</sup>	7 590.00	3 131.96	23 771 576
0.5102	Concreto simple f <sub>c</sub> =200 kg/cm <sup>2</sup> en tiro directo para plantillas en túneles de desvío y plataformas. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	24 700.00	2 024.00	49 992 800
0.51100	Concreto rodillado para cortina de gravedad. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	75 000.00	1 083.29	81 246 750
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	770.00	9 485.93	7 304 166
<b>Cortina</b>					<b>170 523 702</b>

<b>Drenes</b>					
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	55.90	9 485.93	530 263
0.4106	Barrenación en roca de $\varnothing=3"$ de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	188.00	261.63	49 186
0.41171	Suministro y colocación, tubo de concreto perforado de 6" de diámetro para drenes	m	230.00	110.28	25 364
0.3104	Material 2A de aluvión para filtros. Incluye explotación en banco, carga, acarreo, descarga en el banco de almacenamiento y procesamiento requerido, carga, acarreo, descarga, colocación y sobrecarreo de 1 km	m <sup>3</sup>	637.10	76.98	49 044
<b>Drenes</b>					<b>653 858</b>
<b>Total obra de contención</b>					<b>171 177 560</b>

<b>DESARENADOR</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	1 400.00	35.07	49 098
0.51245	Concreto en pilas del vertedor y estribos. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	165.60	2 384.00	394 790
0.51015	Concreto simple $f_c=200$ kg/cm <sup>2</sup> para plantillas	m <sup>3</sup>	156.00	1 391.77	217 116
0.51035	Concreto simple $f_c=200$ kg/cm <sup>2</sup> en muros	m <sup>3</sup>	1 008.00	2 384.00	2 403 072
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	86.00	9 485.93	815 790
<b>Total obra civil desarenador</b>					<b>3 879 867</b>
0.60225	Compuerta tipo radial de 3,0 m de ancho, 3,5 m de altura de cada elemento, 14,5 m de carga máxima hidrostática, Incluye mecanismo de izaje transporte y colocación	Pieza	2.00	1 210 221.00	2 420 442
0.60230	Compuerta tipo Aguja (obturador) de 3,5 m de ancho, 1,5 m de altura de cada elemento, 14,5 m de carga máxima hidrostática. Incluye las guías y el mecanismo de izaje transporte y colocación	Pieza	1.00	1 326 402.19	1 326 402
<b>Total Equipos mecánicos desarenador</b>					<b>3 746 844</b>
<b>Total Desarenador</b>					<b>7 626 711</b>

<b>PLANTA HIDROELÉCTRICA</b>					
0.21005	Excavación a cielo abierto en cualquier clase de material, en grandes masas	m <sup>3</sup>	7 315.00	35.07	256 537
0.21007	Excavación en roca a cielo abierto en grandes masas para sección obligada	m <sup>3</sup>	1 644.50	199.75	328 489
0.51258	Concreto para muros de protección	m <sup>3</sup>	646.00	1 056.05	682 208
0.51105	Concreto para cortina de gravedad maciza	m <sup>3</sup>	1 547.00	1 526.68	2 361 774
0.51120	Concreto en las estructuras de compuertas en obra de toma. (trabes y columnas)	m <sup>3</sup>	51.17	2 384.00	121 992
0.51125	Concreto en la estructura de rejillas, incluye todos los concretos de las estructuras alojadas en el talud.	m <sup>3</sup>	46.10	2 384.00	109 902
0.5115	Concreto en losas de casa de máquinas	m <sup>3</sup>	76.63	2 384.00	182 686
0.51165	Concreto en primeros colados de casa de máquinas subterránea.	m <sup>3</sup>	65.00	2 024.00	131 560
0.51170	Concreto en carcasas y conductos de obra de toma	m <sup>3</sup>	453.00	2 384.00	1 079 952
0.51265	Concreto en puente de maniobras. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	6.00	4 097.18	24 583
0.51175	Concreto en muros de casa de máquinas exterior.	m <sup>3</sup>	88.80	4 315.00	383 172
0.51015	Concreto simple f'c=200 kg/cm <sup>2</sup> para plantillas	m <sup>3</sup>	46.05	1 391.77	64 097
0.51176	Concreto para columnas y trabes en casa de máquinas exterior. Incluye cemento	m <sup>3</sup>	13.48	2 609.48	35 176
0.51215	Concreto en losas de piso de obra de toma.	m <sup>3</sup>	54.33	2 024.00	109 964
0.4106	Barrenación en roca de Ø=3" de 0 a 15 m de longitud, para drenar taludes	m	42.00	261.63	10 988
0.41267	Barrenación, habilitación, colocación e inyección de anclas de tensión de varilla corrugada de Ø=1", en muros hasta 9 m	m	408.00	531.83	216 987
0.51326	Suministro, habilitación y colocación de acero de refuerzo	t	179.96	9 485.93	1 707 088
0.41417	Acero Estructural, montaje colocación y anticorrosivo	kg	36 000.00	22.00	792 000
0.41173	Suministro y colocación de tubería de PVC de Ø=6"	m	65.00	324.35	21 083
	<b>Total de obra civil planta hidroeléctrica</b>				<b>8 599 155</b>

0.61115	Turbinas tipo Bulbo con gasto de diseño de 14.26 m <sup>3</sup> /s y potencia de 1218,27 kW incluye traslado colocación y montaje (incluye generador)	Pieza	2.00	18 428 662.29	36 857 325
0.61125	Costo de equipos auxiliares de turbina bulbo	Pieza	2.00	1 705 839.45	3 411 679
0.6123	Compuerta deslizante de 3,5 x 3,5 con carga máxima de 14 metros incluye dispositivos de cierre transportación y montaje	Pieza	2.00	2 050 320.25	4 100 641
0.60230	Compuerta tipo Aguja (obturador) de 3,5 m de ancho, 1,5 m de altura de cada elemento, 14,0 m de carga máxima hidrostática. Incluye las guías y el mecanismo de izaje transporte y colocación	Pieza	2.00	1 226 142.00	2 452 284
0.62151	Grúa Pórtico de capacidad de 20 ton incluye transporte construcción y colocación	Pieza	1.00	907 790.00	907 790
0.62101	Grúa viajera en casa de máquinas	Pieza	1.00	725 756.00	725 756
	<b>Total obra electromecánica de la planta hidroeléctrica</b>				<b>48 455 474</b>
0.7111	Subestacion Eléctrica para conectar a 230 kW	Conjunto	1.00	3 473 425.00	3 473 425
	<b>Total Subestación eléctrica</b>				<b>3 473 425</b>
	<b>Total Planta hidroeléctrica</b>				<b>60 528 054</b>

	<b>AFECTACIONES</b>				
	Bienes Inmuebles	lote	1.00	63 496.12	63 496
	Tierras afectadas	lote	1.00	854 315.00	854 315
	Vías de comunicación	lote	1.00	191 264.28	191 264
	<b>Total de Afectaciones</b>				<b>1 109 075</b>

<b>Total</b>	<b>323 613 850</b>
--------------	--------------------

Resumen	
	Precios totales en pesos
<b>Obra Civil</b>	
Infraestructura	64 181 543
Obra de desvío	18 990 907
Obra de Contención	171 177 560
Desarenador	3 879 867
Central Hidroeléctrica	8 599 155
Afectaciones	1 109 075
<b>Total Obra Civil</b>	<b>267 938 107</b>
<b>Equipo Electromecánico</b>	
Desarenador	3 746 844
Central Hidroeléctrica	51 928 899
<b>Total Equipo Electromecánico</b>	<b>55 675 743</b>
<b>Total Tultita</b>	<b>323 613 850</b>

### *5.2.2 Costos de Mantenimiento y Operación*

Se considerarán los mismos que se tomaron en cuenta para la presa reguladora en el eje Amata, más los que se deriven tanto del mantenimiento como del uso del agua, asociado a la generación propia de la central hidroeléctrica en este eje.

El proceso para establecer estos costos se estableció con base en la información proporcionada por la gerencia de operación de la C.F.E., ya que al ser esta la encargada de la operación y el mantenimiento de las 73 centrales hidroeléctricas que en conjunto suman 9 618 MW instalados, tiene la experiencia suficiente para poder establecer un estimado de los datos históricos de los gastos realizados en estos rubros, con base en los datos proporcionados por esta gerencia se establecieron parámetros medios, para establecer un aproximado de la relación que se tiene entre el costo fijo de operación, la Generación Media Anual, el número de unidades y la potencia, con lo cual aplicados a un programa denominado equipo 2 000 este contiene las variables, que nos reportan los desembolsos asociados al mantenimiento y la operación, quedando pendiente solo el costo que cobra la C.N.A. por el uso del agua, el que se toma en cuenta con el fin de plasmar de manera mas precisa las variables económicas , aunque en sí no afecta los resultados de manera sensible.

### *5.3 Programa de Obra*

Como se expresó en el capítulo anterior en cuanto al programa de obra, se estableció que las obras que comprenden la infraestructura necesaria para comenzar los trabajos de construcción las realizará la C.F.E. directamente, por lo que se consideró un tiempo de tres meses entre los que se establecen los acuerdos y firmas de contrato para el resto de la obra, la cual normalmente la realizará una empresa externa a C.F.E., razón por lo cual se estableció este criterio, el cual se tratará de mitigar en dado caso que se lleve a cabo el proyecto, por lo cual con eso se puede decir que en cuanto al programa propuesto este se podría considerar que esta cubierto para cualquier atraso, debido a dificultades que se presenten en la obra, al mismo tiempo se trataron de llevar todas las actividades lo más cercano al final de la construcción del proyecto en la medida de lo posible, con el fin de desembolsar lo más posible del costo total del proyecto cercano a la puesta en marcha, con el fin de abatir un poco el costo de inversión del proyecto al pasar al segundo año de construcción una cantidad mayor de la inversión, la cual se afecta como se puede ver en la tabla del valor presente neto, con lo cual los parámetros económicos que se obtengan serán más favorables.

A continuación se presenta el programa de obra obtenido con base en las cantidades de obra y los rendimientos de cada una de las actividades, con base en la experiencia del departamento de construcción de la C.F.E.

Programa de Obra Presa Reguladora Tultita Sinaloa

OBRA	CONCEPTO	AÑO 1												AÑO 2											
		E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Infraestructura	OBRA CIVIL																								
	Camino de acceso																								
	Camino de Construcción																								
	Campamento, almacén, talleres, y oficinas																								
Obra de Desvío	Excavación																								
	Concretos																								
	Ataguías incluyendo pantalla impermeable																								
Desarenador	Excavación																								
	Concretos																								
	Estructuras de control																								
Obra de Contención	Limpia y Excavación																								
	Tratamiento de la cimentación																								
	Cortina																								
Central Hidroeléctrica	Excavación																								
	Concretos																								
	Casa de maquinas																								
Afectaciones	Restitución de los bienes inmuebles																								
	Restitución de las tierras afectadas																								
	Restitución de las vías de comunicación																								
Desarenador Central Hidroeléctrica	OBRA ELECTROMECANICA																								
	Compuertas: fabricación montaje y transporte																								
	Compuertas: fabricación montaje y transporte																								
Central Hidroeléctrica	Turbinas y equipos auxiliares, fab., mon. y trans.																								
	Subestación																								



A continuación se presenta el flujo de efectivo del proyecto de la presa reguladora en el sitio Tultita

Enero	15 229 398
Febrero	15 229 398
Marzo	33 722 747
Abril	1 952 131
Mayo	1 952 131
Junio	1 952 131
Julio	6 400 809
Agosto	7 398 535
Septiembre	7 398 535
Octubre	4 274 840
Noviembre	4 299 389
Diciembre	3 439 897
<b>Primer Año</b>	<b>103 249 942</b>

Enero	4 112 419
Febrero	7 137 255
Marzo	14 473 195
Abril	14 473 195
Mayo	19 792 079
Junio	19 792 079
Julio	21 805 822
Agosto	23 992 650
Septiembre	24 206 228
Octubre	21 982 805
Noviembre	22 110 185
Diciembre	26 485 993
<b>Segundo Año</b>	<b>220 363 907</b>

#### 5.4 Análisis de capacidad y número de unidades Bulbo óptimo

##### 5.4.1 Capacidad

Con base en un estudio previo en el cual se determinó realizar el análisis para turbinas, se llegó a la propuesta de una turbina Kaplan de 3.4 MW con un gasto de 40 m<sup>3</sup>/s, lo anterior resultó no ser conveniente para este estudio, ya que no se consideró que el rango para que sea operable una turbina de este tipo con respecto a su gasto de diseño oscila en tablas de operación entre un 95% a un 107% de variación, lo cual no permite mucha flexibilidad como lo tienen las turbinas tipo Francis, debido a lo anterior con el gasto propuesto de 40 m<sup>3</sup>/s se produce una generación de 18.82 GWh al año, los cuales son secundarios, ya que acarrea el mismo problema que actualmente le sucede a Comedero, es decir se presentan gastos inferiores al 95% de 40 m<sup>3</sup>/s (mínimo) que acepta como límite la turbina Kaplan para su funcionamiento, una cantidad de veces mayor al 95% de las ocasiones, con base en esto se pudo observar que con este gasto para una sola unidad o uno mayor, solamente se produciría energía secundaria heredando el 100 por ciento de problema de la central hidroeléctrica de Comedero, la cual funciona con el gasto mínimo de 30 m<sup>3</sup>/s cada una de

las dos unidades, esto trasladaría el problema de la ineficiencia de generación de Comedero hacia Tultita

Llevando a cabo un funcionamiento de vaso se obtuvo que bajo estas condiciones de gasto de diseño la energía que se produciría debería ser totalmente secundaria, razón por lo que se decidió tratar de encontrar el gasto máximo que se asegurará para un 95% de las ocurrencias en el periodo de vida útil de la obra, para lo anterior se utilizó la matriz de escurrimientos que ya se tenía, con la consideración de la restricción de la demanda de la política de extracciones para riego, para establecer el máximo gasto para producir energía firme, ya que en la actualidad debido al gasto que requieren como mínimo las unidades de Comedero aun un poco menor que el que se proponía inicialmente para Tultita existen varios años en los cuales no se puede producir nada de energía y todo este gasto se vierte por la toma de riego como ya se analizó en el Capítulo 2 tomando estas consideraciones y realizando el análisis de lo anterior, se estableció el gasto que nos representa el 95 % de las veces que se asegura como mínimo, se necesita para considerar como energía firme este gasto, con lo cual podremos considerar que esta turbina generará energía firme con un factor de planta 1, es decir la planta trabajaría las 24 horas del día de manera paralela a los requerimientos del distrito de riego.

Como el estudio fue realizado con base en la matriz de escurrimientos de la estación Santa Cruz, de los cuales se obtuvo el escurrimiento medio anual, el cual resulta ser de 1 641 millones de metros cúbicos con una desviación estándar de 690 metros cúbicos, se llevo a cabo el ajuste de los datos de la matriz a un paquete que tiene la virtud, de ajustar los datos proporcionados a distintas funciones de probabilidad, en el se observó que las funciones mas apegadas a la matriz fueron la distribución normal, así como la distribución gama, con lo cual se estableció utilizar ambas y sacar un promedio de los dos resultados de las distribuciones, los cuales nos permiten obtener un intervalo de confianza del 95 %, el cual fue tomado para cada uno de los resultados.

El volumen necesario mínimo anual resulto ser de 928.5 millones de metros cúbicos, de los cuales se llevo a cabo una distribución proporcional de las demandas de riego que solicitó la C.N.A. con estos una vez hecha la distribución del volumen anual en cada uno de los meses, sacando la proporción de la política de riego, se establecieron los volúmenes mensual medio los cuales son los siguientes:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
88.73	88.48	98.43	91.70	92.13	91.85	49.65	36.62	48.18	73.08	89.85	79.80

Con base en lo anterior se transformaron los volúmenes en gastos demandados, los cuales se transformaron al equivalente en gasto en un lapso de 24 horas, lo cual dio como resultado los siguientes gasto diarios medios mensuales:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
33.13	36.57	36.75	35.38	34.40	35.43	18.53	<b>13.67</b>	18.58	27.28	34.66	29.80

Como se puede ver en la tabla el gasto buscado es de 13.67 m<sup>3</sup>/s que al dividirlo por el rango mínimo de diseño de las turbinas Bulbo que es igual a las del tipo Kaplan de 95%, en el cual una turbina bulbo puede operar, en comparación del gasto de diseño, como resultado se obtiene un gasto de 14.39 m<sup>3</sup>/s con lo cual se estableció el diseño de la turbina este por conveniencia se adapto a 14.20 m<sup>3</sup>/s para obtener una turbina estandarizada, la cual fue presentada en el Capítulo 3.

Acerca de los beneficios extras que proporciona esta obra, se debe agregar el análisis de la generación por medio de estas turbinas, de las cuales se hace la comparación de un análisis previo de la generación por medio de turbinas Kaplan planeadas para un gasto de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , cada una de las cuales, se puede fácilmente observar como es más rentable la colocación de las turbinas bulbo, de las cuales se necesitará un menor gasto con lo cual se asegurará la energía firme en el eje Tultita.

	Carga Diseño M	Gasto $\text{m}^3/\text{s}$	Potencia kW	Generación GWh
Enero	10	14.12	1200.25	0.89
Febrero	10	14.12	1200.25	0.81
Marzo	10	14.12	1200.25	0.89
Abril	10	14.12	1200.25	0.86
Mayo	10	14.12	1200.25	0.89
Junio	10	14.12	1200.25	0.86
Julio	10	14.12	1200.25	0.89
Agosto	10	14.12	1200.25	0.89
Septiembre	10	14.12	1200.25	0.86
Octubre	10	14.12	1200.25	0.89
Noviembre	10	14.12	1200.25	0.86
Diciembre	10	14.12	1200.25	0.89
<b>Total</b>			<b>10.514</b>	

*Propuesta de generación firme con turbina Bulbo*

	Carga Diseño M	Gasto $\text{m}^3/\text{s}$	Potencia kW	Generación GWh
Enero	10	40	3400.15	2.0
Febrero	10	40	3400.15	1.7
Marzo	10	40	3400.15	2.1
Abril	10	40	3400.15	2.0
Mayo	10	40	3400.15	2.1
Junio	10	40	3400.15	2.0
Julio	10	40	3400.15	0.8
Agosto	10	40	3400.15	0.2
Septiembre	10	40	3400.15	0.7
Octubre	10	40	3400.15	1.7
Noviembre	10	40	3400.15	2.0
Diciembre	10	40	3400.15	1.7
<b>Total</b>			<b>18.824</b>	

*Propuesta de generación con gasto de diseño para la máquina de  $40 \text{ m}^3/\text{s}$*

Con base en lo anterior se puede establecer que si el costo de la energía secundaria es de 0.3426 el de la energía firme en tiempo base es de 0.4994 y por último el costo que se paga por la energía pico es de 1.0805 todos ellos pesos por kWh, se puede establecer que si en el primer caso el costo promedio es de .5963 si se considera que al funcionar 24 horas se

tendrá una generación firme pico en 1/6 del día es decir en 4 horas y el resto será de tipo base, se obtiene el valor de .5963, que sería el costo promedio de nuestra energía.

Por último si se compara el precio de la energía secundaria, al cual pertenece el segundo caso y se compara con el costo que se paga en el primer análisis, se puede observar en la operación  $.5963/3426$  que la energía de la primera es 1.74 veces más valiosa que la segunda, por lo cual para poder compararlas se multiplica la primera por este factor es decir:

$10.514 \times 1.74 = 18.29$  GWh equivalentes en energía secundaria, con lo anterior si se compara al segundo resultado el cual fue de 18.824 GWh se puede observar que conviene más la primera opción, ya que proporciona prácticamente los mismos beneficios, además que el costo de la primera turbina es menor al tener una potencia de 1.2 MW en comparación de la segunda que sería de 3.4 MW con los resultados de este estudio, no es necesario hacer un análisis más profundo, al ver de entrada que la turbina mas barata produce prácticamente los mismos beneficios que una turbina que prácticamente le triplica su potencia, por lo que se decidió utilizar las turbinas bulbo con menor potencia.

A continuación se hará el análisis para considerar cuantas máquinas conviene instalar.

#### 5.4.2 Numero de Máquinas

Para llevar a cabo el análisis del número de unidades una vez obtenido el gasto, el cual se realizó con la finalidad de obtener energía firme para el gasto con el cual funcionará una máquina que producirá esta energía.

Se puede establecer que las turbinas serán de las mismas dimensiones que la primera propuesta, tomando en cuenta esta consideración, se tiene la ventaja de que tendrán los mismos diseños, además que al ser idénticas tendrán las mismas refacciones, razón por la cual conviene en gran medida establecer este criterio.

Para el análisis subsecuente de las demás turbinas se toma en cuenta que con base en la matriz de escurrimientos se considera la simulación, en esta se introduce proporcionalmente la política de operación de riego dependiendo de la cantidad de escurrimiento anual que se tenga y con base en lo anterior se divide proporcionalmente el volumen que se convierte a gasto medio mensual convertido en gasto diario, una vez lo anterior se restringe al gasto de la operación a un gasto mayor o igual a la suma de los dos gastos, en caso que se de la condición de manera favorable se toma la generación producida por las dos turbinas, esto se hace iterativamente hasta los 50 años que se tienen de datos, con lo cual al final de lo anterior se saca un promedio, el que se toma como la generación de las dos unidades, con base en lo anterior se obtiene la generación firme incluida, que ya se obtuvo en el primer análisis la cual se le resta al total, obtenido la energía que será en su totalidad secundaria ya que según el análisis que se llevo a cabo para la primera máquina, la energía subsecuente será secundaria, el análisis realizado de esta manera se realizó para distintas alternativas que fueron desde una máquina hasta la consideración de agregar cuatro máquinas.

Del inciso anterior se obtuvo el análisis para una unidad bulbo, con la tabla de generación firme a continuación se presenta lo referente a las demás opciones:

Alternativa 2 unidades	Carga Diseño M	Gasto total m <sup>3</sup> /s	Potencia KW	Generación GWh
Enero	10	28.24	2400.50	1.68
Febrero	10	28.24	2400.50	1.52
Marzo	10	28.24	2400.50	1.71
Abril	10	28.24	2400.50	1.62
Mayo	10	28.24	2400.50	1.68
Junio	10	28.24	2400.50	1.62
Julio	10	28.24	2400.50	1.45
Agosto	10	28.24	2400.50	1.21
Septiembre	10	28.24	2400.50	1.40
Octubre	10	28.24	2400.50	1.63
Noviembre	10	28.24	2400.50	1.62
Diciembre	10	28.24	2400.50	1.64
<b>Total</b>			<b>18.781</b>	

*Alternativa para 2 unidades Bulbo*

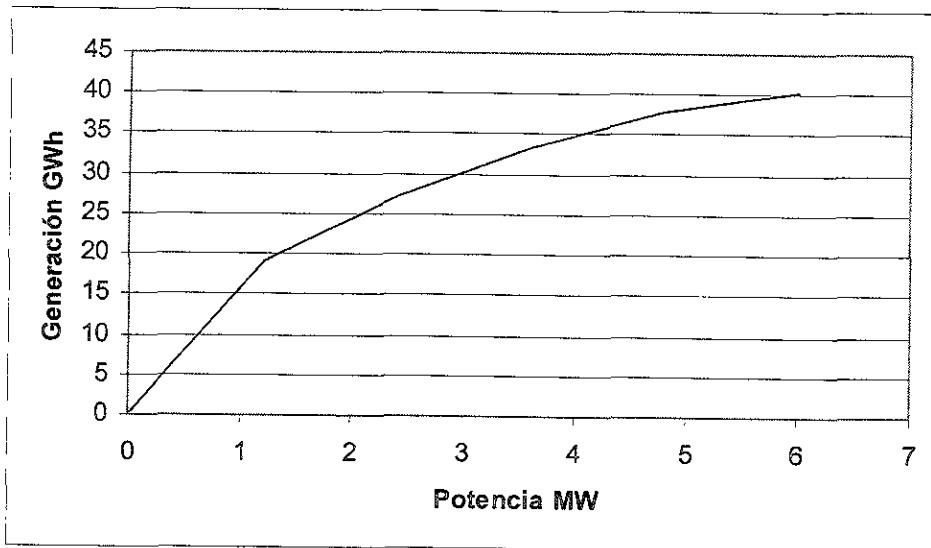
Alternativa 3 unidades	Carga Diseño M	Gasto total m <sup>3</sup> /s	Potencia KW	Generación GWh
Enero	10	42.36	3600.75	2.32
Febrero	10	42.36	3600.75	2.10
Marzo	10	42.36	3600.75	2.44
Abril	10	42.36	3600.75	2.27
Mayo	10	42.36	3600.75	2.36
Junio	10	42.36	3600.75	2.27
Julio	10	42.36	3600.75	1.64
Agosto	10	42.36	3600.75	1.27
Septiembre	10	42.36	3600.75	1.57
Octubre	10	42.36	3600.75	2.18
Noviembre	10	42.36	3600.75	2.24
Diciembre	10	42.36	3600.75	2.23
<b>Total</b>			<b>24.898</b>	

*Alternativa para 3 unidades bulbo*

Alternativa 4 unidades	Carga Diseño M	Gasto total m <sup>3</sup> /s	Potencia KW	Generación GWh
Enero	10	56.48	4801.00	2.84
Febrero	10	56.48	4801.00	2.57
Marzo	10	56.48	4801.00	3.00
Abril	10	56.48	4801.00	2.81
Mayo	10	56.48	4801.00	2.91
Junio	10	56.48	4801.00	2.81
Julio	10	56.48	4801.00	1.70
Agosto	10	56.48	4801.00	1.29
Septiembre	10	56.48	4801.00	1.60
Octubre	10	56.48	4801.00	2.50
Noviembre	10	56.48	4801.00	2.74
Diciembre	10	56.48	4801.00	2.59
<b>Total</b>			<b>29.335</b>	

*Alternativa para 4 unidades bulbo*

Con lo anterior se estableció una gráfica para representar la potencia instalada, en comparación de la generación producida, esto con la finalidad de establecer el cambio de pendiente, para definir lo más conveniente en cuanto a la relación potencia generación, con lo cual se determinará el número de unidades, cabe mencionar que para el caso de una unidad se establece la conversión de generación firme a secundaria para que el análisis sea realmente objetivo, con base en este parámetro se establece la gráfica que se presenta abajo.



*Gráfica de la relación Potencia Generación*

Como se puede observar el cambio de pendiente de mayor a menor se da a partir de la potencia de 1.2 MW, razón por la cual si sólo se considera este parámetro, se establece que lo ideal es tener una potencia de 1.2 MW lo que se traduce en nuestro estudio a una turbina. Aunque con base en lo establecido anteriormente donde se expusieron las ventajas de tener los mismos equipos, decidí que era más conveniente considerar dos equipos de esta capacidad, con la finalidad de proteger al proyecto, en el caso de que se encuentre en etapa de mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, con lo cual entrando una de estas unidades fuera de servicio, se contará con la otra que garantizará la energía de este proyecto, ya que se alternarán para mantenimiento las máquinas con esto se asegurará el abasto de energía firme.

Tomando en consideración lo anterior, es conviene tener las dos maquinas con el fin de mitigar todas las posibles salidas del sistema, debido a que al final de la vida útil si se hace el recuento de la falta de energía por mantenimiento, sería considerable el número de horas totales, razón por la cual es recomendable hacerlo de esta manera, además que aun se puede contar con energía esta podría ser útil para los distritos de riego aguas abajo. Considerando que para las necesidades de energía eléctrica de los equipos de bombeo, se requiere de manera proporcional al gasto que corre aguas abajo después de la reguladora hacia el distrito de riego, se podría hacer un análisis para brindar este beneficio, debido a que los que operan los distritos necesitan mas energía eléctrica en forma paralela a la que operarían las turbinas de Tultita, ya que se tendría agua en los canales proveniente de la obra de toma de generación, con base en lo anterior quizás se podría llegar a un arreglo para vender la energía a los agricultores, esto será beneficioso para las dos partes, ya que ellos la utilizarán

cuando se demande mas energía para sus equipos de riego, con lo cual se podrá dar una ayuda extra interesante para la propia C.N.A., así como para el Gobierno del estado de Sinaloa, debido a lo anterior se podrá ayudar a mejorar la producción del campo Sinaloense.

### 5.5 Beneficios

Es claro que además de la energía que producirá la propia presa reguladora, no se debe perder de vista que la función original es llevar a cabo la regulación diaria de la presa Comedero, con lo cual se producirá energía asociada a la presa reguladora, ya que en la actualidad la presa Comedero no funciona de manera adecuada, como se estableció en los Capítulos anteriores, en donde se dedujo que se tendrá una generación adicional total de 32.34 GWh anuales extras además que se transformaran 86.28 GWh de energía secundaria, en energía firme en hora pico lo cual eleva en gran parte los beneficios.

En conclusión si se suma lo anterior es decir lo generado en la propia presa, a los beneficios que dará a la Presa Comedero debido a la regulación, se obtiene los beneficios como se muestra a continuación en la tabla resumen:

Beneficios anuales de la propuesta de regulación en el eje Tultita

Beneficios por la Regulación de Comedero		Energía en GWh	Costo kWh en pesos 2000	Ganancia en pesos de 2000
Energía firme	Pico	86.28	1.0805	93 225 540
	Base	0.00	.4994	0
Energía Secundaria		-53.94	.3426	-18 479 844
<b>Sub total</b>				<b>74 745 696</b>
Beneficios por Generación Tultita				
Energía firme	Pico	1.75	1.0805	1 890 875
	Base	8.76	.4994	4 374 774
Energía Secundaria		8.27	.3426	2 833 302
<b>Sub total</b>				<b>9 098 951</b>
<b>Total</b>				<b>83 844 647</b>

Como se puede ver los beneficios de la presa reguladora y de generación en el eje Tultita son considerables con lo cual se realizará el análisis económico de esta alternativa

### 5.6 Evaluación Económica

A continuación se calculan los diversos parámetros económicos que nos permitirán establecer si nuestro proyecto es rentable, tomando en cuenta las mismas consideraciones que se establecieron en el capítulo cuatro, es decir se establecerán los valores del Valor Presente Neto, la relación Beneficio Costo, la Tasa Interna de Retorno, así como el año de Recuperación del Capital, que en conjunto definirán si el proyecto es atractivo.

En cuanto al valor presente neto se tomó en consideración lo establecido en el capítulo cuatro dentro de la misma sección, esto es con el afán de no ser iterativo en lo referente a cada uno de los parámetros económicos, los cuales se tomarán con el mismo criterio, modificando sólo los valores obtenidos para el proyecto de la presa reguladora en el sitio

Tultita, con la inclusión de sus características tanto de costos como de beneficio que aquí se plantearon.

En la siguiente tabla se mostrarán los beneficios y los costos que se obtuvieron en las secciones precedentes de este capítulo, cabe mencionar que se tomaron los precios medios del 2 000 tanto para los beneficios como para la parte de los costos, los cuales se evaluaron considerando una TREMA de 10%, con lo cual se tienen los mismos parámetros que se establecieron para el proyecto en el sitio Amata, con el fin de ser congruentes y sentar las bases para el capítulo siguiente en donde se compararán las dos alternativas.

De la misma forma se puede observar en el segundo renglon el gasto de la inversión en el segundo año de construcción (año uno en la tabla), la ventaja de llevar el flujo de efectivo lo mas pegado al inicio de operación del proyecto, ya que el valor actualizado de 220 millones en el primer periodo posterior al periodo donde se actualizan los flujos es de 200 millones con lo cual se obtiene un ahorro de 20 millones de pesos, comprobando la bondad de lo explicado, en la parte del programa de obra.



Año	Inversión	Gastos de Oper y Mant	Beneficios	Valor Actualizado	Valor Acumulado
0	103 249 242.00	0.00	0.00	-103 249 242.00	-103 249 242.00
1	220 363 907.00	0.00	0.00	-200 330 824.55	-303 580 066.55
2		2 455 973.28	83 844 647.00	67 263 366.71	-236 316 699.83
3		2 455 973.28	83 844 647.00	61 148 515.19	-175 168 184.64
4		2 455 973.28	83 844 647.00	55 589 559.27	-119 578 625.38
5		2 455 973.28	83 844 647.00	50 535 962.97	-69 042 662.41
6		2 455 973.28	83 844 647.00	45 941 784.52	-23 100 877.89
7		2 455 973.28	83 844 647.00	41 765 258.65	18 664 380.76
8		2 455 973.28	83 844 647.00	37 968 416.96	56 632 797.71
9		2 455 973.28	83 844 647.00	34 516 742.69	91 149 540.40
10		2 455 973.28	83 844 647.00	31 378 856.99	122 528 397.39
11		2 455 973.28	83 844 647.00	28 526 233.63	151 054 631.02
12		2 455 973.28	83 844 647.00	25 932 939.66	176 987 570.68
13		2 455 973.28	83 844 647.00	23 575 399.69	200 562 970.37
14		2 455 973.28	83 844 647.00	21 432 181.54	221 995 151.90
15		2 455 973.28	83 844 647.00	19 483 801.40	241 478 953.30
16		2 455 973.28	83 844 647.00	17 712 546.72	259 191 500.02
17		2 455 973.28	83 844 647.00	16 102 315.20	275 293 815.23
18		2 455 973.28	83 844 647.00	14 638 468.37	289 932 283.60
19		2 455 973.28	83 844 647.00	13 307 698.52	303 239 982.11
20		2 455 973.28	83 844 647.00	12 097 907.74	315 337 889.85
21		2 455 973.28	83 844 647.00	10 998 097.95	326 335 987.80
22		2 455 973.28	83 844 647.00	9 998 270.86	336 334 258.66
23		2 455 973.28	83 844 647.00	9 089 337.15	345 423 595.81
24		2 455 973.28	83 844 647.00	8 263 033.77	353 686 629.58
25		2 455 973.28	83 844 647.00	7 511 848.88	361 198 478.46
26		2 455 973.28	83 844 647.00	6 828 953.53	368 027 431.99
27		2 455 973.28	83 844 647.00	6 208 139.57	374 235 571.56
28		2 455 973.28	83 844 647.00	5 643 763.25	379 879 334.81
29		2 455 973.28	83 844 647.00	5 130 693.86	385 010 028.67
30		2 455 973.28	83 844 647.00	4 664 267.15	389 674 295.81
31		2 455 973.28	83 844 647.00	4 240 242.86	393 914 538.67
32		2 455 973.28	83 844 647.00	3 854 766.24	397 769 304.91
33		2 455 973.28	83 844 647.00	3 504 332.94	401 273 637.85
34		2 455 973.28	83 844 647.00	3 185 757.22	404 459 395.07
35		2 455 973.28	83 844 647.00	2 896 142.93	407 355 538.00
36		2 455 973.28	83 844 647.00	2 632 857.21	409 988 395.21
37		2 455 973.28	83 844 647.00	2 393 506.55	412 381 901.76
38		2 455 973.28	83 844 647.00	2 175 915.05	414 557 816.80
39		2 455 973.28	83 844 647.00	1 978 104.59	416 535 921.39
40		2 455 973.28	83 844 647.00	1 798 276.90	418 334 198.29
41		2 455 973.28	83 844 647.00	1 634 797.18	419 968 995.47
<b>Valor Presente Neto*</b>		<b>419 968 995.47</b>	<b>* Precios medios de 2000</b>		

*Tabla donde se obtiene el parámetro económico del Valor Presente Neto*

### 5.6.1 Valor Presente Neto

De lo anterior se obtuvo que el valor presente de este proyecto es 419 968 995 M.N., positivos con lo cual se establece que este parámetro es favorable, con una TREMA como en el caso de Amata donde se consideró de un 10%.

### 5.6.2 Tasa interna de retorno

En cuanto a la tasa interna de retorno esta resultó tener un valor de 23.40% por lo cual el proyecto es atractivo en cuanto a la parte financiera.

### 5.6.3 Año de recuperación de capital

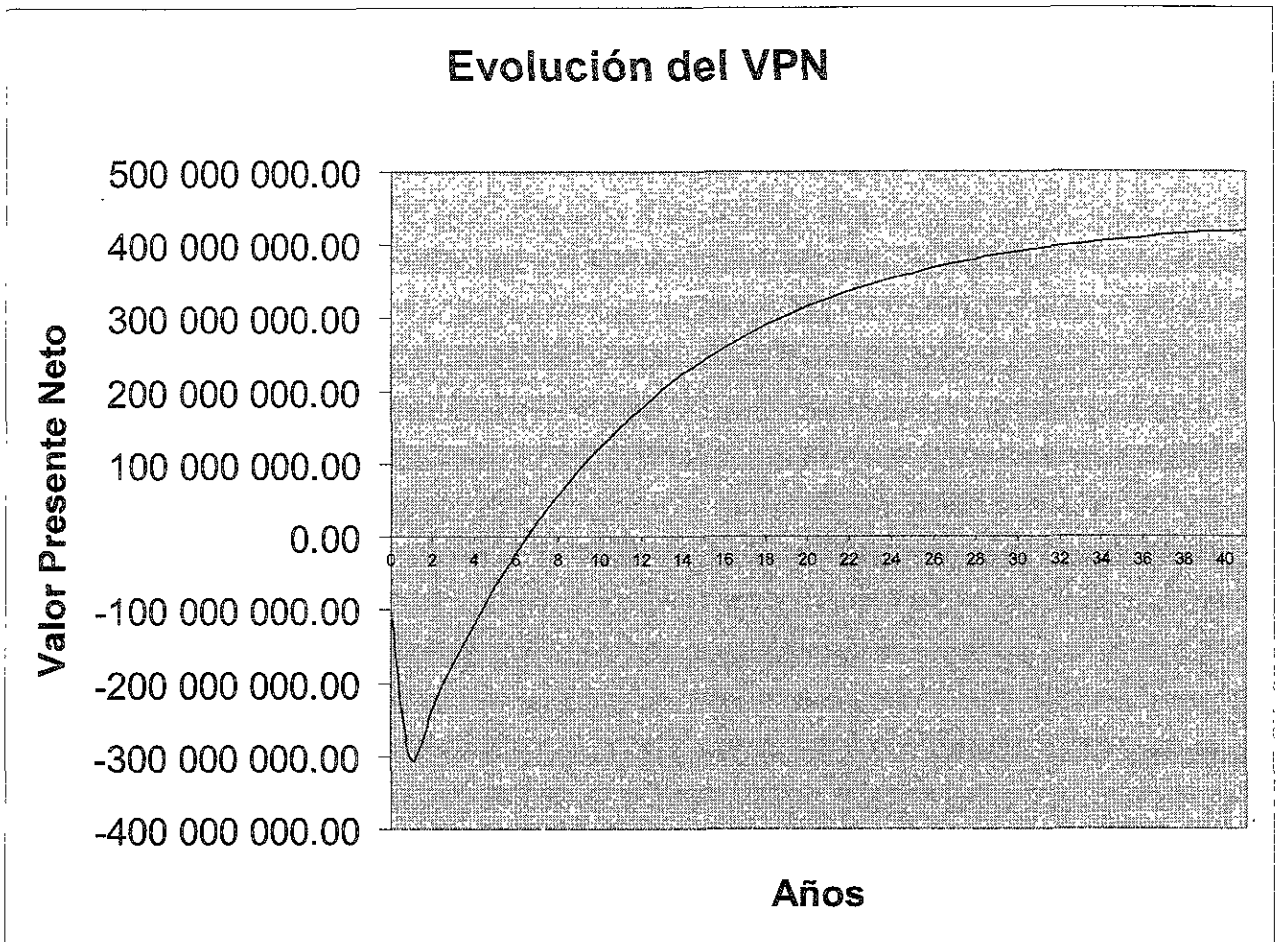
En cuanto al año de recuperación de capital este se lleva acabo, al séptimo año desde que se empieza a realizar el proyecto, el resultado numérico es exactamente 7.55 lo que equivale a 7 años con seis meses.

### 5.6.4 Relación Beneficio Costo

La relación beneficio costo de este proyecto se tomo en cuenta con base en los beneficios totales actualizados, comparados con los costos totales actualizados los resultados de estos dos parámetros fueron los siguientes:

Valor presente de Beneficios	745 382 778 M.N.
Valor presente de Erogaciones	325 413 782 M.N.
Relación beneficio /costo	2.29

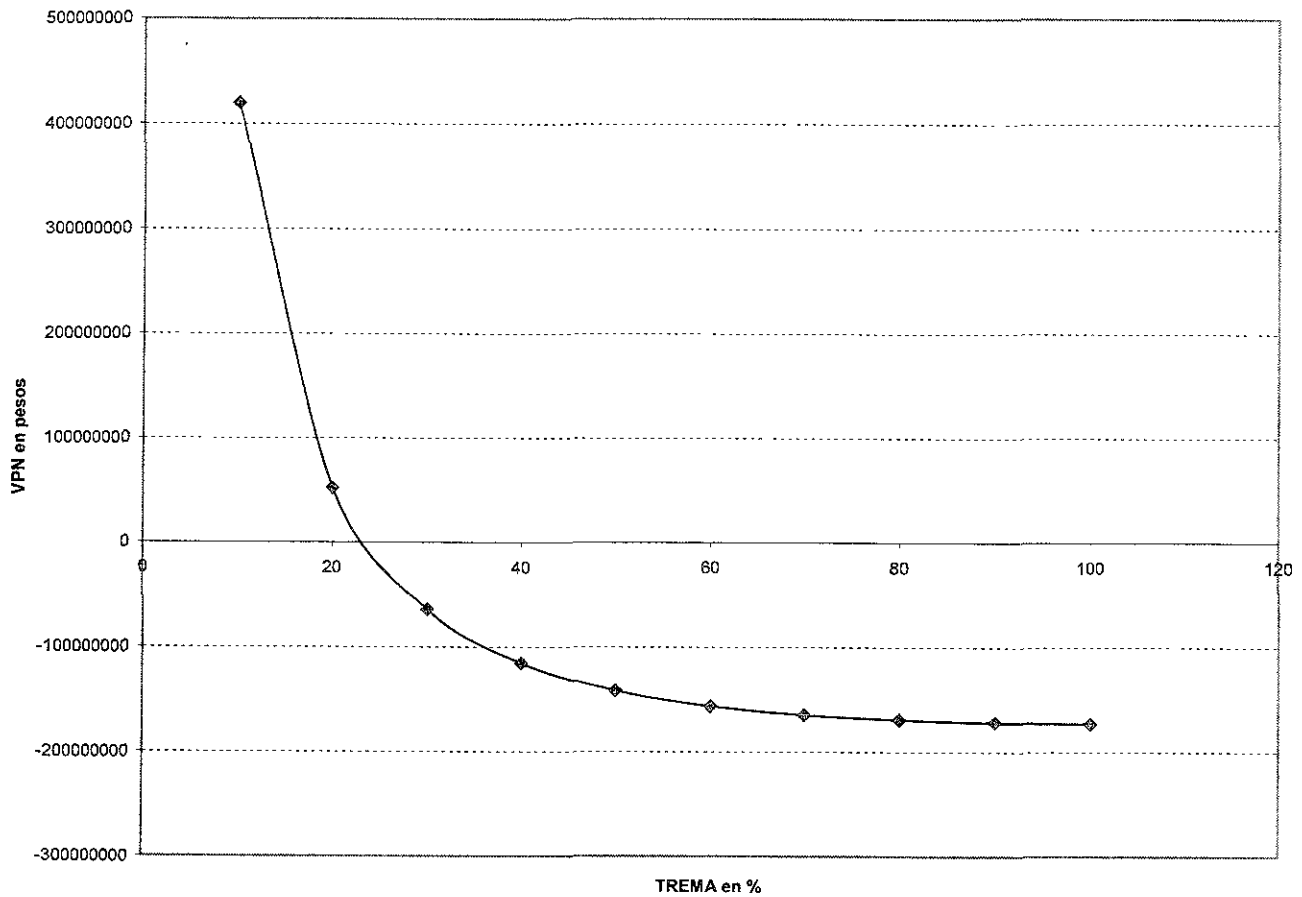
Abajo se presenta la gráfica donde se puede observar el desarrollo del VPN, a través del tiempo, que como se puede ver por medio de esta, rápidamente se recupera de los valores negativos, teniendo posteriormente un cambio de pendiente la cual disminuye constantemente debido a que el precio a lo largo del tiempo, al momento de traerlo a valor presente cada vez es menor, por lo cual la curva tiende a ser horizontal, se puede observar que en un tiempo posterior al año 30 prácticamente ya no se incrementan los beneficios en comparación de los años anteriores.



*Evolución del Valor Presente Neto en el tiempo*

Para concluir este capítulo se presentará la gráfica que relaciona al Valor Presente Neto de nuestro proyecto relacionándolo a distintas TREMAS, como se podrá observar el valor de la TREMA se modifica, para distintos porcentajes y se le asocia en cada de uno de los puntos al valor presente correspondiente a la TREMA como se puede observar el proyecto deja de ser rentable a partir del 23.40 % la cual es la tasa interna de retorno del proyecto, por lo cual se puede considerar que el proyecto es viable, si se toma en cuenta una TREMA hasta del 23.0 % ya que para un valor mayor el valor presente neto adquiere un valor negativo, por lo cual el proyecto deja de ser rentable, ya que ni siquiera se recuperará el capital en esta condición.

GRÁFICA DEL VALOR PRESENTE NETO VPN



### 5.7 Conclusiones

Como se desarrolló a lo largo de todo el capítulo bajo los parámetros financieros evaluados, los cuales consideraron todos los beneficios y costos económicos del proyecto, se puede establecer que el proyecto de la presa Reguladora en el sitio de Tultita es rentable, como lo demostraron los parámetros establecidos en las secciones anteriores, en los cuales se pudo observar que en este sitio también es viable la realización del proyecto y con base en lo obtenido en los capítulos anteriores se puede ver que en cuanto a la parte técnica es viable llevar a cabo el proyecto, que mejorará la forma de operar la Central Hidroeléctrica Raúl J. Marsal.

## 6. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

### 6.1 Comparación técnica

En cuanto a la comparación de las dos alternativas en lo que respecta a la parte técnica se puede decir que los dos proyectos como se estableció al principio, cumplen con el objetivo para el cual fueron desarrollados, el cual es optimizar el funcionamiento de la central Hidroeléctrica Raúl J. Marsal.

Con respecto a las obras se establecerá el análisis de las diferencias de cada una de ellas, En cuanto a todas las obras se puede concluir que los volúmenes para el caso de Amata siempre resultaron menores que en el eje Tultita, ya que el sitio de Amata siempre tuvo un mejor rendimiento, debido a que la boquilla es mas angosta, con lo cual se pueden ahorrar cantidades de materiales, en cuanto a las características de la cortina, aunque la de Tultita tiene mayores dimensiones debido a que su boquilla es mas ancha, se decidió considerar, ya que es un sitio más propicio para incluir turbinas, debido a que se ganaba carga y al mismo tiempo se evitaba inundar el poblado de Alayá, el cual se encuentra aguas arriba de los dos sitios propuestos en la cota 141 m.s.n.m., como el sitio de Amata se encuentra a 28.5 kms. del pie de la presa Comedero y la Presa Tultita se encuentra aguas abajo en el cadenamiento de 30.5 km a partir de la presa Comedero, por lo cual se encuentra el lecho del río mas bajo como lógicamente se puede deducir, con lo cual se gana la carga necesaria para poder agregar en este sitio turbinas y de esta forma poder generar.

En cuanto a la cortina se estableció llevar a cabo, bajo el mismo criterio que anteriormente se planteó, es decir bajo la técnica de concreto compactado con rodillos, por ser esta la más conveniente al no tener apoyo en las laderas de la boquilla como para soportar la carga transmitida en una cortina de tipo de arco, además que este tipo de obras se recomienda en el caso de que se pueda tener el acceso a bancos de materiales con los cuales se pueda producir concreto en el sitio de la presa, lo cual sucede tanto en el eje Amata como en el eje Tultita.

En sí al tener las obras el mismo objetivo y al estar alojados los sitios de estudio con una separación de 1.7 km se tiene en general las mismas características, ya que por lo menos en un aspecto, en el que realmente es importante y pesa en cuanto al desarrollo para la realización de estos proyectos como lo es la geología del sitio, no varía debido a la cercanía de los dos lugares, ya que la diferencia que separa a estos dos sitios es un meandro el cual separa a un sitio del otro.

En cuanto a la hidrología se consideró la misma, debido a la cercanía de los sitios no se consideró un extra en cuanto a la captación asociada a la diferencia del Area de captación entre el eje Tultita con el eje Amata, ya que esta es mínima, por lo que no trae cambios importantes en cuanto a la captación, razón por lo cual se utilizaron los mismos parámetros, para realizar el estudio de este importante factor para dimensionar las obras.

En cuanto a procedimientos constructivos son los mismos prácticamente en lo referente a las ataguías de la obra de desvío, así como la cortina y vertedor aunque existen diferencias sobre todo en lo referente a la obra de toma y el vertedor.

Ya entrando al ámbito de las diferencias que tienen los dos proyectos se puede decir, que en el caso de la obra de contención de Amata esta es mas pequeña, debido a que la boquilla de este sitio tiene estas características, lo cual provoca que se necesiten menos materiales y por lo que en la obra de contención el costo es mayor en Tultita, como se puede observar en la

tabla donde se muestra la comparación de los resúmenes del costo de las obras de Amata y Tultita.

En cuanto a la obra de excedencias los dos sitios tiene la mismas características es decir son vertedores de cresta libre con perfil tipo Creguer, los cuales contarán con escalones aguas abajo cuya finalidad será disipar la energía al presentarse el cambio de posición del agua, cabe mencionar que el vertedor de Tultita funcionará de una mejor manera, ya que el gasto unitario es menor en el caso de Tultita al ser más grande la boquilla, esta permite que la longitud de la cresta vertedora sea mayor en el caso de Tultita, con lo cual se logra que con una carga menor se transite el gasto de 5 000 m<sup>3</sup>/s, de esta manera se pudo elevar el nivel del NAMO, ya que la carga necesaria para transitar ese gasto por el vertedor, es menor que la que requiere Amata, con lo cual en este aspecto es mejor este vertedor.

En cuanto al canal de desvío, el de Amata servirá al mismo tiempo para alojar la obra de toma para riego, la cual funcionará por medio de dos compuertas radiales, pero teniendo el antecedente que que ésta al mismo tiempo funcionará de obra de desvío, así como servirá de desarenador. En cuanto a la obra similar en Tultita, se puede decir que la obra de desvío será distinta a la de Amata, debido a que en este caso se usará ex profeso para esta finalidad el canal de desvío, el cual atravesará la cortina por medio de dos ductos, los cuales se cerrarán una vez que quede terminada la obra, por medio de compuertas de cierre, además que se hará un tapón de concreto una vez acabada la obra, para complementar esta obra a parte se tendrá la obra de toma para riego que será similar a la mencionada en Amata y tendrá un muro previo donde se protegerá del arrastre de los sedimentos y además tendrá una losa previa, la cual contará con una inclinación con pendiente hacia la cortina, la que tendrá la finalidad de depositar hacia la obra de toma de riego los sedimentos con el fin de alargar lo más posible la vida útil de la obra de toma de generación, esta se encontrará posterior al desarenador, con lo que fungirá como tanque sedimentador, por lo cual cumplirá con dos finalidades, tanto de obra de toma de riego así como de desarenador.

Como se mencionó en el capítulo tres la obra de toma de riego funcionará para dar el gasto necesario en el distrito de riego en los dos casos, con el fin de cumplir con las demandas requeridas en el distrito de riego en la actualidad, así como para una posible incremento en las demandas en un futuro, lo anterior rigió el diseño de esta obra,

Si se comparan en sí las obras, se puede decir que es más eficiente la obra de riego en Amata, ya que podrá servir para un número mayor de actividades en contraste con la obra de Tultita, aunque las dos cumplen con su objetivo primordial que es desalojar el volumen demandado por el distrito de riego.

La mayor diferencia en cuanto un sitio y el otro es la parte de la generación hidroeléctrica, ya que solamente el eje de Tultita contará con este tipo de obra, debido a que la carga que se puede obtener en Amata no es adecuada y como no se puede elevar el nivel del vaso, ya que se inundaría el poblado de Alayá, lo que conllevaría a un aumento sensible en el costo del proyecto, así como focos probables de posibles problemas sociales, se decidió que sólo la opción del eje Tultita resulta factible para llevar a cabo la obra de generación, la cual como se comentó en el capítulo tres estará equipada con dos unidades tipo Bulbo, esta obra es el mayor cambio que existe en la evaluación de los dos sitios estudiados, por lo que además de proporcionar el beneficio de llevar a cabo la regulación diaria, la propia central generará energía eléctrica, debido a lo anterior tendrá un beneficio extra en comparación con la propuesta del eje Amata, que sólo llevará a cabo la regulación diaria, como se explicó anteriormente.

Por último para acabar con esta sección se expondrán las características generales de los dos ejes en la tabla.

CONCEPTO	Unidad	AMATA	TULTITA
Cadenamiento respecto de Comedero	km	28.5	30.2
Elevación del lecho del cauce	m.s.n.m.	116	114
Nivel de aguas mínimo de operación	m.s.n.m.	129.80	131.20
Nivel da agua máximo ordinario	m.s.n.m.	132.70	133.25
Nievel de aguas máximo extraordinario	m.s.n.m.	139.15	138.00
Elevación de la corona	m.s.n.m.	140.40	139.25
Altura de la cortina en desplante	m	26.00	22.75
Area de cuenca hasta el sitio	km	9 116	9 121
Area entre Comedero y el Proyecto	km	549	554
Volumen de regulación	m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>	11.48	10.74
Volumen Muerto	m <sup>3</sup> x 10 <sup>6</sup>	4.50	10.00
Longitud de la Cortina	m	244	355
Longitud de la cresta vertedora	m	144	230

Cabe aclarar que aunque el volumen muerto es mayor en el caso de Tultita, esto se debe a que el nivel se sube, en función de obtener una carga suficiente para que operen las turbinas tipo Bulbo, así como el volumen de regulación es mayor en el caso de Amata, debido a que el vertedor es menor en cuanto a longitud, por lo cual necesita una carga mayor para transitar el máximo gasto, que se puede presentar en un periodo de retorno de 10 000 años, como se presenta en el capítulo dos donde se transitó la avenida máxima probable, para los dos vertedores.

## 6.2 Comparación de los Aspectos Económicos

En cuanto al aspecto económico las opciones de realizar la presa reguladora, tanto en eje Amata como en el eje Tultita se presentan en los capítulos cuatro y cinco, en los cuales se desglosaron los costos, así como los beneficios que se obtendrán con el proyecto, llegando a la conclusión de que los dos proyectos eran atractivos con base en la TREMA establecida, por lo que a continuación se presentará un resumen del presupuesto, así como el de los beneficios asociados a cada uno de los proyectos.

Como se observó los costos para llevar a cabo el proyecto de la presa reguladora son mayores en el eje de Tultita si se le compara con el eje Amata, pero al mismo tiempo al tener generación propia la presa reguladora en el eje Tultita se le asocian una cantidad mayor de beneficios a esta obra, ya que generarán en el sitio a continuación se presentarán las tablas resumen de los costos, así como las tablas resumen de los beneficios para que se les pueda contrastar.

Comparación de Costos		
	Tultita*	Amata*
<b>Obra Civil</b>		
Infraestructura	64 181 543	55 673 036
Obra de desvío	18 990 907	6 269 060
Obra de Contención	171 177 560	115 166 191
Obra de Toma y Desarenador	3 879 867	19 676 101
Afectaciones	1 109 075	968 090
Central Hidroeléctrica	8 599 155	
<b>Total Obra Civil</b>	<b>267 938 107</b>	<b>197 752 477</b>
<b>Equipo Electromecánico</b>		
Obra de Toma y Desarenador	3 746 844	4 050 664
Central Hidroeléctrica	51 928 899	
<b>Total Equipo Electromecánico</b>	<b>55 675 743</b>	<b>4 050 664</b>
<b>Total</b>	<b>323 613 850</b>	<b>201 803 141</b>
* precios medios de 2000		

Como se puede observar el proyecto resultó mas costoso en el eje Tultita, debido a que obviamente las obras son de mayores dimensiones, lo cual se manifiesta en el costo de la obra de contención.

Cabe mencionar que al mismo tiempo si se suman los costos de la obra de desvío y la obra de toma se llega a una cifra similar, esto es debido a que en el caso de Amata en la categoría de obra de desvío, sólo se consideró el costo de las ataguías tanto aguas arriba como aguas abajo, ya que el aspecto del canal de desvío se consideró en el rubro de la obra de toma, esta cumplirá con estas dos finalidades, por lo que para comparar las dos alternativas de una manera mas objetiva se debe considerar lo anterior, en el aspecto de la obra de toma y desarenador la alternativa de Amata resulta un poco mayor, debido a que se necesita llevar a cabo un mayor movimiento de tierras, en comparación a Tultita.

El otro aspecto notable es el aumento del costo en cuanto a la alternativa del eje Tultita, esto se debió a la central hidroeléctrica y la obra de contención, en el caso de la primera sólo se cuenta con esta obra en este sitio, lo cual eleva el costo total del proyecto y con respecto al segundo la contención es mayor debido a lo expresado con relación a las dimensiones de las boquillas, por lo que da como resultado un costo mayor asociado al sitio de Tultita.

Ahora se presentan del mismo modo que el anterior, los beneficios asociados a los dos proyectos:

		Amata*	Tultita*
Ganancias por la Generación Anual firme	En el Pico	93 225 540	95116415
	En la Base		4374774
Ganancias por la Generación Anual Secundaria		-18 479 844	-15 646 542
<b>Total Beneficios anuales</b>		<b>74 745 696</b>	<b>83 844 647</b>

\*Pesos medios de 2000



Con base en lo observado en la tabla anterior los beneficios en Tultita son mayores que los del sitio Amata como es lógico intuir.

El beneficio asociado al eje Amata es el que se obtiene por el cambio de energía referente a lo que se esta generando actualmente y lo que se podría generar en dado caso de que se lleve acabo el proyecto de la presa reguladora Amata, de aquí se explica, la obtención de perdidas en lo referente a la generación secundaria, ya que comparando entre la opción de realizar una presa reguladora o no, se pierde generación secundaria, la cual se transforma en firme, razón por la cual al contrastarlas se tiene una pérdida de energía secundaria entre el planteamiento actual y el que se propone contando con la presa reguladora, para el caso de Tultita se toman los mismos datos de los beneficios de Amata y además se agregan los beneficios asociados a la central hidroeléctrica que se propone.

Debido a que los dos proyectos son rentables y que además de que Tultita produce mas beneficios, pero al mismo tiempo es más costosa se hace necesario establecer los parámetros económicos para determinar cual de los dos proyectos es más atractivo desde el punto de vista económico, por lo anterior se establecerán los criterios que utilicé y posteriormente se contrastaran estos parámetros para determinar, cual de los dos luce más atractivo y por último se llevará acabo un análisis de sensibilidad, donde se modificarán varios factores que podrían incrementarse o disminuirse, para lo cual se establecerán comparaciones de los proyectos en varios de los casos, para de esta forma poder concluir con respecto a las dos soluciones propuestas para llevar a cabo la regulación diaria.

### 6.2.1 Criterios

La forma de poder comparar a los proyectos de inversión se hace por medio de parámetros económicos por medio de los cuales se obtendrá la información para determinar cual de los dos proyectos es más rentable.

Las tres orientaciones para determinar que en un proyecto sea rentable son las siguientes: El periodo de recuperación de inversión, la tasa interna de retorno y el valor presente neto.

En cuanto al primero, es decir el periodo de recuperación de capital se deben tomar precauciones para este parámetro, ya que habrá que estudiar la evolución del valor presente neto en todo el periodo, debido a que puede haber ocasiones en que el punto en el tiempo en que se recupera el dinero no es único, por lo cual se tendrá que analizar los cambios de signos dentro de todo el periodo, normalmente esto se puede llegar a presentar cuando los proyectos por razones técnicas o económicas se decide hacer reinversiones posteriores al periodo inicial, por lo cual habrá que tener cuidado en estos casos, ya que en la realidad la ecuación planteada no da realmente el año de recuperación de capital, sino que establece el primer punto en el tiempo en donde el flujo acumulado de efectivo para evaluación se nulifica. Para los dos casos estudiados, debido a que sólo se realizan los desembolsos de infraestructura al principio del periodo no sucede lo anterior. Con respecto a este parámetro no establece un criterio de jerarquización de los proyectos, por lo que se tomarán en cuenta otros parámetros.

La tasa interna de retorno

En este caso se puede establecer por medio de este parámetro si un proyecto es rentable o no, razón por lo cual es importante establecer si sólo tiene una raíz positiva es decir que cumple con las características de una función al ser entera y biunivoca, en este caso el criterio de la TIR solo nos puede definir la rentabilidad de los proyectos, y se estima que el

valor de la TIR si es mayor al del costo de capital, el proyecto es rentable aunque no se puede establecer un criterio de jerarquización entre dos proyectos estudiados, ya que como se puede intuir, si se supone que los dos proyectos aquí estudiados tuviesen la misma tasa interna de retorno, no significaría que los dos proyectos son igual de rentables, ya que en esta caso sería mas atractivo el que tiene mayor inversión es decir Tultita, debido a que se obtiene un rendimiento igual nada mas que sobre una mayor inversión, por lo cual este criterio no es bueno para jerarquizar los proyectos de inversión.

Por último el valor presente neto, si cumple las características de existir una raíz única, lo cual sucede en los proyectos denominados convencionales, que son en los que se lleva acabo la infraestructura y después solo se establecen los gasto de operación así como los gastos de mantenimiento y los beneficios, en estos solo una vez se atraviesan los valores de negativos a positivos, en este caso se puede establecer el Valor Presente Neto como parámetro para la rentabilidad, si los proyectos que se van a comparar cumplen con esta condición como en nuestro caso, se puede establecer con base en este parámetro cual de los dos proyectos es más rentable desde el punto de vista económico.

Para complementar este estudio de comparación de alternativas se llevará acabo un estudio de sensibilidad, de varios parámetros, en donde se observa como reacciona el proyecto ante diversos escenarios que se explicarán mas adelante y por último se establecerán las isocuantas de los dos proyectos de inversión, las cuales manejarán las variables del costo de la inversión, así como los beneficios, dando una combinación entre los costos de la inversión y los beneficios anuales a los cuales deberá estar asociado, esto con la finalidad de que la combinación de datos, cumpla con el rendimiento que se establece.

A continuación se presentará una tabla con los parámetros económicos más importantes de los dos proyectos

	Amata*	Tultita*
Año de recuperación de capital	5.64	7.55
Tasa Interna de retorno	30.81%	23.40%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>453 804 220.85</b>	<b>419 968 995.47</b>
Relación Beneficio Costo	3.15	2.29

\* Para este estudio se tomo en cuenta una treme de 10% a pesos medios de 2000

#### *Parámetros económicos*

Como se puede ver el Valor Presente Neto del proyecto Amata es mayor que el del proyecto de Tultita, aunque si se puede ver a nivel porcentaje el nivel de variación es muy pequeño, es decir se tiene una variación del VPN de un ocho por ciento, por lo que valdrá la pena hacer un análisis de sensibilidad de los dos proyectos para poder concluir

#### *6.2.2 Análisis de sensibilidad*

En los análisis se establecerán los parámetros del Valor Presente Neto y la relación Beneficio Costo para diversas TREMAS y diversas condiciones que se modificaron las cuales se mencionaran respectivamente

Análisis con un 10% de incremento en el costo de la infraestructura

<b>AMATA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>434 437 996.19</b>	<b>324 640 583.53</b>	<b>244 029 115.83</b>	<b>182 972 973.00</b>
Valor Presente de Beneficios	664 492 683.79	550 166 808.71	465 851 956.33	401 661 274.78
Valor Presente de Costos	230 054 687.61	225 526 225.18	221 822 840.50	218 688 301.78
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>2.888</b>	<b>2.439</b>	<b>2.100</b>	<b>1.837</b>

<b>TULTITA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>389 610 988.82</b>	<b>269 059 541.73</b>	<b>181 048 255.90</b>	<b>114 818 733.24</b>
Valor Presente de Beneficios	745 382 777.71	617 139 773.07	522 561 096.14	450 556 347.72
Valor Presente de Costos	355 771 788.90	348 080 231.34	341 512 840.24	335 737 614.48
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>2.095</b>	<b>1.773</b>	<b>1.530</b>	<b>1.342</b>

Como se puede deducir de estas tablas se puede establecer que el proyecto de Tultita es más sensible a los cambios en el costo del proyecto de la presa Reguladora, ya que de la tabla inicial donde se tenía un 8% este parámetro se incrementó a un 11.5% en el caso de la TREMA de 10% y 59% en el caso de la TREMA de 16%.

El segundo análisis se hará con base en observar la sensibilidad de que el costo de mantenimiento y operación sea menor en un 50%, con lo cual siguiendo la metodología se presenta este análisis.

Análisis con un 50% menos en el costo de operación y mantenimiento.

<b>AMATA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>462 317 329.00</b>	<b>350 909 864.14</b>	<b>269 077 929.47</b>	<b>207 063 976.25</b>
Valor Presente de Beneficios	664 492 683.79	550 166 808.71	465 851 956.33	401 661 274.78
Valor Presente de Costos	202 175 354.79	199 256 944.56	196 774 026.86	213 542 442.45
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>3.287</b>	<b>2.761</b>	<b>2.367</b>	<b>1.881</b>

<b>TULTITA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>430 885 853.32</b>	<b>308 098 428.72</b>	<b>218 356 764.35</b>	<b>150 739 383.17</b>
Valor Presente de Beneficios	745 382 777.71	617 139 773.07	522 561 096.14	450 556 347.72
Valor Presente de Costos	314 496 924.39	309 041 344.35	304 204 331.78	299 816 964.54
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>2.370</b>	<b>1.997</b>	<b>1.718</b>	<b>1.503</b>

Este análisis se lleva a cabo debido a que los precios de mantenimiento y operación se hicieron con base en los promedios de grandes proyectos hidroeléctricos, con lo cual se considera que para un proyecto de las dimensiones de los que se propuso para la presa reguladora, pueden quizás ser mucho menores a los que se propusieron, de aquí que se decidió establecer este análisis.

En cuanto al resultado se puede ver que Amata es más sensible a este cambio ya que la diferencia se acorta en un 7%, aunque al incrementar la TREMA la diferencia aumenta como en el caso anterior.

En el tercer y último análisis se supuso un periodo de secas con duración de dos años recién terminado el proyecto en el cual no se tendrán, beneficios asociados al proyecto en los primeros dos años y en el tercero en el caso de Amata solo se producirá la mitad de la energía pico y el resto será secundaria, para el caso de Tultita se aplicará lo mismo nada

mas que en el caso de la energía propia de la central sólo se considera toda la energía como secundaria. Este escenario es realmente negativo, ya que además que se supone una larga sequía, esta sucede en los primeros años cuando el valor del dinero debido a su posición en el tiempo tiene mayor valor.

<b>AMATA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>307 034 570.03</b>	<b>204 238 705.19</b>	<b>130 144 754.12</b>	<b>75 164 159.75</b>
Valor Presente de Beneficios	517 723 032.98	410 544 078.81	332 887 015.37	274 907 317.60
Valor Presente de Costos	210 688 462.94	206 305 373.63	202 742 261.25	199 743 157.86
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>2.457</b>	<b>1.990</b>	<b>1.642</b>	<b>1.376</b>

<b>TULTITA</b>	10%	12%	14%	16%
<b>Valor Presente Neto</b>	<b>259 072 235.98</b>	<b>145 919 950.74</b>	<b>64 793 918.81</b>	<b>4 980 333.24</b>
Valor Presente de Beneficios	584 486 018.22	463 999 909.04	376 651 667.57	311 396 134.98
Valor Presente de Costos	325 413 782.24	318 079 958.30	311 857 748.76	306 415 801.74
<b>Relación Beneficio / Costo</b>	<b>1.796</b>	<b>1.459</b>	<b>1.208</b>	<b>1.016</b>

Como se puede ver en estos resultados, la diferencia es sensiblemente mayor, entre el eje propuesto en Tultita y Amata, por lo que es bastante más sensible para este caso el eje de Tultita el cual incluso reporta una ganancia mínima es decir prácticamente cero si se toma como TREMA una tasa de un 16% y se llegan a presentar condiciones desfavorables.

Por último para concluir este capítulo se establecerá un análisis de isocuantas de los beneficios anuales contra el costo de infraestructura para diferentes tasas, lo cual nos establecerá un mejor punto de comparación entre los dos proyectos.

### 6.2.3 Isocuantas

Las isocuantas o líneas de indiferencia, establecen todos los puntos de una recta o curva en los cuales todos ellos brindan la misma equivalencia, por consiguiente, mediante estas curvas es posible obtener regiones o áreas en las que no se recomienda invertir y regiones o áreas en las que el proyecto debe ser emprendido.

En este estudio se llevo a cabo la realización de las isocuantas para cada uno de los proyectos, en los que se manejaron dos variables las cuales son los beneficios anuales, así como el valor de la inversión inicial con lo que se establecieron isocuantas de los dos proyectos con estas características para los dos distintos proyectos y diversas TREMAS con las cuales se obtuvieron las ecuaciones, las que se variaron para las diversas TREMAS con las cuales se midió la sensibilidad.

#### Obtención de las ecuaciones

Se supuso que la suma de las inversiones y costos de mantenimiento y operación eran iguales a los beneficios obtenidos a través de la generación se dejó como constante el valor de los de mantenimiento y de operación a los cuales se les multiplicó por un factor compuesto por las 42 anualidades que dura el proyecto traídas a valor presente y restadas por dos anualidades que serían las primeras en las cuales aun se está construyendo la infraestructura de las cuales no se erogarán costos de mantenimiento y operación en los años en los cuales se lleve a cabo la infraestructura, en cuanto al costo de la infraestructura el porcentaje que se gastará de la inversión en el primer año no se afectará con ningún factor, aunque el porcentaje correspondiente al siguiente año se trasladará a valor presente del primer año de inversión. En cuanto a los beneficios anuales se les da el mismo

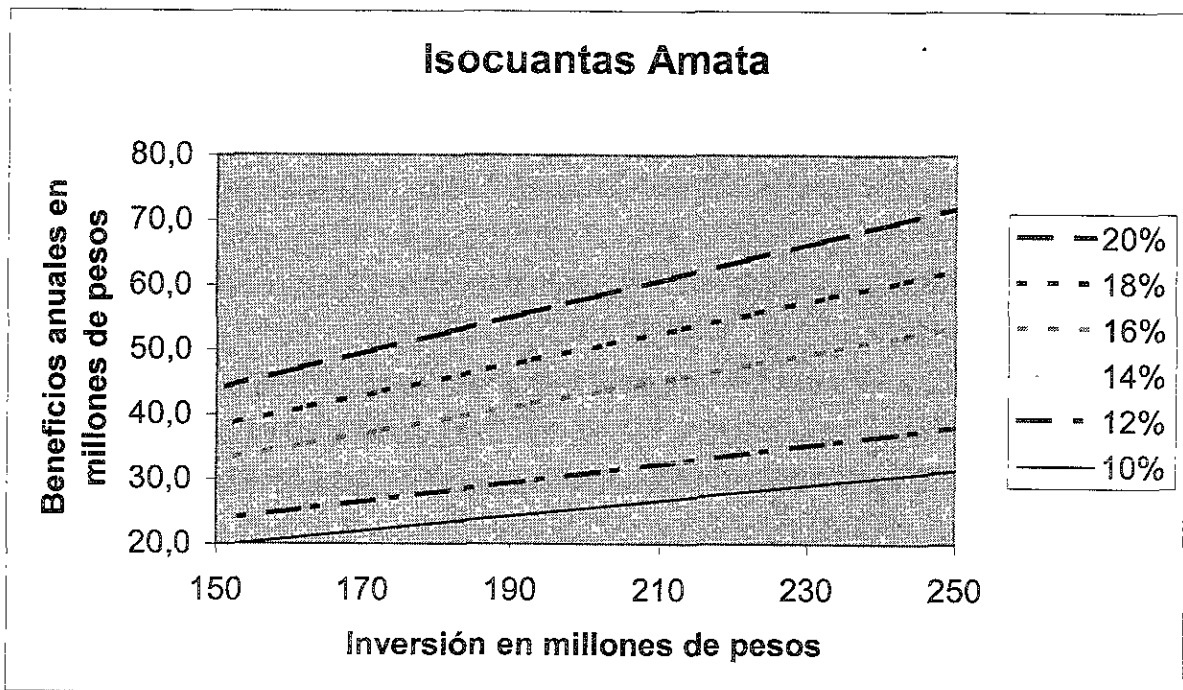
tratamiento que los costos de mantenimiento y operación aunque obviamente se deja como incógnita los beneficios para lo cual se despeja: este valor, el costo de mantenimiento y operación multiplicado y dividido por el mismo factor y en cuanto a la inversión se hace lo propio aunque se divide entre el valor de la infraestructura para el caso de un interés del 12% en el caso de Amata queda la ecuación:

$$X = 0.14492I + 1\,915\,200$$

Donde X representa los beneficios anuales que se tiene que obtener para que sea igual al costo de inversión (I) asociado al proyecto.

Con lo cual se obtuvo la gráfica en la cual se estableció el valor del costo de inversión que se obtuvo en el caso de Amata con esto, se llevo acabo la variación de esta inversión obteniendo valores desde el 75% del costo que obtuvimos de la inversión, hasta un 1.25 del valor de la inversión en intervalos de un 5% con lo cual se obtuvieron los puntos para definir la isocuanta.

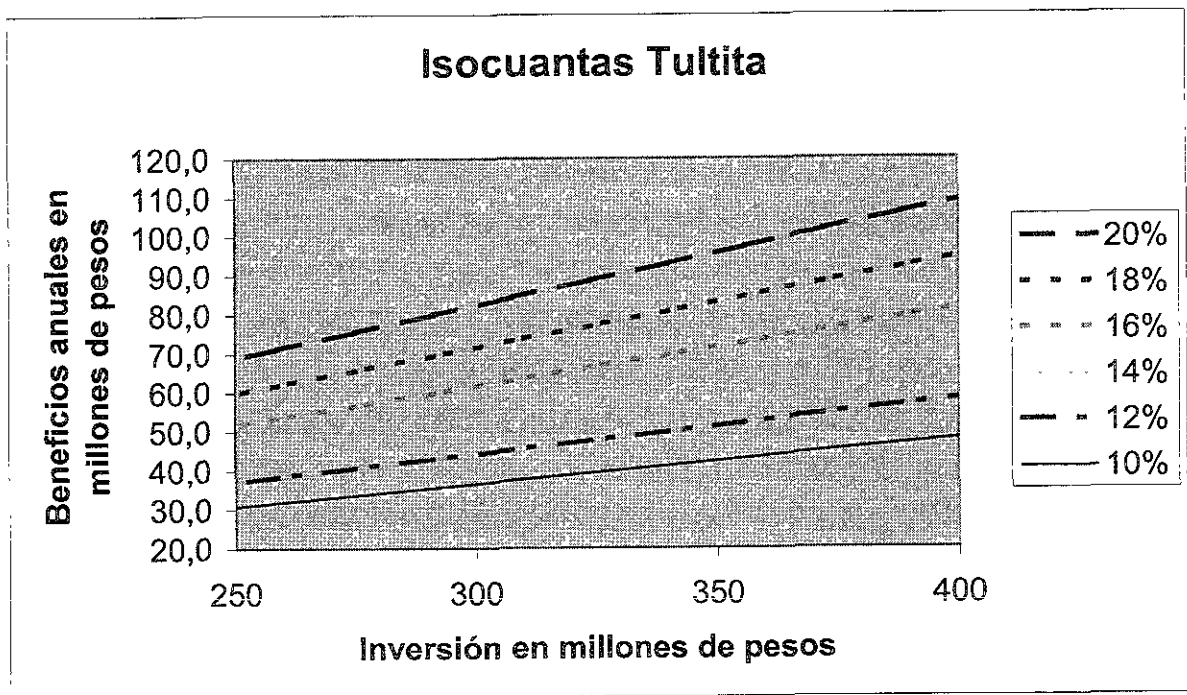
Cabe mencionar que lo mismo se realizó para diversas tasas que varían desde un 10% a un 20% con avances del dos por ciento, por lo que en total se tienen seis líneas de isocuantas para las diversas tasa las cuales se presentan a continuación.



La forma en la cual se presenta la gráfica muestra los costos de inversión de la presa reguladora sobre el eje Amata, el cual se obtuvo por un monto de 201 803 141 pesos que fue el monto base, el cual se estuvo variando para ver de que manera reaccionaban las ganancias, para que el proyecto fuese atractivo con la combinación entre la inversión y los beneficios anuales, las isocuantas nos representan la frontera para que el proyecto pase de ser rentable a no rentable dependiendo de la tasa que tengamos pensado establecer, por mencionar un ejemplo si se obtiene un beneficio anual por 70 millones de pesos durante los 40 años y el costo de la inversión resulta ser de 190 millones es atractivo para cualquier

tasa, debido a que si se establece este punto en la gráfica se encuentra por arriba de todas las isocuantas lo que lo hace rentable, caso contrario si se tiene una ganancia anual de 20 millones por año y el costo de la inversión asciende a lo estimado se puede observar que queda por debajo incluso de la tasa del 10% razón por la cual el proyecto no es rentable bajo esas circunstancias, ya que se encuentra por debajo de las isocuantas, asociadas a distintas tasas de interés.

En el caso de Tultita se llevo a cabo lo mismo, obviamente variando las condiciones propias del proyecto, es decir el costo respecto a la inversión, el cual estimamos en el capítulo cinco y resulto ser de 323 613 149 pesos medios del 2000 así como se estableció el costo estimado de operación y mantenimiento, se estableció la misma metodología, la cual arrojó una gráfica con las características propias del proyecto, de la presa reguladora de Tultita estableciendo los mismo parámetros a los cuales se llego en Amata, a continuación se presenta esta gráfica



En este caso para un beneficio anual de 30 millones de pesos anuales y una inversión de 260 millones de pesos el proyecto no es rentable, por lo que habrá que establecer parámetros para poder interpretar mejor lo que estas gráficas realmente nos representan, por lo que se llegará a establecer cuantos GWh nos representa cada uno de estos posibles beneficios para poder estimar a que se debe comprometer el proyecto con la finalidad de que se pueda estimar el potencial del proyecto.

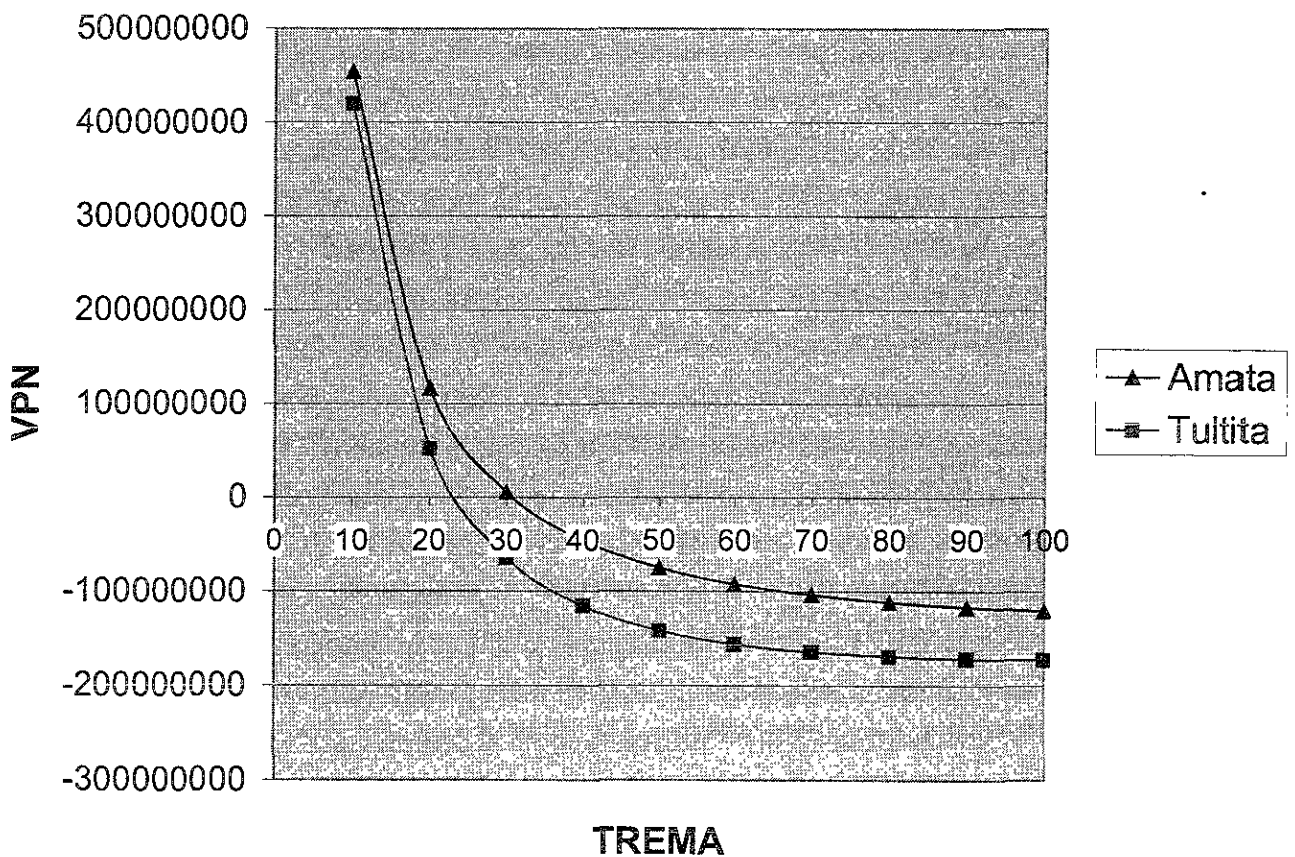
Para el caso de Tultita si se da la situación en la que en los cuarenta años no se presentase la regulación diaria esperada por lo cual no se tendría cambio de régimen, se tendría pura generación secundaria, (lo cual es prácticamente improbable) se tendría una generación que equivaldría al costo de 51.12 GWh en energía secundaria lo que en pesos equivaldría a 17 millones y medio lo cual lo deja abajo claramente de las isocuantas.

Para el caso de Amata lo anterior representaría 11 millones lo cual lo deja por debajo al mismo tiempo que Tultita, para establecer el beneficio que se necesita en Amata para una tasa de 16% se tendrá que obligar al proyecto a producir un poco mas de 43 millones y medio en su vida útil lo cual representa un poco menos de la mitad de la ganancia de la energía pico de nuestro estudio, es decir si se produce la mitad de la energía pico programada en los 40 años en promedio se podría llegar a considerar el proyecto rentable bajo estas condiciones, lo cual hace bastante atractivo al proyecto

Para este mismo caso en tultita obteniendo la mitad del beneficio en el pico y considerando la mitad de la energía firme de tultita se obtiene que el resultado es similar a la isocuanta razón por lo cual se establece que para estas condiciones supuestas se tiene un similar comportamiento aunque algo superior en le caso de Amata, ya que esta última opción nos permite un rango mayor de seguridad.

Por último para concluir el capítulo se presentará la tabla de la evolución del Valor Presente Neto de los sitios de Amata y Tultita para distintos rendimientos, con lo cual se terminará este capítulo, donde se comparará las dos alternativas desarrolladas en este trabajo

**Valor Presente Neto vs Rendimiento**



## 7. CONCLUSIONES

Como se pudo establecer en el desarrollo del trabajo, los dos proyectos dan resultados similares en cuanto a los parámetros económicos, aunque en los análisis de sensibilidad, así como en la gráfica que muestra el rendimiento en contra del Valor Presente Neto, nos determina una ventaja en el proyecto de la presa Reguladora en el sitio Amata, si nos basamos solamente en los parámetros económicos analizados, por lo que habrá que tomar en cuenta también, el aspecto social del proyecto, en cuanto a lo que se refiere a los beneficios no asociados o no cuantificables económicamente, debido a esto será importante llevar a cabo un estudio que determine la situación del suministro de energía eléctrica en los poblados cercanos a la posible obra hidroeléctrica dentro de la presa Reguladora en el sitio Tultita.

Por lo que habrá que analizar el estado del sistema eléctrico de esas poblaciones, con la finalidad de determinar si todas y cada una de ellas cuentan con el suministro de energía eléctrica, ya que en caso contrario es importante tomar en cuenta el proyecto de Tultita, el cual puede ser la solución a esta falta de suministro de energía eléctrica dentro del estado, en específico al municipio de Cosalá en donde hasta hoy se cubre la demanda de 38 localidades para el beneficio del 64.4% de la población, así como los municipios aledaños a este, como Culiacán Elota o San Ignacio, con base en lo anterior se determinará si es conveniente o no que se genere dentro de la presa Reguladora, ya que de llevarse a cabo el proyecto, se podría abastecer de energía eléctrica a los poblados cercanos, por medio de la generación de las turbinas Bulbo propuestas para el eje de Tultita, con lo cual se ganaría en cuanto al aspecto de abastecer mas energía eléctrica a una mayor parte del país, cumpliendo con uno de los propósitos fundamentales que se fijó el gobierno de México, al crear la Comisión Federal de Electricidad en 1937, el cual es extender el servicio eléctrico a las poblaciones del área rural, donde aun no llega el suministro de energía eléctrica, esto brindaría un apoyo local importante, para dar el servicio a una mayor cantidad de mexicanos.

En caso contrario en el cual se observe que la demanda está satisfecha, sólo se recomienda realizar la Presa Reguladora Amata, la cual traerá el beneficio de brindar mayor calidad en la energía que se produce dentro de la central hidroeléctrica Raúl J. Marsal, en la Presa Comedero de la C.N.A., con lo que se brindará un mejor servicio y una mejor cobertura de la demanda requerida en el estado de Sinaloa, lo cual conllevará a fortalecer las bases, para poder llevar a cabo el desarrollo sustentable de esta importante región en el Norte de nuestro País.

Dentro de la determinación de la viabilidad de estos dos proyectos, será de vital importancia definir la forma de financiar el proyecto, ya que lo anterior impactará directamente al elevar nuestra TREMA (tasa de rendimiento mínima atractiva), lo cual nos podría llevar a escenarios negativos económicamente hablando, sobre todo en el caso del eje Tultita, el cual como se analizó es mas sensible a estos cambios, si se le compara con el sitio de Amata, por lo que parte también importante para poder tomar una decisión final, es establecer la manera en que llegarán los recursos, para establecer un flujo real de efectivo y llevar a cabo una programación de las inversiones, así mismo será importante establecer la fuente de financiamiento, la cual nos fijará el costo real del dinero, a través del tiempo para la realización de este proyecto.



Como corolario a lo realizado en este trabajo, se puede establecer que las ventajas de los proyectos hidroeléctricos los cuales ha venido realizando eficientemente la C.F.E. a lo largo de su historia, son que este tipo de proyectos tiene la finalidad de producir energía eléctrica por medio de recursos renovables, lo cual es importante considerar en el largo plazo, ya que este tipo de recursos no se agotan, con lo que se evitarán problemas a los que seguramente se enfrentarán las centrales termoeléctricas, las cuales funcionan con base en los hidrocarburos, por lo que se encuentran supeditadas al mercado caótico e inestable del petróleo, lo que impacta directamente en sus productos derivados, que son utilizados como combustibles en las plantas termoeléctricas, además si a lo anterior se añade, que este es un recurso finito, el cual en un mediano plazo se podrá agotar, lo anterior traerá consigo un encarecimiento gradual de los mismo y finalmente su agotamiento, tomando en cuenta lo anterior considero que siendo el sector eléctrico un sector estratégico para el desarrollo de México, se debe llevar a cabo una planeación a largo plazo, que sienta las bases para el futuro y al mismo tiempo resuelva los problema del presente, con una política sana para el desarrollo del país.

En este caso en específico se mejorará la forma en que viene generando una central hidroeléctrica en cuanto operación, agregando el beneficio extra de que la SEMARNAP puede colocar criaderos de peces en el vaso, lo cual se vio que es factible por la calidad del agua, con lo anterior se establecerá una nueva actividad económica en la región, brindando un beneficio adicional asociado al proyecto, en beneficio de los habitantes de Sinaloa que radiquen próximos al vaso de regulación.

Como se estableció a lo largo del desarrollo de este proyecto, es importante mirar hacia los proyectos ya establecidos, para evaluar las posibles mejoras a estos, llevando primero un análisis de la manera en que funcionan los sistemas que ya existen, con la finalidad de establecer mejoras asociadas, las cuales tengan como finalidad incrementar la eficiencia de los proyectos, ya que en algunas ocasiones suelen ser soluciones más económicas comparadas a la realización de nuevos proyectos, por lo cual a mi juicio debe ser importante analizar las mejoras a los sistemas ya establecidos para que funcionen de manera más eficiente, siempre basándose en ser técnicamente viables y económicamente atractivos, con lo cual se podrán establecer ahorros y se podrá invertir en infraestructura en las partes más sensibles y prioritarias en el país, gastando de una mejor manera el presupuesto de la nación.

En este caso como se vio la idea inicial de este proyecto parte de esta filosofía, con lo cual se podrá eficientar la generación y la calidad de la misma en la Central Hidroeléctrica Comedero, con un proyecto que directamente no producirá energía, sino que mas bien aportará el beneficio de un mejor funcionamiento de la Presa aguas Arriba del Proyecto de regulación, o visto desde otra arista, los beneficios anuales que se obtuvieron asociados a la regulación diaria, actualmente es el dinero que continuamente se sigue perdiendo al no realizar el proyecto de regulación.

Al mismo tiempo es importante establecer la interdependencia de los distintos proyectos, con el objeto de que se lleven acabo simultáneamente, o en un orden preestablecido, con la finalidad de que funcionen correctamente, ya que por ejemplo en el caso de la Presa de Comedero, desde el año de 1980 se plantea la necesidad de estudiar la Presa Reguladora, pero por cuestiones de programación, aun no se ha realizado el proyecto, siendo que la Central Hidroeléctrica Raúl. J. Marsal lleva operando desde 1990, razón por lo que se hace necesario que estos planes se realicen de manera conjunta, en el caso que trabajen de manera simbiótica, teniendo la peculiaridad de que en sí el problema no radicó

en la liquidez, sino en la falta de planeación, ya que si recordamos de esa fecha a la actual se han llevado a cabo grandes proyectos como por ejemplo: Zimapan Aguamilpa y Agua Prieta, los cuales no se les puede comparar en cuanto al monto de las inversiones ni el tamaño, con el de una Presa Reguladora, razón por la cual se deben establecer estas relaciones, para que se efficienten los sistemas a desarrollar.

Por último debo considerar que es importante tomar en cuenta como gremio, un cambio de actitud enfocado hacia una participación crítica constructiva, que haga ver estas posibles mejoras a los decisores, evitando culminar nuestras tareas, una vez acabado los diseños sin darle seguimiento al trabajo, o llevar la realización de una instrucción contenida en un plano de construcción sin ir mas allá de lo que establece la instrucción, con base en nuestro perfil académico y en los conocimientos que adquirimos en las interesantes cátedras que se imparten en nuestra universidad, es menester explotar esta riqueza humana y de esta manera poder ser nosotros mismos los que fomentemos nuestras ideas innovadoras, las cuales ayudarán a vislumbrar mejores caminos para nuestra sociedad.

Debido a lo anterior es tarea importante del ingeniero exigirse más a sí mismo y esforzarse en aplicar su conocimiento y vivencia hacia otras ramas con las cuales tendrá roce profesional, a las que debe permear con estas ideas, proponiéndolas de una forma más decidida, para lograr los cambios necesarios y trascendentes para el futuro y el presente de nuestra sociedad, lo cual traerá una mejora continua en nuestra forma de vida.

Con base en estas habilidades y la pujanza del gremio debemos ser punta de lanza, para poder llevar a cabo los cambios que requerimos, facilitando los servicios necesarios para la sociedad tanto de manera cuantitativa como de manera cualitativa, lo cual se reflejará en orden y progreso para la sociedad y en su conjunto para el país.

Por mi raza hablará el espíritu

## BIBLIOGRAFÍA

Boletín Hidrológico Número. 36, Región Hidrológica Número 10 Sinaloa.  
Secretaría de Recursos Hidráulicos, Jefatura de irrigación y control de ríos, Dirección de Hidrología

Manual de diseño de obras civiles  
A.2.10 Obras de excedencias  
Comisión Federal de Electricidad

Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos  
Canavos George C. Mc Graw-Hill, 1986, México D.F.

Análisis y evaluación de proyectos de inversión  
Coss Bu Raúl. Limusa, 2000 México D.F.

Preparación y Evaluación de Proyectos  
Sapag Chain Nassir, Mc Graw Hill, 2000, Chile Santiago

Abastecimiento de Agua Potable  
César Valdez Enrique, UNAM, 1994, México D.F.

Informe de Operación  
Comisión Federal de Electricidad, 1996, México D.F.

P.H. Comedero Estudio de Factibilidad  
C.F.E., Gerencia de proyectos hidroeléctricos, Subgerencia de ingeniería preliminar civil y geotécnica.

P.H. Amata Sin. Eje Tultita Características Generales  
C.F.E., Gerencia de proyectos hidroeléctricos, Subgerencia de ingeniería preliminar civil y geotécnica.

P.H. Amata Sin Anteproyecto  
C.F.E., Gerencia de proyectos hidroeléctricos, Subgerencia de ingeniería preliminar civil y geotécnica.

Estudio Hidrológico del Estado de Sinaloa  
Inegi, 1995, México D.F.

Design of gravity dams  
USBR

Roller Compacted Concrete Dams  
Kenneth D. Hanson, ASCE

Hidráulica General  
Vol.1 Fundamentos  
Sotelo Avila Gilberto, Limusa, 1996, México D.F. 1996

Ingeniería de los Recursos Hidráulicos  
Linsley Ray E., Compañía editorial continental, 1979, México D.F.

Páginas en Internet

[www.cfe.gob.mx](http://www.cfe.gob.mx)

[www.sinaloa.gob.mx](http://www.sinaloa.gob.mx)

[www.cna.gob.mx](http://www.cna.gob.mx)

[www.inegi.gob.mx](http://www.inegi.gob.mx)

[www.power.alstom.com](http://www.power.alstom.com)

Programas utilizados:

Funvaso

Hidra

Turbi

Tránsito

Equipo 2000

Todos los programas utilizados, fueron desarrollados en la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos de la C.F.E.