



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

---

FACULTAD DE INGENIERIA

"PROYECTO HIDROELECTRICO, ZIMAPAN"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

**PAULINO TORRES MARTINEZ**



MEXICO, D. F.,

1996

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



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 esta 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  
AVENIDA DE  
MEXICO

Señor:  
TORRES MARTINEZ PAULINO.  
Presente.

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-225/92

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Francisco Vázquez Limas, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"PROYECTO HIDROELECTRICO ZIMAPAN, HIDALGO"**

- I.- INTRODUCCION
- II.- ANTECEDENTES
- III.- ESTUDIOS PRELIMINARES
- IV.- OBRA DE DESVIO
- V.- CORTINA
- VI.- OBRA DE EXCEDENCIA
- VII.- CASA DE MAQUINAS
- VIII.- PRESUPUESTOS
- IX.- 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 13 de noviembre 1992.  
EL DIRECTOR

  
ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

16 · JMCS/RCR\*rmfa

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

## FACULTAD DE INGENIERIA

*Al creador por darme la oportunidad, misión y alegría de vivir.*

*A mis padres, quienes con amor, cuidados y ejemplo, me dieron la oportunidad de ser, formarme y desarrollarme. A ustedes dedico con cariño este trabajo.*

*A mi esposa, quien me alento, ayudò y motivo a realizar y terminar èste trabajo.*

*A mis hijos: Jose Paulino y Mario Luis, anhelo dicha y esperanza de mi vida. Y por ser el aliciente de mis proyectos y el no olvidar que hermosa es la infancia y compartirla conmigo.*

*A mis suegros, que me alentaron a terminar mi meta.*

*A todos mis familiares: Hermanos, Cuñados, Sobrinos y demás familiares quienes siempre han deseado lo mejor para mi.*

*A mis compañeros y amigos de la Facultad de Ingeniería.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería por haberme aceptado como estudiante y darme la oportunidad de tener una profesión.*

*Con agradecimiento al Ing. Francisco Vazquez Limas por su ayuda, apoyo y direcciòn en la realizaciòn de esta tèsis.*

*Con agradecimiento al Ing. Juan Carlos Gonzàlez A. Por su participaciòn y ayuda directa en la Ediciòn de este trabajo.*

*A mis jefes donde trabajo, mi agradecimiento por las facilidades para ausentarme de mis labores, durante la etapa màs difìcil en la elaboraciòn de èsta tèsis.*

# INDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>III.</b>	<b>ESTUDIOS PRELIMINARES.....</b>	<b>6</b>
III.1	ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.....	10
III.2	ESTUDIOS HIDROLOGICOS,CLIMATOLOGICOS Y DE ESCURRIMIENTO....	17
III.3	ESTUDIOS GEOLOGICOS.....	22
III.4	ESTUDIOS TOPOGRAFICOS.....	30
III.5	ESTUDIOS DE SISMOLOGIA.....	30
<b>IV.</b>	<b>OBRA DE DESVIO.....</b>	<b>32</b>
IV.1	DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS.....	38
	DATOS GENERALES.....	39
	GEOLOGIA.....	40
IV.2	ALCANCES DE LAS OBRAS.....	43
<b>V.</b>	<b>CORTINA.....</b>	<b>45</b>
V.1	DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS.....	51
	IMPERMEABILIZACION.....	60
	DATOS GENERALES.....	66
	GEOLOGIA DE LA BOQUILLA.....	68
V.2	ALCANCES DE LAS OBRAS.....	69
<b>VI.</b>	<b>OBRA DE EXCEDENCIA.....</b>	<b>71</b>
VI.1	DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS.....	76
	DATOS GENERALES.....	80
	GEOLOGIA DE LA ZONA.....	81
VI.2	ALCANCES DE LAS OBRAS.....	82
<b>VII.</b>	<b>CASA DE MAQUINAS.....</b>	<b>83</b>
VII.1	DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS.....	85

<b>OBRAS DE GENERACION.....</b>	<b>88</b>
<b>a) CASA DE MAQUINAS.....</b>	<b>88</b>
<b>b) GALERIA DE TRANSFORMADORES.....</b>	<b>89</b>
<b>c) ACCESO A CASA DE MAQUINAS.....</b>	<b>89</b>
<b>d) DESFOGUES.....</b>	<b>92</b>
<b>e) SUBESTACION.....</b>	<b>93</b>
<b>f) OBRA DE TOMA.....</b>	<b>93</b>
<b>g) TUNEL DE CONDUCCION.....</b>	<b>96</b>
<b>h) POZO DE OSCILACION.....</b>	<b>97</b>
<b>I) TUBERIA A PRESION.....</b>	<b>100</b>
<b>DATOS GENERALES.....</b>	<b>111</b>
<b>GEOLOGIA DE LAS OBRAS.....</b>	<b>112</b>
<b>VII.1.2 INFRAESTRUCTURA.....</b>	<b>115</b>
<b>VII.2 ALCANCES DE LAS OBRAS DE GENERACION.....</b>	<b>127</b>
<b>VIII. PRESUPUESTOS.....</b>	<b>129</b>
<b>VIII.1 ANALISIS ECONOMICO DE LA OBRA CIVIL.....</b>	<b>130</b>
<b>VIII.1.2 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....</b>	<b>132</b>
<b>VIII.1.3 PRECIOS UNITARIOS.....</b>	<b>133</b>
<b>VIII.1.4 COSTOS INDIRECTOS.....</b>	<b>135</b>
<b>VIII.1.5 COSTOS Y ELABORACION DE PRECIOS UNITARIOS.....</b>	<b>136</b>
<b>IX. CONCLUSIONES.....</b>	<b>142</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>145</b>

# CAPITULO I

## INTRODUCCION



## I. INTRODUCCION

La Planta Hidroeléctrica denominada Zimapán es un aprovechamiento de gran envergadura y complejidad y que armoniza con el medio natural y social de la región,este aprovechamiento forma parte de el Potencial Hidroeléctrico existente en el río Moctezuma,el cual a su vez es afluente del río Pánuco.

Para decidir la construcción de la Planta Hidroeléctrica mas adecuada y que mejor encajará en el sistema eléctrico existente.La Comisión Federal de Electricidad realizó el estudio integral del río Moctezuma,escogiendo como el sitio más idoneo la **Boquilla** de el **Cañón** conocido como el **INFIERNILLO** ,en donde se llevará a cabo la construcción de la **Planta Hidroeléctrica de Zimapán** .

La Comisión Federal de Electricidad estudia,planea,diseña,construye y distribuye la energía eléctrica del país,por lo tanto para satisfacer la demanda,tiene que hechar mano de varias fuentes de producción de energía entre las cuales se encuentran las Plantas Hidroeléctricas ,Termoeléctricas y Geotérmicas entre otras.

La inversión en la construcción de una Planta Hidroeléctrica a primera vista parece excesiva,pero en relación a los costos de operación ,por ejemplo,de las Plantas Termoeléctricas las cuales generalmente utilizan combustible fósil ,el cual cada vez es mas excaso y con un aumento constante en el precio ,aunado a que se trata de un recurso no renovable y además producen desechos que afectan al medio ambiente,no es tan excesiva la Inverslón.

La construcción de la Planta Hidroeléctrica de Zimapán aunado a la producción de energia eléctrica ,traerá otros beneficios aldeafios a la región como son :

**-Un cambio climático al humectarse la zona cercana al embalse,que ahora se siente seco y desértico.**

**-Una mejora de las condiciones de vida en general por la presencia de nuevos cuerpos de agua .**

**-La probable purificación de las aguas por la caída de más de 400 metros a la casa de máquinas y por la velocidad de las propias Turbinas,así como la posterior caída al río Pánuco.**

**-La transformación de la flora en las riberas del vaso,con posibilidad de una forestación que ahora no existe.**

**-El cambio social,la pesca y la recreación entre otras.**

## CAPITULO II

### ANTECEDENTES

## II. ANTECEDENTES

Existen numerosos sitios en todas partes del mundo, en los cuales se han y se siguen utilizando los ríos para usos muy variados que tienden a mejorar y a hacer más llevadera la vida humana. Entre los usos más comunes se encuentran: Abastecimiento de agua, riego, producción de energía eléctrica, navegación, pesca, recreación, control de inundaciones y azolves. En nuestro caso el agua será utilizada principalmente en la generación de energía eléctrica.

En el estado de Hidalgo, lugar donde se construirá la presa hidroeléctrica, se asentaron numerosas culturas prehispánicas una de las cuales dejó claros vestigios en Tula y en donde todavía en la actualidad existen Los Colosos de Tula, mudos testigos de lo que ahí existió.

Gran parte del estado de Hidalgo es muy accidentado debido a los movimientos telúricos que acontecieron en épocas ya muy remotas, en esa región se asentaron varias culturas prehispánicas. Predominaban los Otomíes los cuales fueron conquistados por los españoles, los Mexicas, los Nahuas, los Tepehuanes y los Toltecas.

En la época colonial, por su riqueza minera florecieron varios sitios entre los que destacaron: Pachuca, Real del Monte, Conde de Regla y ZIMAPAN.

En la actualidad se siguen trabajando en varias minas y en el presente; Hidalgo produce textiles, materias primas, productos industriales diversos, comunicación espacial, ejemplo de ello es la Antena de Tulancingo, que comunica a México vía satélite con el resto del mundo. También cuenta con importantes cuencas lecheras y una importante producción agrícola, frutícola y de hortaliza.

El abastecimiento de energía eléctrica al poblado de Zimapán se ha hecho a través del Sistema Central. Por lo que la Central Hidroeléctrica de Zimapán se construirá para integrarla al Sistema Interconectado Nacional, por su cercanía con las centrales de el Zúuz, Querétaro y Tula. Cuando esto suceda, la región altiplánica del centro del país se habrá enriquecido con un potencial de 1,292 Gigawatts por año.

En el estado de Hidalgo se encuentran asentadas la Termoeléctrica el Llano en Tula, así como las presas Omiltepec y Tejocotal cerca de Acaxotitlán, las presas Las Animas Pedregal y las Trancas cerca de Atotonilco de Tula, la presa de la Peña aproximadamente a 9 Km de Afajayucan. Además de las subestaciones y las respectivas líneas de transmisión.

Existen varias poblaciones con gran densidad demográfica entre las que podemos mencionar Pachuca (Capital del Estado), Tula, Tulancingo, Ixmiquilpan, Actopan, Huejutla y Tepeji de Ocampo.

Para la preparación profesional y técnica de los nuevos cuadros humanos, cuenta con instalaciones de enseñanza superior como lo es la Universidad Autónoma de Hidalgo entre otras; instalaciones para la enseñanza media superior así como escuelas para la enseñanza básica. Cuenta también con varias instituciones financieras como Banamex, Bancomer, Atlántico, etc..

Su red de carreteras conecta las principales poblaciones del estado ya que como anteriormente se mencionó el terreno es sumamente accidentado.

Entre las carreteras principales es conveniente mencionar :

La Supercarretera a Querétaro, La de Actopan, Ixmiquilpan, Huichapan, La de Zimapán, Tulancingo, Molango, Huejutla, Pinal de Amoles; La México-Pachuca, Pachuca-Tuxpan, Pachuca-Pozarica, etc. Destacando que la comunicación terrestre entre las ciudades de Caderyta; Querétaro y Zimapán; Hidalgo se verá beneficiado con la construcción del camino pavimentado (Aproximadamente 65 Km de longitud), pasando este sobre la

**corona de la cortina y significando un ahorro en tiempo de aproximadamente 1.5 horas de Zimapán a Cadereyta.**

# CAPITULO III

## ESTUDIOS PRELIMINARES

### III. ESTUDIOS PRELIMINARES

Es indudable que para cualquier estudio hidroeléctrico, se requiere contar con datos climatológicos, hidrológicos, geológicos, topográficos, demográfico y del mercado eléctrico (SISTEMA) al cual va a estar intercomunicada la planta.

Con los datos disponibles-topográficos, geológicos, hidrológicos, etc. La Comisión Federal de Electricidad localizó y estudió a lo largo del río Moctezuma los aprovechamientos de Zimapán, Aguacate y/o Jiliapan, Chamal, Tamán y Tamazunchale (véase figura no. 1).

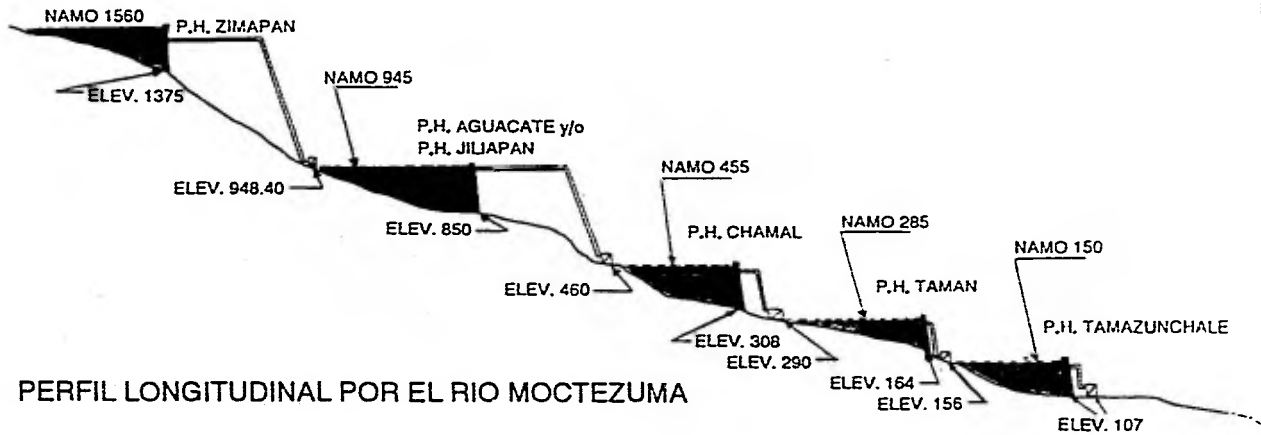
Así en forma general, el proceso que "sigue" un estudio para la generación de energía que realizó la Comisión Federal de Electricidad, la cual tiene a su cargo detectar las necesidades energéticas del país, así como la planeación para su satisfacción. Estas necesidades podrán ser satisfechas por diferentes medios (termoeléctricas, geotérmicas, nucleoeeléctricas e hidroeléctricas); a la vez, se tienen identificados proyectos de cada una de las fuentes alternas en diferentes sitios en todo el territorio nacional.

Una vez identificada la zona con sus requerimientos y las posibles alternativas de solución con que se cuenta en la misma, se inicia una interrelación con las gerencias que tienen a su cargo los proyectos factibles dentro de la zona para poder elegir el que presente las mayores ventajas técnicas y económicas.

En la definición de la construcción de una Planta Hidroeléctrica interviene, en principio, la Gerencia Técnica de Proyectos Hidroeléctricos, en la cual se estudian las cuatro fases para el Anteproyecto Hidroeléctrico: Identificación, Evaluación, Prefactibilidad, Factibilidad.



## PROYECTOS HIDROELECTRICOS SOBRE EL RIO MOCTEZUMA



PERFIL LONGITUDINAL POR EL RIO MOCTEZUMA

ELEVACIONES EN m.s.n.m.

(Fig. No. 1)

**IDENTIFICACION:** Define los probables sitios a nivel nacional de los aprovechamientos hidroeléctricos.

**EVALUACION:** Con base en el sistema hidrológico de la cuenca a subcuenca se definen los esquemas de aprovechamiento integral tomando en consideración todos los aspectos para utilización de dicho recurso.

**PREFACTIBILIDAD:** Para cada sitio específico se define el conjunto de obras más convenientes para lograr el aprovechamiento.

**FACTIBILIDAD:** Para el sitio específico y lo señalado en el inciso anterior se define la factibilidad técnica, económica y social del proyecto.

Este mecanismo tiene un carácter dinámico, permitiendo una retroalimentación proveniente de los procesos de el estudio y la planeación en cada una de las etapas y que permitirá elegir el proyecto idóneo para satisfacer las necesidades energéticas.

Una vez seleccionado el proyecto que satisface, por su potencia y generación, las necesidades del sistema eléctrico regional-nacional y cumple, por otro lado, con la factibilidad técnica, económica y social, se inicia la etapa final, el diseño ejecutivo del proyecto.

Tomando como punto de partida el estudio de factibilidad, se lleva a cabo el proyecto ejecutivo de detalle que habrá de realizarse y estudiarse por un grupo interdisciplinario (Estructural, Mecánica, Eléctrica, Hidráulica, Geotécnica etc) de ingenieros en su inmensa mayoría mexicanos.

En esta última etapa se lleva a cabo la revisión de los esquemas propuestos, requiriéndose estudios de detalle topográficos, geológicos y geotécnicos, que en muchos casos, modifica las propuestas iniciales del anteproyecto, aunque no en forma esencial.

El grupo de ingenieros del proyecto juega un papel clave dentro del equipo global de trabajo ya que su objetivo es definir en detalle, las obras hidráulicas que permitan aprovechar los recursos de la manera más eficiente, tomando en cuenta las técnicas actuales de diseño y construcción así como los objetivos que se requieren cumplir definiendo, entre otras cosas los siguiente:

- Manejo del río (en su etapa de desvío y cierre final).
- Estructuras a construirse (obras de contención, excedencias y captación),
- Equipo y arreglo de la planta hidroeléctrica propiamente dicha.
- Enlace de la planta con el sistema de interconexión regional o nacional.
- Retroalimentación en el proyecto y la construcción.

### III.1 ESTUDIOS DEL IMPACTO AMBIENTAL

La construcción de una obra de gran envergadura del Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, implica (además de las económicas) múltiples consecuencias, en las cuales, las sociales y ecológicas son solamente algunas de las más importantes. Por lo que a continuación se describen los estudios realizados y por realizarse:

En 1988 cuando aún no se había iniciado la obra del Proyecto Hidroeléctrico; La Comisión Federal de Electricidad realizó estudios preliminares sobre las características del Impacto Ambiental y de Ecología de la obra en la zona. Aplicando acciones que permitan reducir los impactos adversos al ecosistema y adecuar la utilización de los recursos de la superficie del futuro embalse y su área de influencia en apego a la normatividad que marca la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Desde entonces se encuentran en la zona un grupo de biólogos y asistentes contratados por la Comisión Federal de Electricidad desarrollando estudios y programas en el área de **Ecología, Impacto Ambiental, Vegetación Terrestre y Programas de Rescate.**

Vale la pena resaltar que cuando se habla de Impacto Ambiental, especialmente de una obra construida por el hombre, se consideran dos grandes rubros: **El de los efectos positivos y el de los efectos negativos.** El impacto además de negativo ó positivo puede serlo de corta duración ó larga duración, como también puede suceder que sea **permanente e irreversible.** Y hasta puede pasar de negativo a positivo ó viceversa, según el manejo de los factores implicados.

Inicialmente se elaboró un programa general del proyecto que se dividió en varias etapas:

**La Primera Etapa**, de diagnóstico ambiental preliminar, la de establecimiento de estrategias( que metodologías se aplicarían, que programas específicos se diseñarían para el proyecto). **La Segunda Etapa** consiste en resolver con los resultados de diagnóstico ambiental preliminar, en cuantos programas se dividirá el proyecto. De allí se pasa a la Tercera Etapa de programas ó estudios específicos que nos señalan en grande rubros las áreas de acción : Fauna, Flora al Ambiente, al que se dividió en Acuático y Terrestre.

En resumen y de acuerdo a lo anterior, el programa se formuló con los rubros correspondientes a :

**a). VEGETACION ACUATICA:** Determinar las especies potenciales formadoras de malezas, que podrían proliferar en el embalse y establecer la estrategia de promoción.

**b). FAUNA ACUATICA:** Realizar un inventario de especies para detectar las susceptibles de ser introducidas en bordos temporaleros con fines de autoconsumo y señalar las que sean indicadoras de contaminación.

**c). FLORA TERRESTRE:** Inventariar la flora y vegetación, rescatando las que están en riesgo de extinción y restituyendo la naturaleza con fines comercial, cultural y biológico.

**d). FAUNA TERRESTRE:** Determinar las especies en peligro de desaparecer y caracterizar las que sean acordes con la vegetación cuidando de identificar los vectores de enfermedades.

Además se incluyó otro programa el de conservación de los recursos naturales y evaluación de impacto, englobando los conceptos anteriores.

Una vez que se evalúan los que son prioritarios y son clasificados en programas de corto, mediano y largo plazo de acuerdo a las necesidades de evitar los impactos negativos que pueden preverse, se pone en práctica el programa de rescate de las especies en peligro de extinción. Al comenzar esta obra de tal magnitud, los primeros trabajos de aperturas de caminos o

movimientos de tierra, en general pueden provocar la pérdida de numerosas especies, así es que se consulta el catálogo de especies elaborado y se procede a rescatar todas aquellas que peligran y tengan un valor ecológico, económico ó cultural. En consecuencia de los estudios realizados, una de las especies en peligro de extinción y que se pretende rescatar es la **EHINOCACTUS GRUSONII**, una cactácea que está reportada como exclusiva de la zona del Cañón de el Infiernillo, el lugar preciso donde se construye la cortina que contendrá las aguas para formar el embalse.

Así mismo se han rescatado ejemplares de dos metros de altura y una edad estimada entre 300 y 400 años. También las semillas de todas las especies en peligro de extinción para ser enviadas al banco de germoplasma del Instituto Tecnológico de Monterrey. Los ejemplares de mayor tamaño son enviados a distintos jardines botánicos del país luego de mantenerlos en un periodo de cuarentena en los jardines que se tienen en el campamento de la obra, que hace las veces de hospital para las especies. Principalmente el trabajo es rescatar ejemplares con capacidad reproductiva y los de mayor talla.

Otro aspecto importante de estudio fue la **calidad del agua** en el embalse de la presa. La mayor parte de los ríos de México están contaminados, aquí no se da la excepción. El río Tula, uno de los afluentes del embalse, es el receptor de las aguas residuales de la Ciudad de México y además del distrito de riego 03, lo que ocasiona serios problemas de contaminación. También el otro afluente, el río San Juan, tiene problemas de contaminación graves. Estos estudios dieron la pauta de como diseñar estrategias y como acotar los programas específicos que necesariamente deben tener un principio y un final para poder proponer medidas de atenuación y trabajar sobre ellas.

En síntesis el programa que se formuló en relación al rubro Hidrológico fue: **Avalar la calidad del agua** de los ríos Tula, San Juan y Moctezuma y de las

aguas subterráneas del área de influencia del futuro embalse. En este programa se involucra otro que es el de Vegetación Acuática y Riverería para poder conocer las especies que puedan llegar a desarrollarse por las características del agua que proporcionan los ríos y las del embalse. Estas investigaciones están íntimamente ligadas a los estudios de epidemiología porque se deben de conocer los vectores de enfermedades ya que existen comunidades próximas al embalse. La obra también produce un impacto en la salud pero dicho impacto, al igual que el ambiental, puede ser negativo y/o positivo.

En relación al Área de Desarrollo Social, se desarrolló un estudio para tener un conocimiento adecuado del uso que las comunidades dan a los recursos materiales de la zona y así proponer medidas de atenuación viables. Si las medidas de atenuación se ofrecieran al margen del uso que hacen los campesinos, estos quedarían fuera del contexto.

Con la participación del Área de Desarrollo Social también se tratará de inducir a las comunidades a un uso más racional y eficiente de los recursos naturales. Los pueblos que se ubican en la zona que será cubierta por las aguas del embalse, serán trasladados a zonas cercanas en las que se construyen especialmente complejos habitacionales.

El impacto mayor que más ha preocupado a los investigadores de la Comisión Federal de Electricidad, es el relativo al problema epidemiológico y de las mutaciones biológicas en plantas y animales, de donde el proyecto en conjunto ha considerado la exigencia de tener de modo permanente una vigilancia que detecte cualquier efecto nocivo o que se pueda transformar en resultados positivos. Así el programa que se formuló en relación al rubro epidemiológico fue: Diagnosticar los niveles de salud y darles seguimiento en coordinación con los programas faunísticos de vectores de morbilidad.

Y el programa formulado en relación al rubro **Disposición de Desechos:** Darle tratamiento adecuado a los residuos(sólidos y líquidos)provenientes de campamentos y el nuevo poblado mediante métodos adecuados en sitios que no produzcan daños a corto y largo plazos.

El área bajo observación y protección ecológica tiene una superficie de 8,760 hectáreas e incluye los siete diferentes tipos de vegetación que se hallan en el futuro embalse, las subestaciones, la casa de máquinas, los caminos de acceso y el nuevo poblado.

Complementariamente, la Comisión Federal de Electricidad ordenó un estudio para conocer el impacto probable de la obra en la región con el objeto de determinar como se podría lograr un mayor beneficio de este gran esfuerzo de ingeniería. El área de ubicación del estudio comprendió amplias zonas de Querétaro y de Hidalgo, que al realizarse el proyecto estaban marginadas del desarrollo de país y consideradas entre las más pobres de la mesa central. El objetivo inicial fue hallar una dimensión del progreso a partir de esta obra de infraestructura, con el interés de establecer una o varias ciudades capaces de alojar población excedente del área metropolitana que circundan al Distrito Federal.

Para ello se diseñó la creación de un **Corredor Industrial** en las cercanías de la Central Hidroeléctrica con las siguientes características:

- a). Un eje carretero Querétaro-Pachuca, con tramo de autopista entre Tequisquiapan e Ixmiquilpan, poliducto y ferrocarril, para el desarrollo del Corredor Industrial.
- b). Alojamiento para una población nueva de dos millones de habitantes, que podría instalarse en una ó varias ciudades a lo largo del corredor.
- c). Destino de un área total de 19,100 hectáreas, de las cuales 2,300 serían para zona industrial, 11,950 para áreas urbanas, 1,750 de reserva territorial y 3,100 para expansión de los actuales poblados de las cercanías.



d). Estimación de cien mil nuevos empleos en el sector terciario, con estímulo para la población existente.

La base de sustentación para este proyecto serían los siguientes elementos:

e). Uso de 3 m<sup>3</sup>/s ,para usos industriales procedentes del vaso del embalse y 4 m<sup>3</sup>/s de fuentes naturales de abastecimiento de los ríos de Tecozautla, Tasquillo, Ixmiquilpan, Cardonal y Orizabita destinado a consumo doméstico.

f). Ocupación de terrenos aldeaños a la presa que ahora están improductivos en los municipios de Tecozautla, Ixmiquilpan, Tasquillo y Cadereyta.

g). Aprovechamiento de una extensa red de caminos, susceptibles de mejorar y que dan comunicación a la ciudad de México, al Bajío, al Golfo de México y al Noroeste del país; Además de las redes férreas que cruzan la zona.

h). Suministro amplio de electricidad por la cercanía de la Hidroeléctrica y de combustible por la proximidad de la refinería de Tula.

Este Corredor Urbano-Industrial, indica el estudio " ofrece no sólo la oportunidad amplia de su propio desarrollo, sino que permitirá el crecimiento económico de la región, donde sus poblaciones y ciudades asumirán un papel protagónico, como centros de apoyo en lo comercial, en lo turístico, en el abasto agropecuario y en la mano de obra para la construcción".

Finalmente los objetivos principales de estudio fueron los cambios ambientales que mejoren en entorno al Proyecto Hidroeléctrico, tomando en consideración que la fuente principal de alimentación de la presa son las aguas residuales del Valle de México, ahora expulsadas por el **Drenaje Profundo del Distrito Federal**.

Las características principales son :

- PROBABLE PURIFICACION DE LAS AGUAS.
- CAMBIO CLIMATOLOGICO PARA LA HUMECTACION DE LA ZONA.
- MEJORA DE VIDA POR LA PRESENCIA DE NUEVOS CUERPOS DE AGUA.
- TRANSFORMACION DE LA FLORA EN LA RIBERAS DEL VASO.
- REDUCCION DE RIESGOS POR LA OPERACION DE LA PRESA EN AGUA FRESCA Y DESECHOS SOLIDOS.

### III.2.ESTUDIOS HIDROLOGICOS,CLIMATOLOGICOS Y DE ESCURRIMIENTO

Uno de los estudios mas importantes para la realización de un proyecto hidroeléctrico es el correspondiente a el régimen de escurrimiento de un río,el cual se obtiene con los gastos registrados en las estaciones hidrométricas que se encuentran localizados cerca del proyecto.Estos son para obtener elementos necesarios para definir las características del proyecto.

#### a).HIDROLOGICOS Y CLIMATOLOGICOS:

En relación a los estudios hidrológicos,se mantienen registros del área del Proyecto de varias estaciones como Paso de Tablas y Presa Centenario sobre el río San Juan,Ixmiquilpan sobre el río Tula,en la Laguna de Metztlán,Tierra Blanca y Puente Mazacintla,entre otras.Las cuales están distribuidas dentro de la cuenca del Proyecto y de las mismas,en general,se obtuvieron las siguientes características hidrológicas:

<b>Area de la Cuenca (río Pánuco)</b>	<b>84,956 Km2.</b>
<b>Area de la Cuenca Hasta el Sitio de Captación.</b>	<b>11,869 Km2.</b>
<b>Area del Embalse al NAMO.</b>	<b>21.8 Km2.</b>
<b>Capacidad Util.</b>	<b>680 MILL. m3.</b>
<b>Capacidad al NAMO (Elev. 1560 msnm.)</b>	<b>1,360 MILL. m3.</b>
<b>Número de Años de Registro.</b>	<b>22 Años.</b>
<b>Escurrecimiento Medio Anual.</b>	<b>982 MILL. m3.</b>
<b>Volumen Medio Mensual Escurrecido.</b>	<b>81.8 MILL. m3.</b>
<b>Gasto Medio Anual.</b>	<b>31.1 m3/seg.</b>
<b>Volumen Medio Anual</b>	<b>868 MILL. m3.</b>

<b>Aprovechado.</b>	
<b>Gasto Medio Aprovechado.</b>	<b>27.4 m3/seg.</b>
<b>Porcentaje de Aprovechamiento.</b>	<b>88 %</b>
<b>Precipitación Media Anual.</b>	<b>1,188 mm.</b>
<b>Periodo de LLuvias.</b>	<b>JUNIO-OCTUBRE</b>

Para el diseño de la obra de desvío se utilizó una avenida con un periodo de retorno de 10 años, arrojando un Volumen de 298 mill.m3 y un Gasto Máximo de 609 m3/seg.

Los registros de escurrimientos, azolves, evaporación, temperatura y lluvias, han permitido determinar la magnitud del aprovechamiento, así como los gastos de diseño de la obra de desvío y de excedencias.

En general para los estudios Climatológicos e Hidrológicos del Proyecto, se analizaron datos de 43 estaciones climatológicas distribuidas en las cuencas del valle de México, del río Tula y del río San Juan, de las cuales las mas antiguas operan desde 1963. (vease figura no. 2).

## **b) ESCURRIMIENTOS**

El Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, forma parte del sistema Hidrológico del río Pánuco. El cual a su vez está integrado dentro de una de las principales cuencas de la República Mexicana; La Cuenca del Río Pánuco. En su mayor parte, se ubica dentro del clima templado y lluvioso, en su menor porción, al este de la Sierra Madre Oriental, dentro del clima tropical lluvioso. La Cuenca del Río Pánuco, es una de las más importantes del país no tanto por su amplitud, que



abarca un área de 84,956 Km<sup>2</sup>, sino porque el río Pánuco tiene un origen artificial, producto de la necesidad, ingenio y talento del hombre.

El río Pánuco nace en la misma fuente que daba lugar al nacimiento del río Lerma, en Almoloya del Río, Estado de México, de allí por medio de costosas obras de ingeniería, llega entubado a la ciudad de México; Además del Sistema Cutzamala y Pozos de los Mantos Acuíferos del valle sobre los que está asentada la ciudad; Después de alimentar a la gran urbe, sale por las alcantarillas al Gran Canal de Desague, de donde pasa al Canal de Tequisquiác y posteriormente al Tajo de Nochistongo, además de otras salidas.

En los trayectos recibe algunos arroyos, formando más tarde el Río TULA, continúa hacia el noroeste cambiando su nombre por el de Río MOCTEZUMA, que tras recibir numerosos afluentes pasa a denominarse Río Pánuco, ya en los límites de Veracruz y San Luis Potosí. Luego de recibir nuevos y caudalosos afluentes, llega al Golfo de México, donde finalmente desemboca cargado de materiales que al acumularse forman una barra.

Por otra parte se destaca la importancia que tiene el crecimiento del área metropolitana de la Ciudad de México, ya que los efluentes de la misma representan un volumen significativo y son desalojados, como ya se mencionó, hacia donde se encuentra la Cuenca del Río Tula, principal aportador del Proyecto. De tal suerte que los volúmenes aportados, variarían con el crecimiento de la población en el Valle de México, por lo tanto se considera que el volumen efluente máximo de la Ciudad se alcanzará cuando la tasa de crecimiento de la población se estabilice estimándose esto para el año 2026, según las tendencias actuales y las proyecciones efectuadas para el futuro.

En relación al Proyecto, para la Cuenca propia, se definió una tormenta a través de un modelo de lluvia-escorrentamiento y para cada afluente proporcionó las avenidas por cuenca propia. Finalmente se integraron cuatro avenidas para

cada periodo de retorno seleccionado, sumándolas entre sí y respetando su tiempo de traslado.

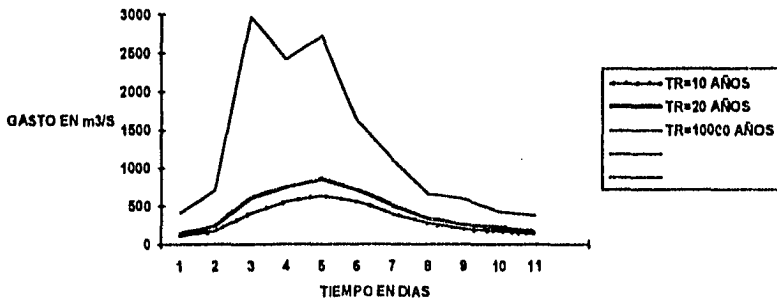
Los resultados obtenidos al utilizar el modelo anterior son los siguientes:

TR( AÑOS)	GASTO MAXIMO(m3/s )	VOLUMEN (miLL.m3)
10	632	310
20	842	403
10,000	2960	1209

En todos los casos la duración de la avenida se consideró de 11 días. A continuación se muestra el resumen de datos y el hidrograma representativo de la avenida máxima probable.

DIA	G A S T O m3/SEG.		
	10 AÑOS	20 AÑOS	10000 AÑOS
1	102	120	413
2	171	230	714
3	408	600	2960
4	552	736	2416
5	632	842	2712
6	555	701	1619
7	390	491	1113
8	272	325	658
9	197	247	591
10	171	213	424
11	137	160	375
<b>VOL.en MILL. M3</b>	<b>310</b>	<b>403</b>	<b>1209</b>

AVENIDA MAXIMA PROBABLE





### III.3. ESTUDIOS GEOLOGICOS

La Geología es otro aspecto muy importante en el Proyecto y construcción de cualquier tipo de presa. Se definen con precisión todas las fallas geológicas, contactos, zonas permeables, fisuras, detalles subterráneos, fracturas, entre otras.

Para los estudios Geológicos del sitio de la presa, se realizaron principalmente exploraciones con sondeos en las laderas y en el lecho de los ríos, de manera que se obtuvieron datos suficientes para conocer la Geología de la Boquilla y consecuentemente se realizaron los estudios en las zonas principales del Proyecto, en el Túnel de Conducción y la Casa de Máquinas.

#### **a) Geología de la Boquilla.**

##### **LITOLOGIA:**

El cañón del Infiernillo donde se localiza el sitio de cortina del Proyecto Hidrológico Zimapán, está constituido en su totalidad por rocas sedimentarias, cálizas micríticas dolomíticas y dolomías brechoides pertenecientes a la formación EL DOCTOR. Estas cubren una alternancia de arcillosas, lutitas calcáreas y areniscas de la formación SOYATAL; El contacto entre ambas es producto del tectonismo que afectó a toda esta región y que provocó la inversión estratigráfica presente en el cañón.

##### **CARSTICIDAD:**

No se tienen fenómenos de disolución dentro de la masa calcárea. Superficialmente se observa carsticidad vertical muy incipiente debida a escurrimientos.

**PERMEABILIDAD:**

Se tienen valores promedios de 0.90 u.L. clasificando al maciso rocoso como impermeable.

**ALTERACION :**

No presenta alteración visible. La capa de roca decomprimida oscila entre 0.25 y 1.20m (en esta zona se tienen velocidades de onda compresional de 714 a 2500 m/seg).

La roca sana tiene velocidades de onda compresional de 5000 a 6300 m/seg.

**ESTRUCTURAS:**

El maciso rocoso está afectado por fallas, dentro de las cuales destacan:

FALLA TULA con Rumbo N 75° W / 78° SW de tipo NORMAL.

FALLA CAJON con Rumbo N 78°W / 75° SW de tipo NORMAL.

FALLA DOCTOR con Rumbo N 64°E / 15° NW falla de  
CABALGADURA.

**FRACTURAMIENTO:**

Familia NE - SW RUMBO N 34° E / 78 SE.

Familia NW- SE RUMBO N 43°-51° / 78 SW.

El fracturamiento generalmente está en contacto roca a roca o sellado por calcita.

**ESTRATIFICACION:**

Rumbo General N 65° - 80° E / 10° NW.

## **b) Geología de la Conducción.**

Las rocas que afloran en la franja a lo largo del túnel de conducción son de origen sedimentario, ígneo y metamórfico: las primeras son carbonatadas, arcillosas y clásticas finas. Las ígneas son de tipo intrusivo y extrusivo y las últimas metamórficas por contacto con cuerpos intrusivos o cercanos a ellos, constituidas originalmente de areniscas y calizas que produjeron skarn hornfels y pizarras.

Las rocas sedimentarias corresponden a formaciones litoestratigráficas que varían desde el Jurásico Superior hasta el Cretácico, compuestas de las siguientes unidades:

### **Las Trancas (Js), El Doctor (Kd) y Soyatal (Ks).**

Las rocas intrusivas corresponden a cuerpos plutónicos en forma de apófisis y diques de granodiorita en la zona del pozo de oscilación. Los intrusivos hipabisales están compuestos de: Dique de cuarzo-monzonita (Tolimán-Carrizal) y diques dacíticos y riolíticos (Pozo Hondo) en espinas y cuellos volcánicos.

Las rocas volcánicas pertenecen a la formación Las Espinas, compuestas de andesitas cubiertas por volcánicos indiferenciados y paquetes de riolitas en la superficie.

A todo lo largo del túnel de conducción se cortará todo tipo de estructuras; Como fallas de tipo normal, inversas, etc. Así como estratificación foliación y fracturamiento el cual variará en intensidad y dirección en cuanto al tipo de formación que se labore dependiendo de la calidad mecánica del mismo y la fase tectónica que lo haya afectado.

## **c)GEOLOGIA DE LA CASA DE MAQUINAS.**

### **ESTRATIGRAFIA:**

El área de casa de máquinas está constituida por rocas sedimentarias de la Formación Las Trancas con diversos grados de metamorfismo de contacto la que para su estudio ha sido subdividida en dos miembros. El inferior tiene una secuencia rítmica metamorfizada, cuyos protolitos son calizas, lutitas y areniscas de estratos delgados a medianos, mientras que hacia su cima están ausentes las areniscas, constituyéndose así el miembro superior.

La presencia de intrusivos ácidos e intermedios están estrechamente relacionados con el metamorfismo de contacto que afecta al área, estos cuerpos es probable que estén ligados a un stock de composición ligeramente más básica en el área de la mina El Espíritu y a un cuerpo de mayores dimensiones de composición granodiorítica a granítica, localizado al suroeste de la zona.

### **ESTRUCTURA:**

Las estructuras, pliegues sinclinales y anticlinales recostados al noroeste, presentan sus ejes una orientación promedio NW 45° SE, separados en paquetes plegados sencillos, aproximadamente a cada kilómetro.

### **DISCONTINUIDADES:**

Las fracturas de acuerdo a su orientación se agrupan en los siguientes sistemas :

### **SISTEMA E-W**

Orientado NW 86° buzando principalmente al NE con 73° ,se encuentra ampliamente distribuido,manifestándose en ambos miembros de la Formación Las Trancas y es el de mayor persistencia en el macizo rocoso.Las fracturas de este sistema presentan un espaciamiento que oscila entre 3 y 8 m con una continuidad mayor de 10m,observándose sus planos cerrados y ocasionalmente sellados por calcita.

### **SISTEMA N-S**

Con menor frecuencia que el anterior,este sistema se encuentra orientado N-S y buza principalmente al oeste con una intensidad de 72° y se presenta también en ambos miembros ,con un espaciamiento menor de 10m entre fracturas,las que son semicontínuas,con sus planos cerrados y algo rugosos.

### **SISTEMA NE-SW**

En el miembro superior,además de los dos sistemas mencionados,se presenta un tercer sistema orientado N 22° E con buzamiento al SE 52°,con un espaciamiento promedio de 6 a 10 m,son fracturas continuas con sus planos cerrados.

### **ESTRATIFICACION:**

Se presenta en dos orientaciones principales,la primera NW 72° SE buzando 24° al SW,localizada en el miembro inferior y la segunda corresponde al miembro superior orientada NW 60° SE,inclinándose 27° al SW.Los

espesores de los estratos en el miembro inferior varían de 0.10 a 1 m y en el miembro superior de 0.10 a 0.20 m.

#### **METAMORFISMO :**

Se delimitó un metamorfismo de contacto de grado bajo a alto, caracterizado por la presencia de minerales tales como: andalucita, escapolita, tremolita, idocrasa, granate y wollastonita, asociado en ocasiones a minerales metálicos entre los que destacan por su interés económico: plomo, zinc, antimonio, cobre, plata y tungsteno.

La aureola de metamorfismo se manifiesta sobre las márgenes del Río Moctezuma desde la cañada del Espíritu hasta aproximadamente 3 Km. aguas arriba, sitio donde se localiza un intrusivo de composición granodiorítica. Esta aureola se hace evidente por recristalización y silicificación en las rocas que afloran, tanto en la Formación El Doctor como en la Formación Las Trancas, como por sus minerales de metamorfismo.

**Dentro del Area del Proyecto Hidroeléctrico, se mencionan las siguientes y las más importantes discontinuidades ó fallas existentes :**

**FALLA EL DOCTOR:** La cual es un corrimiento de gran magnitud, se localiza en dirección NE con respecto al eje de la boquilla y cruza el eje del túnel de conducción a unos 7.5 Km. aguas abajo de la toma, tiene una extensión del orden de 15 Km y salto de 300 m.

**FALLA TULA :** Se ubica exactamente en la confluencia de los Ríos Tula y San Juan, es de tipo normal y de unos 7 Km de longitud y su salto es de por lo menos 630 m e inactiva.

**FALLA CAJON** : Es una falla subsidiaria de la Falla Tula, se encuentra cerca del área de boquilla, sobre el Río Moctezuma; Es de tipo normal y tiene un salto de 35 a 40 m.

**FALLA DEL RIO MOCTEZUMA** : Esta falla se localiza muy cerca de la salida del Río Moctezuma hacia el Valle de Maconí, es de tipo normal con más de 15 Km de longitud y su salto es de más de 300 m.

**FALLA DE TALUD** : Se ubica unos 3.5 Km al norte del área de boquilla, en la margen derecha de Río Moctezuma y tiene una orientación NW-SE su longitud es de casi 4 Km su salto superior a los 200 m.

**FALLA DEL ARENAL** : Esta falla orientada NW-SE, se localiza a unos 100m del área propuesta para la obra de toma del Proyecto, la longitud cartografiada es de 600m, pero por relaciones de campo se le considera cercana a 2.5 Km. e inactiva.

**FALLA DAXHI** : Se localiza en la falda norte del cerro del mismo nombre y es de tipo compresional; Su longitud cartografiada es de 4.5 Km y es inactiva.

**FALLA LA FLORIDA** : Es de tipo normal y de unos 18 Km de longitud, se localiza siguiendo el curso del Río Tula, es decir esta orientada grosso modo WNW-ESE; su salto es indeterminado y similar a la falla Tula.

**FALLA LA LAJA** : Está situada en la falda sureste del cerro del mismo nombre; Tiene orientación NW-SE con una longitud mínima cartografiada de 9.5 Km.

**FALLA DEL MALACATE** : Está bien reconocida al oriente del área, en el camino que une El Carrizal con las minas del arroyo Tolimán; Es de tipo normal con una orientación E-W y variaciones en su dirección; su salto se considera de aproximadamente 300 m, con el bloque del bajo hacia el sur.

**FALLA DE SAUCILLO** : Se localiza aproximadamente a 3.5 Km al noroeste del área de boquilla, se le calcula una longitud de 4.8 Km. con el bloque del bajo hacia el sureste y también se considera inactiva.



### III. 4. ESTUDIOS TOPOGRAFICOS

La topografía indica las características de la superficie del valle y la relación de las líneas de nivel a los diferentes requisitos de la estructura. Así mismo en el estudio se incluyó el estado de alteración de la roca superficial. Con frecuencia la topografía del sitio, determina el tipo de presa a construirse, como es el caso del sitio del Proyecto, el llamado **CAÑÓN DEL INFIERNILLO**, el cual impuso, de acuerdo a sus características una presa del tipo **ARCO-BOVEDA**. Se correlacionaron los levantamientos topográficos con las exploraciones del sitio para asegurar la precisión .

### III.5. ESTUDIOS DE SISMOLOGIA

La región de estudio se encuentra ubicada en la frontera de las provincias penesísmica y asísmica. La Primera se caracteriza por sismos ocasionales no mayores de 6 grados de la escala de Richter, en donde los epicentros más cercanos se localizan a 200 Km al oeste, en el Océano Pacífico.

Para adoptar el coeficiente sísmico se realizó un estudio de riego, para ello se localizaron los epicentros en un área de 100 Km de radio a partir de la Cortina, correspondientes a los eventos ocurridos en el periodo 1920-1984, de donde se concluye que la actividad es escasa y no hay evidencias históricas de eventos mayores a 5.5 grados Richter. La aceleración máxima

producida en el sitio de la Boquilla corresponde al sismo del 11 de Marzo de 1950 con 0.014 grados.

Registro de Sismos en el área comprendida entre 99° y 100° long W y 20° y 21° latitud N.

NUM.	FECHA	LATITUD	LONGITUD	DISTANCIA (.KM)	MAG.(RICH TER)	ACE LER ACIO N
1				49	3.7	0.006
2				50	5.0	0.019
3				50	4.2	0.009
4				61.2	5.1	0.016
5				74	5.0	0.009
6		20.720	99.630	13	3.0	0.014
7		20.508	99.294	32	4.0	0.013
8	10-10-48	20.117	99.283	67	4.5	0.009
9	08-02-49	20.117	99.283	67	4.5	0.009
10	11-03-50	20.350	98.980	67	5.0	0.014
11	15-08-56	20.117	99.833	72	4.0	0.005
12	14-02-84	20.12	99.703	77	2.4	0.001
13	23-07-84	20.040	100.010	90	2.8	0.002
14	21-12-84	20.674	99.068	43	3.4	0.006

# CAPITULO IV

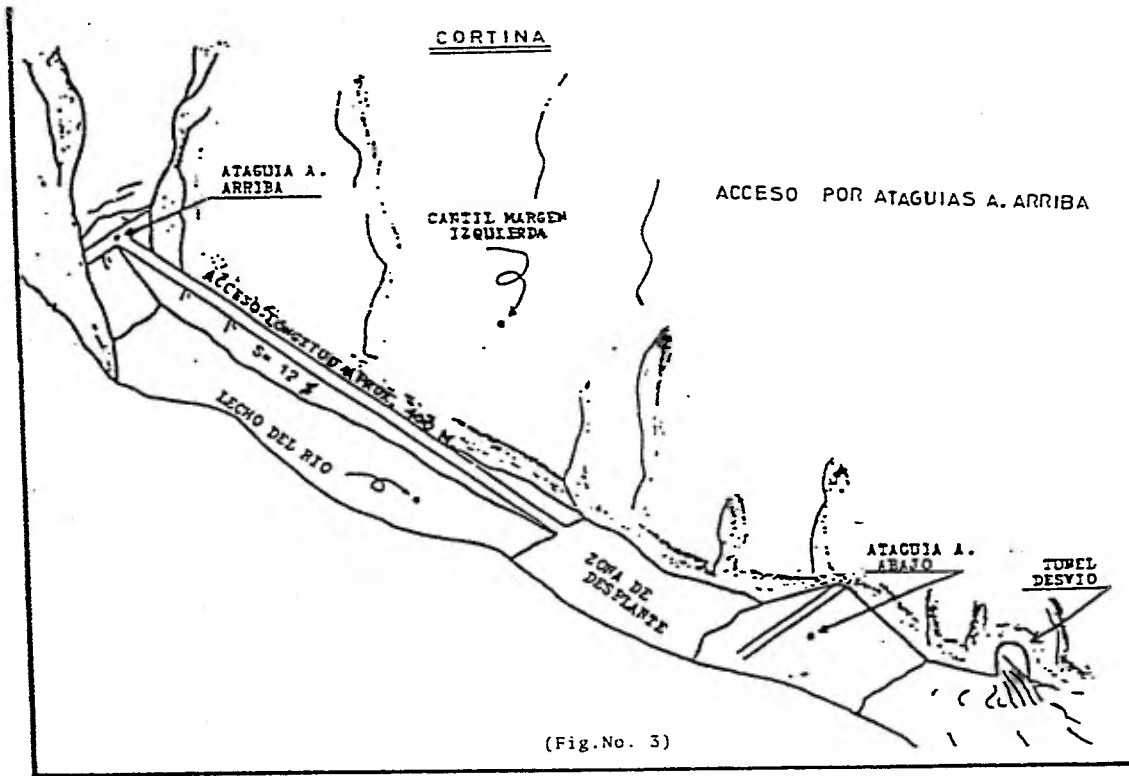
## OBRA DE DESVIO

#### IV. OBRA DE DESVIO

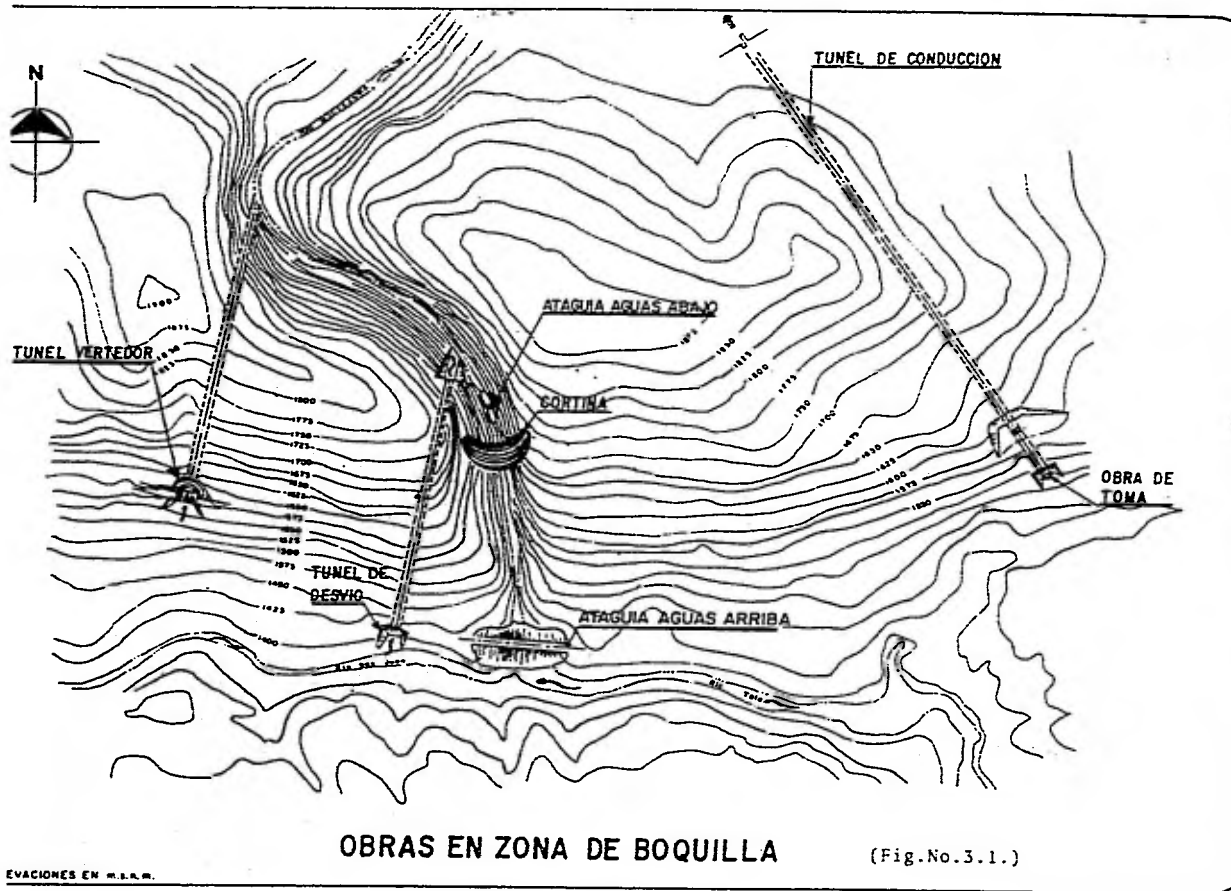
El Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, avanzará en su construcción día con día, enfrentando los retos que la naturaleza le impone y su principal finalidad será la generación de energía eléctrica aprovechando el potencial del Río Moctezuma, el cual forma parte del citado sistema hidrológico del Río Pánuco. Por lo general este tipo de proyectos, inician con la infraestructura de servicio y las obras de desviación, en este caso, el Río Moctezuma.

La Obra de desvío en el Proyecto, principalmente, tiene la finalidad de desviar temporalmente el flujo del río, para dejar en seco el sitio, en donde se ejecutarán las obras de construcción de la Cortina y así mismo las obras auxiliares. (Vease figura No. 3 ).

Generalmente los esquemas que se estudien para el desvío de escurrimiento de un río, serán diferentes cuando se trate de una cortina de concreto ó de enrocamiento o una de materiales graduados. Para las dos primeras poco ó ningún daño ocasionaría que ciertos volúmenes de agua pasaran por encima de la estructura; no así en el tercer caso, en que el agua podría erosionar la estructura y provocar una falla de graves consecuencias. Por otra parte, puede influir en la selección del desvío el tamaño de la estructura, pues para una estructura relativamente pequeña, en la que el tiempo de construcción sea menor que el periodo de secas, el desvío será distinto que para una estructura relativamente grande en la que el tiempo de construcción sea mayor a uno ó a varios períodos Hidrológicos anuales consecutivos, comprendiendo secas y lluvias. En este último caso habrá necesidad de desviar el escurrimiento total, tanto de secas como de lluvias, de



(Fig.No. 3)



varios períodos Hidrológicos anuales;O escoger un período abundante que se considere típico,valuando los gastos máximos probables.

Para poder determinar el conjunto y la dimensión de las estructuras que formaron la mejor solución para el desvío,entre otras,se consideraron los siguientes factores importantes :

a). Aspectos Hidrológicos: Régimen de escurrimiento,Magnitud y Frecuencia de las avenidas durante el desvío,Métodos de Desviación,etc.

b). Condiciones del sitio : Topográficas,Geológicas,Materiales de Construcción.

c). Tipo de Cortina por construir.

d). Características y localización del resto de las Estructuras Hidráulicas que forman la presa.

f). Secuencia de las actividades constructivas,tales que se puedan incorporar al programa de construcción con un mínimo de pérdidas,peligro y retraso.

Uno de los problemas en la construcción de una presa,es el paso de los escurrimientos del río,principalmente avenidas,durante la construcción de la Cortina.El escurrimiento del río debe ser eliminado del sitio durante la preparación de la cimentación y hasta que la cortina haya alcanzado un nivel de seguridad.Esto se consigue por una atagüa aguas arriba y frecuentemente,como es el caso del proyecto,atagüas aguas abajo.El flujo desviado puede pasar a través de una porción o a través de túneles localizados en las laderas.En boquillas muy angostas es obligado que el conducto o

conductos para desvío sean túneles localizados en las laderas, con elementos de control para cierre. La magnitud del escurrimiento por desviar determina la capacidad de los conductos ó la altura de las ataguías y la capacidad de los túneles cuando operen bajo la carga creada por las ataguías.

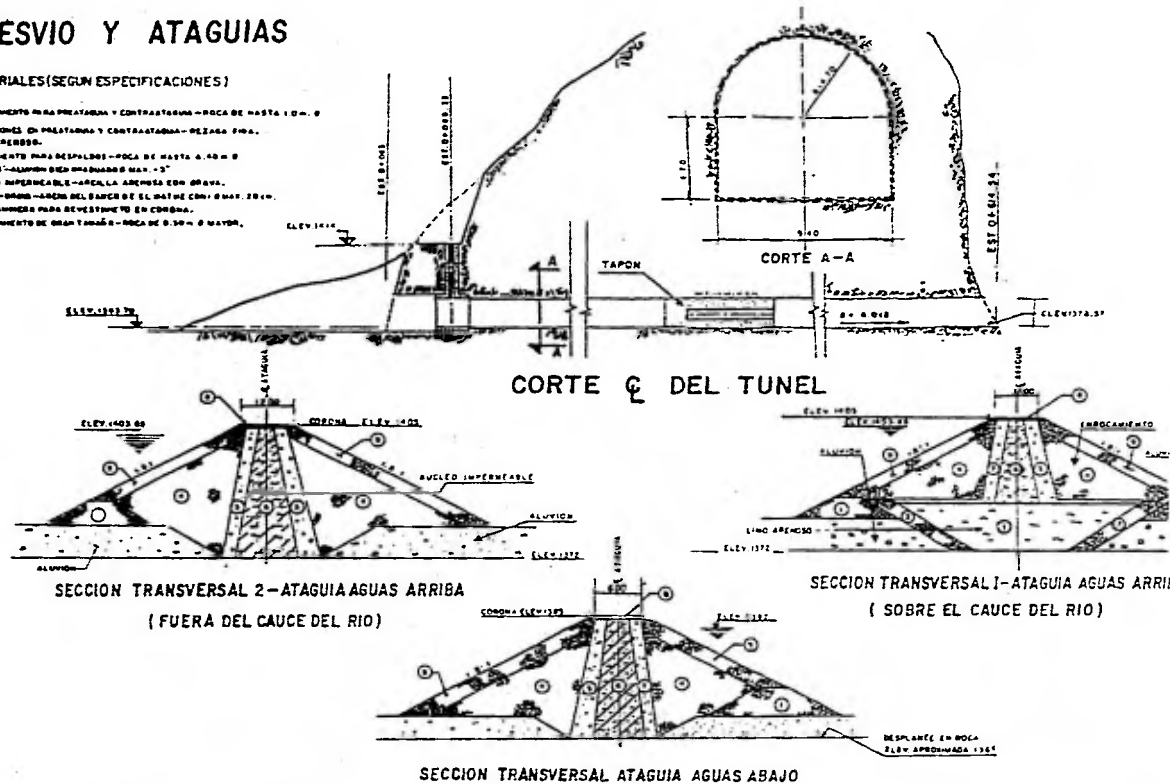
**(Vease Figura No. 4)**



# DÉSVIO Y ATAGUIAS

## MATERIALES (SEGUN ESPECIFICACIONES)

- ① EMPARCAMIENTO PARA PRETAMBA Y CONTRATAMBA - ROCA DE HASTA 1.0 m. Ø
- ② TRANQUILIZADOR PARA PRETAMBA Y CONTRATAMBA - DEZAGA FINA, LIMO ARENOSO.
- ③ EMPARCAMIENTO PARA DESPALDES - ROCA DE HASTA 0.40 m Ø
- ④ FULTONES - ALAMBRE DE ACERO #10 MAX. - 5"
- ⑤ MUELOS IMPERMEABLES - ORDELA - ANCHURA CON 0.80 m.
- ⑥ TUBOS - ANCHO - ANCHO DEL BANCHE DE EL MATHE CON 0.20 m.
- ⑦ BASE CAMBIO PARA DEVESTIENDO EN CROMA.
- ⑧ EMPARCAMIENTO DE GRAN TAMAÑO - ROCA DE 0.30 m Ø MAYOR.



CADENAMIENTOS EN m.  
ACOTACIONES EN cm.  
ELEVACIONES EN m.s.n.m.

(Fig.No.4)

#### **IV.1 DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS**

Esta obra se compone de :

**A).**- Túnel localizado en la margen izquierda del Cañón, el que, de acuerdo a las condiciones topográficas, tendrá un buen emportalamiento, mejores condiciones estructurales y una menor longitud.

Será de sección portal de 9.4 metros de altura por 9.4 metros de ancho y una longitud de 566 metros. El umbral de entrada estará a la elevación 1383.0 msnm. Y el umbral de salida a la elevación 1376.45 msnm. Teniendo una pendiente de 0.012.

El túnel no será revestido excepto en portales de entrada y salida en una longitud de 37 metros y 15 metros respectivamente y en tramos aislados que lo requieran, colocándose además marcos metálicos como ademe.

Se colocarán anclas de fricción y/o tensión y concreto lanzado con malla metálica donde se requiera

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO:** Se realizará por el método convencional con JUMBOS HIDRAULICOS con un frente de trabajo.

**DATOS GENERALES :**

a) Avenida de Diseño.	632	m3/seg.
b) Gasto Máximo de Descarga.	609	m3/seg.
c) Período de Retorno de la Avenida de Diseño.	10	años.
d) Velocidad Máxima del agua.	8	m3/seg.
e) Volumen de Excavación a cielo abierto.	32,840	m3.
f) Volumen de Excavación en Túnel.	46,020	m3.

**DATOS GENERALES CON TR= 20 AÑOS.**

a) Gasto Máximo Avenida.	810	m3/seg.
b) Gasto de Diseño Máximo.	702	m3/seg.
c) Elevación Atagua Aguas Arriba.	1,409	msnm.
d) Elevación Atagua Aguas Abajo.	1,385	msnm.
e) Túnel Seccin Portal.	9.4 m X 9.4 m.	
f) Elevación de Entrada.	1,383	msnm.
g) Longitud Total.	566	m
h) Velocidad Máxima.	8	m/s.
i) Cierre Provisional.	Obturadores Metlicos.	
j) Cierre Definitivo.	Tapón de Concreto.	
k) Volumen de Avenida.	310 Mill.	m3.

## GEOLOGIA

### **TUNEL DE DESVIO :**

Esta estructura cruzará las Rocas Sedimentarias de la Formación el Doctor y el túnel quedará excavado totalmente en la formación Doctor, unidad 1 , consistente en roca dolomía masiva color gris oscuro, interstratificada con capas de caliza dolomítica de 0.5 a 1.0 m de espesor. Esta unidad presenta fracturamiento casi siempre relleno de calcita, por lo que las rocas son de muy buena competencia, alta resistencia y poco deformables.

Localmente se observan oquedades producidas por disolución en los socavones de exploración; éstas no tienen dimensiones mayores de 40 cm.

La estratificación tiene un echado de 10 a 15 al noroeste. Ya que las fracturas están cerradas o rellenas con calcita, la formación de bloques inestables en el interior del túnel, será poco probable, excepto en la intersección con la Falla Cajón, única falla reportada con características desfavorables.

En resumen el Túnel de Desvío encontrará roca de buena calidad a lo largo de su desarrollo, siendo de menor calidad sólo en áreas de entrada y salida del Túnel por la orientación de la obra.

### **B).-Estructura de Obturación:**

Esta estructura de concreto reforzado se localiza en el tajo de entrada del Túnel de Desvío entre las estaciones 0+078.00 y 0+100.00 y tendrá una losa de cimentación de 1.5 m de espesor, muros laterales de 1.5 m de ancho, con pila intermedia de 1.5 m de ancho y 22 m de longitud para formar

dos vanos de 3.95 m cada uno, los cuales se cerrarán con dos juegos de obturadores de 8 piezas cada uno.

Los obturadores metálicos serán operados por equipo de izaje montado sobre la plataforma a la elevación 1405 msnm.

Esta obturación provisional dará tiempo para el colado del tapón definitivo que se ubica en la intersección con el eje de la cortina y que está dimensionado para resistir cargas de 185 metros que corresponde al **NAME**.

### **C).- ATAGUIAS :**

Se realizarán de materiales graduados que consistirán en dos bordos de sección trapezoidal y corazón impermeable de arcilla. Estas Ataguías se construirán una aguas arriba y otras aguas abajo con coronas a elevaciones 1405 y 1384 msnm respectivamente y taludes 1.8 : 1 en ambas.

De la corona de la ataguía aguas arriba localizada en la confluencia de los ríos San Juan y Tula que tendrá un ancho de 20 metros se construirá una rampa de acceso al sitio de la boquilla con pendiente aproximada del 10% .

Para obtener el material para la construcción de las Ataguías, se cuenta con los siguientes bancos de materiales :

"El Vado" Localizado en la margen izquierda del río San Juan a 2 Km de la Boquilla. Con 26 000 m<sup>3</sup> de limo con algo de arena fina.

"La Vega" , "Vista Hermosa" y "El Campamento" Localizados los dos primeros en la margen izquierda del río San Juan y el tercero en la margen derecha del mismo río a 6 Km, 4Km y 1.5 Km respectivamente de la Boquilla. Con un volumen total de 190 000 m<sup>3</sup> de arcilla limosa con apreciable cantidad de grava de arena.

"El Arenal" Localizado en la margen izquierda del río Tula a 2 Km de la Boquilla. Con 97 000 m<sup>3</sup> de arena fina producto de depósitos del río.

Los materiales grava-arena se podrán obtener de pequeños bancos junto a los ríos San Juan y Tula, cercanos a la Boquilla.

El material para enrocamiento se podrá obtener explotando la roca ubicada en las margenes del río Moctezuma que es caliza de buena calidad.

## IV.2 ALCANCES DE LAS OBRAS

Las obras civiles que comprenden al Túnel de Desvío son:

- Excavaciones a cielo abierto en canales de acceso y plataforma de la lumbrera de obturación.
  
- Obras provisionales como vados o puentes, brechas de acceso a los bancos de almacenamiento y/o desperdicio.
  
- Excavaciones en túnel incluyendo portales de entrada y salida y las necesarias para el tapón de cierre final.
  
- Excavaciones en lumbreras de obturación provisional.
  
- Protección y tratamiento de taludes a base de anclajes y concreto lanzado con malla metálica donde se requiera.
  
- Tratamiento de la roca en Túnel y en lumbrera de obturación provisional.
- Suministro y colocación de ademes donde se requieran.
  
- Construcción de todas las estructuras de concreto, en portales del Túnel y en lumbrera, estructura de obturación provisional, tapón para cierre final, revestimiento en donde sean necesarios.

-Suministro y colocaci3n de los componentes del concreto como son: Cemento,Arena,Grava,Agua,Aditivos 3 cualquier otro elemento necesario para garantizar las resistencias requeridas asi como protecci3n y curado de los colados.

-Suministro y colocaci3n de acero de refuerzo y partes fijas de acero estructural necesario para la instalaci3n y operaci3n del obturador provisional.

-Suministro,colocaci3n y retiro de cimbras.

-Suministro y colocaci3n de anclas de tensi3n y fricci3n donde se requiera.

-Inyecciones en galeria y tap3n de cierre final.

-Construcci3n de ataguas,de materiales graduados,incluyendo desmonte y despirme del Sitio de desplante.

-Limpieza general durante y al t3rmino de la obra.

-Trabajos extraordinarios que se requieran durante la ejecuci3n de la obra.



# CAPITULO V

CORTINA

## V. CORTINA

Una definición, en forma generalizada, de cortina: Es aquella estructura que se coloca senciblemente en el curso de un río, como obstáculo al flujo del agua, con el objeto de formar un almacenamiento ó una derivación. Tal estructura debe satisfacer las condiciones normales de estabilidad y ser relativamente impermeable.

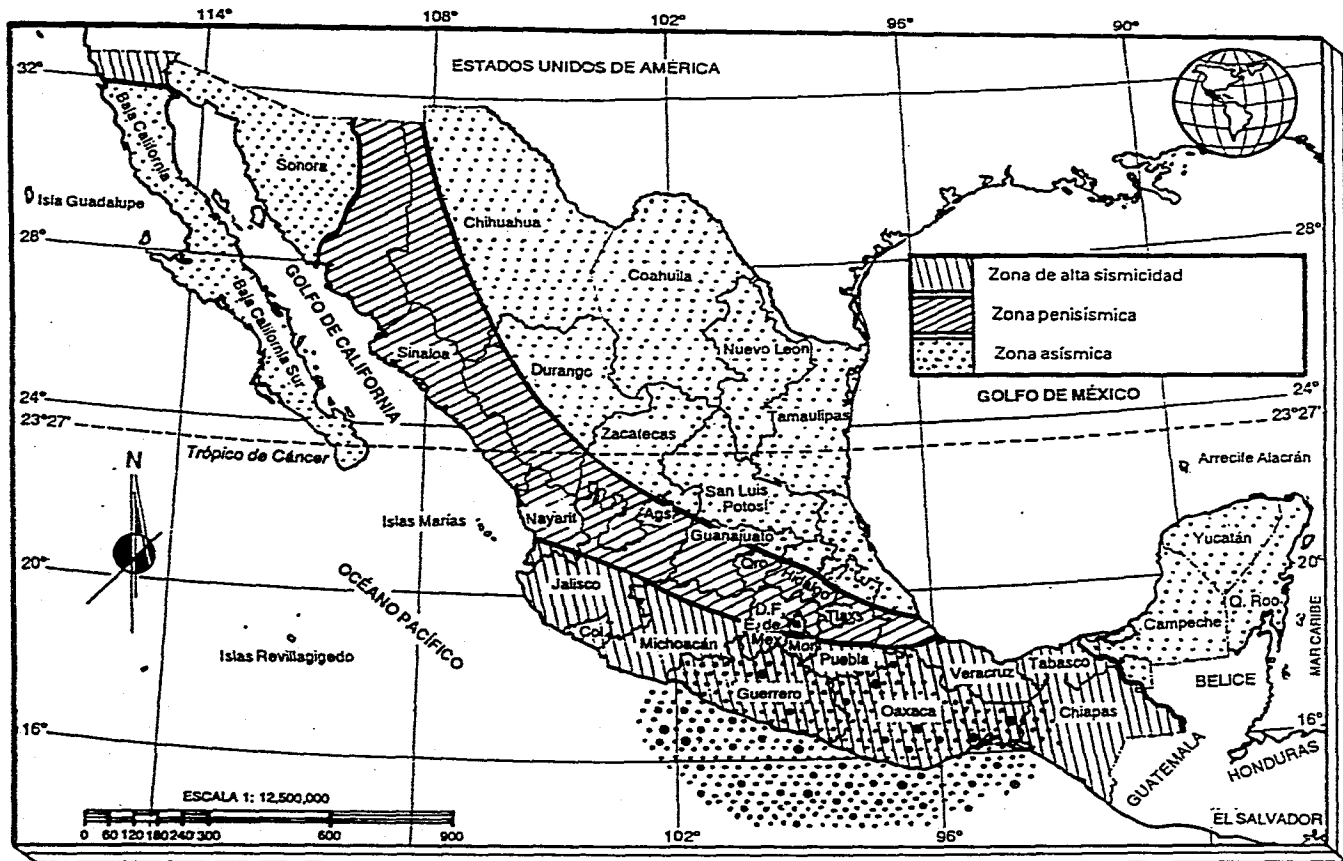
Así mismo la determinación del tipo de cortina más conveniente, para un sitio determinado, involucra la consideración de muchos factores, aún cuando, con frecuencia, para estudios preliminares se requiera la elaboración de diseños de más de un tipo, con el objeto de estimar costos y determinar el que se usará en el diseño final.

Los factores que generalmente tienen importancia en la determinación del tipo de cortina son:

a) Condiciones del sitio: En este concepto se incluyen aquellas condiciones que pueden influir en el tipo de estructura que se vaya a construir, como son las condiciones de cimentación, topografía, materiales de construcción y accesibilidad al sitio.

b) Factores Hidráulicos : Con mucha frecuencia y desde el punto de vista económico, es la obra de Exedencias la estructura más importante que influye en la determinación del tipo de cortina ,siguiéndole en su orden la obra de Desvío y la obra de Toma.

c) Zona Sísmica, Penisísmica y Asisísmica : De acuerdo a la intensidad de los Sismos en la República Mexicana se divide en tres zonas (Vease Fig. No. 5 ) El tipo de zona influye en el diseño de la cortina:



Sísmica.-Región donde se producen con mayor frecuencia los temblores.Coincide con la zona volcánica.

Penísmica.-Zonas de sismicidad media .Región donde se localiza el Proyecto Hidroeléctrico.(Gran parte de los Estados de Hidalgo y Querétaro).

Asísmica.-Abarca las regiones donde la sismicidad es nula. También es región fronteriza donde se localiza el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán.

d) Condiciones de Tránsito : Con frecuencia las presas inundan tramos de carreteras y caminos que quedan localizados dentro del vaso de almacenamiento y es indispensable su relocalización ; En esos casos la cortina puede representar una buena solución para cruzar el río de que se trate,a través de un camino federal ó estatal,por lo que dicha posibilidad se toma en cuenta en el diseño.

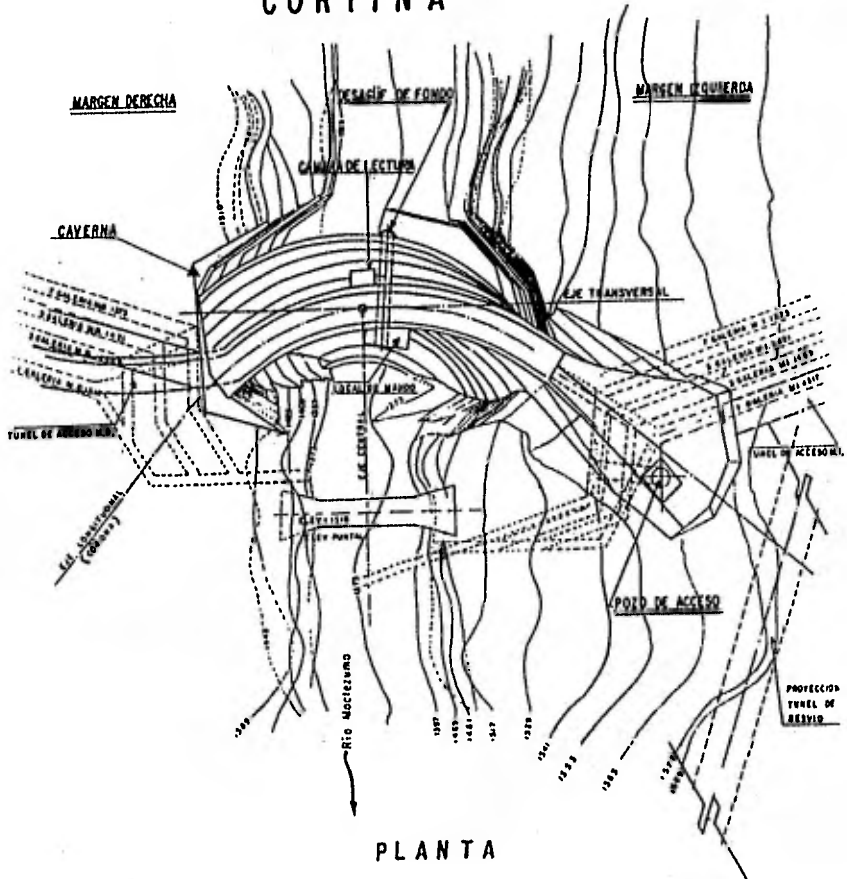
e) Efectos de Clima : El clima cuando es muy extremo,puede tener efectos perjudiciales en las estructuras muy delgadas como arcos y machones,en donde es conveniente proteger las superficies expuestas a grandes cambios de temperatura para evitar que se descascare el concreto y se reduzca la sección útil.

De lo anterior y en relación al Proyecto Hidroeléctrico,se estudió que para la boquilla,se conjugaron favorablemente las condiciones y las características geológicas y topográficas del sitio.De tal manera que lo hacen ideal para planear como factible la construcción de una cortina de concreto del tipo Arco-Bóveda.Además este tipo de cortina es ideal para los cañones angostos formados en roca y a la vez la cortina llega a constituir una estructura económica y eficiente en el lugar e ideal para impedir y controlar el paso del agua .

El término cortina en arco se usa para designar una estructura curva masiva, de concreto, con convexidad hacia aguas arriba, la cual adquiere la mayor parte de su estabilidad al transmitir la presión hidráulica y las cargas adicionales, por acción de arco, a las superficies de la cimentación.

Estas estructuras son de una gran hiperstabilidad y cuando son de importancia, el diseño final casi siempre requiere la comprobación de sus condiciones de trabajo, mediante modelos reducidos. (Vease Figura No. 6 ).

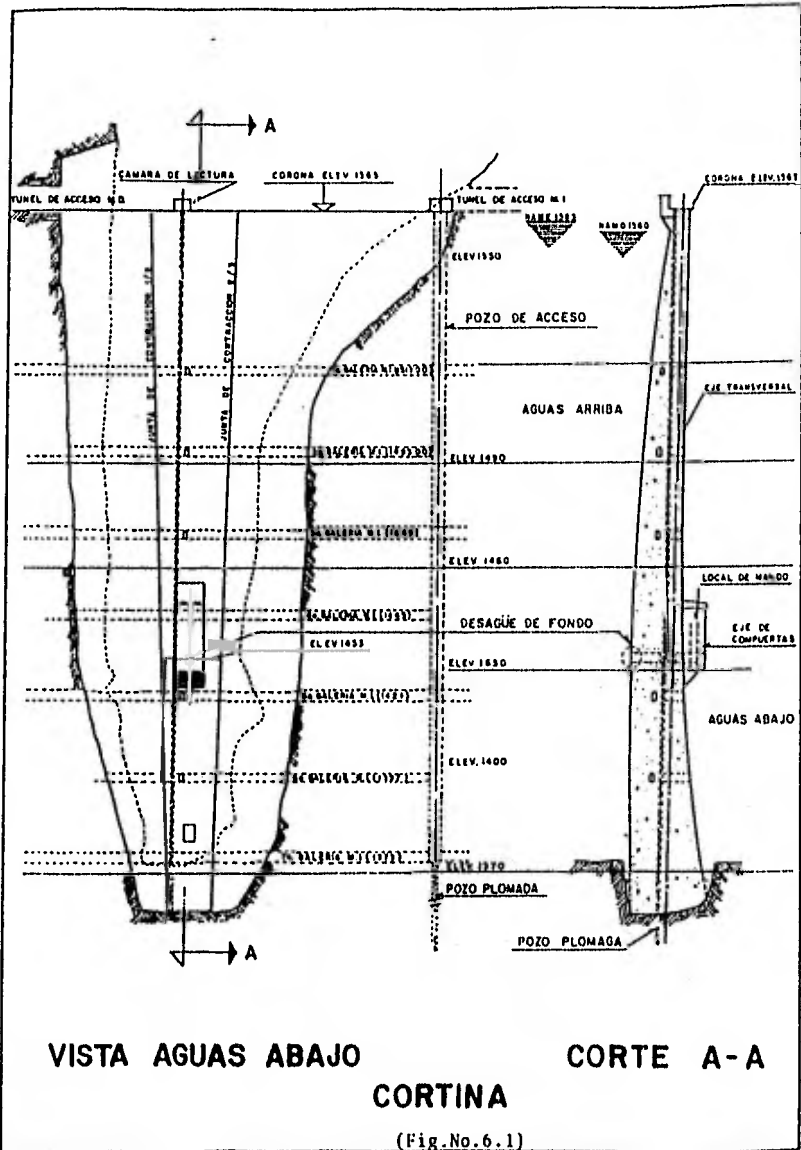
# CORTINA



PLANTA

ELEVACIONES EN M.S.N.M.

(Fig.No.6)



## V.I DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS

La cortina, se encuentra en la parte occidental del estado de Hidalgo, colindando con el estado de Querétaro al noroeste de la ciudad de Pachuca. Sus coordenadas geográficas son 20° 40' de latitud Norte y 90° 30' de longitud Oeste. La cortina es localizada sobre el Río Moctezuma 400m aguas abajo de la confluencia de los Ríos Tula y San Juan, en el Cañón conocido o denominado como "El Infiernillo".

El acceso al sitio de la cortina desde Zimapán, se hace a través de un camino vecinal de terracería, con una distancia de 30 Km. El acceso desde Cadereyta se realiza por medio de un camino vecinal que entronca con la carretera San Juan del Río-San Joaquín a 10 Km de Cadereyta hasta el entronque. Otro acceso lo constituye la línea de ferrocarril México-Querétaro hasta Huichapan, Hidalgo, distante del sitio 77 Km. El acceso a los frentes de trabajo ha exigido desafiar la accidentada topografía de la zona, en la cual se construirán y abrirán caminos principales, de los cuales son:

-El camino de Puerto Salitre a Mesa de León con una Longitud de 23 Km con Carpeta Asfáltica.

-El camino de Mesa de León a Zimapán, con 30 Km que también será camino de acceso a la cortina.

-El camino de San Joaquín a Casa de Máquinas con 30 Km, el cual es la Población más cercana a la Casa de Máquinas, con 62 Km al Norte de Cadereyta, Querétaro.



La Casa de Màquinas esta localizada a 36 Km,aguas abajo de la Cortina medida sobre el cauce del Río,quedando ligadas las obras con el Túnel de Conducciòn de 21 Km.

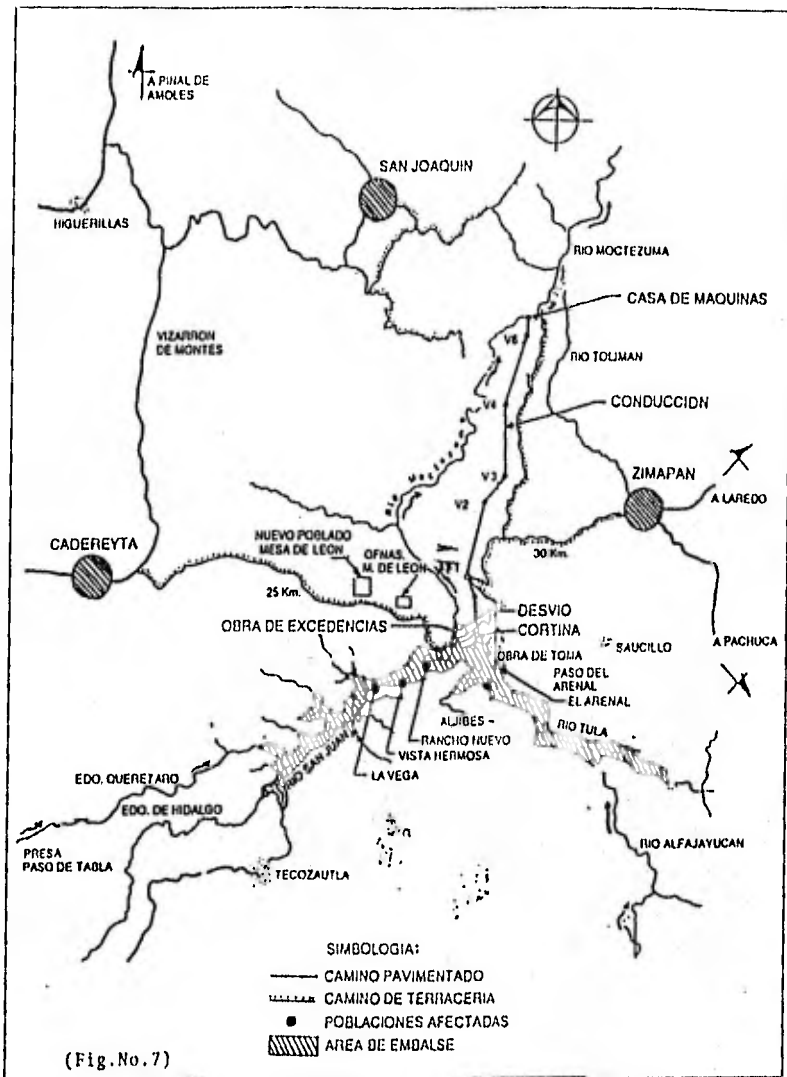
Algunas Caraterísticas de estos caminos son :

-En el Tramo Mesa de León-Zimapàn,se presenta una Zona extremadamente difícil para un camino a cielo abierto,de esta manera y por economia se desidiò la excavaciòn de un túnel de 8m por 7m de Secciòn Portal, por 1,600m de longitud,aùn cuando previamente se reconoce la posibilidad de accidentes geològicos en su trayectoria.

-El Tramo San Joaquìn-Casa de Màquinas a lo largo de 30 K m y con 6m de ancho de camino,se excavarà una base con grandes voladuras y peligrosas maniobras de Maquinaria Pesada;Este camino en un breve tiempo conducirà el pesado equipo de Generaciòn a la Casa de Màquinas.

El embalse cubrirà el tramo terminal de los actuales cauces de los Rìos San Juan y Tula.En el Primero se extenderà Río arriba del orden de 14 Km, a partir del eje de la boquilla,cubriendo una secuencia de rocas volcànicas bàsicas constituidas por coladas de basalto,tobas y brechas basálticas.Esta formaciòn se encuentra en posiciòn casi horizontal.Hacia el Oriente,el vaso se extenderà aproximadamente 12 Km,sobre el cauce del Río Tula,cubriendo las rocas sedimentarias de las formaciones Soyatal-Mendez y El Doctor.(Vease Fig. No. 7)

La obra de contenciòn estarà compuesta por una cortina de concreto del tipo Arco-Bòveda,serà la màs alta en su tipo de la Repùblica Mexicana,con 203m de altura.Como ya se mencionò esta localizada en el cañòn "El Infiernillo" en un ancho aproximado de estrechamiento de 18 metros a la elevaciòn 1375.00 msnm, 95 metros a la elevaciòn 1550.00 msnm, 105 metros a la elevaciòn 1565.00



m.s.n.m. y 20 metros de ancho en su base y 4 metros en la corona, al final de su construcción se habrán utilizado aproximadamente 210,000 m<sup>3</sup> de concreto y más de ½ millón de toneladas de concreto.

La cortina debe ubicarse en el lugar donde las paredes del cañón ofrezcan las mejores condiciones para una larga vida. El minucioso trabajo de Geólogos y Topógrafos ha determinado esta ubicación. La cortina literalmente se encajará entre las paredes del cañón.

El macizo rocoso en ambos márgenes donde se construirá la cortina, requerirá de tratamientos especiales para darle la estabilidad necesaria. Así, por consecuencia, el cantil de la margen derecha, aguas abajo de la cortina, exige estabilización en ciertas áreas a partir de la elevación 1565 hacia abajo, para este efecto se excavarán cinco galerías y se realizará la barrenación y colocación de anclas de fricción hasta 12m de profundidad y concreto para reposición de roca; El grado de dificultad de estas maniobras exigirá la instalación de andamios tubulares que se podrán sujetar a las paredes a 150m de altura para poder formar plataformas de apoyo a los obreros.

Simultáneamente en la Margen Izquierda aguas abajo y de la elevación 1600 hacia arriba, se realizarán trabajos de colado de concreto para lograr el apoyo necesario en bloques de roca potencialmente inestables.

En total, catorce galerías con 2.80m de sección se excavarán en ambos márgenes. Ocho galerías para inyección y drenaje y seis para inspección. Todas ellas se unirán conformando siete galerías que atravesarán la cortina, éstas posibilitarán el tráfico de técnicos que diariamente obtendrán lectura de los instrumentos de medición que se instalarán para monitorear el comportamiento la cortina. Para llegar a estas galerías, será a través de lumbreras de 2.65m de diámetro una en cada margen; el recubrimiento es de concreto en cada una de ellas. En el portal punto de unión entre la galería y la cortina, aproximadamente 7m hacia el interior del macizo rocoso, el revestimiento será armado con acero de refuerzo y concreto, esto es, para proporcionar a la unión la resistencia necesaria, el resto será colado en concreto simple.

Simultáneamente se aprovecharán las condiciones topográficas de la parte superior de la ranura de la Margen Izquierda, para realizar los colados, primero se inicia con el bloque número 5, por sus dimensiones y además de tener la finalidad de ser el bloque de contacto (cortina-roca). Una vez concluido dicho bloque, se procederá el colado del bloque número 4. Así mismo cada uno de los bloques 4 y 5 podrán iniciarse las labores de colado antes de la terminación de las excavaciones para la cimentación de la cortina. Tan solo éstos demandarán la colocación de 14,000 m<sup>3</sup> de concreto; tal estrategia permitirá avanzar en el programa de colados en un 12%.

Después de los trabajos de excavación, necesarios para el empotramiento de la cortina, el Cañón del Infiernillo quedará listo para el desplante y la cortina comenzará su crecimiento. A partir de este comienzo los colados serán casi continuos y no se detendrán, se tendrá que llegar hasta cortina, 210,000 m<sup>3</sup> serán colados en 563 días, bloque a bloque y metro a metro hasta que la cortina vaya tomando la correspondiente forma.

El desplante de cimentación de la cortina que abarcará los bloques 1, 2 y 3 se procederá, una vez que sean concluidos los colados de los bloques 4 y 5, la altura por colado será de 3 metros, desde el desplante de la cortina hasta la elevación 1508 y la transportación del concreto será por el camino existente en la atagüa hasta continuar por dentro del cañón, con un tiempo de recorrido estimado de 8 minutos. Desde la elevación 1508 hasta la corona elevación 1565, la transportación del concreto será por el túnel de acceso en la margen derecha hasta la plataforma de la caverna en la margen derecha con un tiempo de recorrido aproximado de 6.0 minutos.

Camiones Dumpcettes, los cuales tienen una capacidad de 8 m<sup>3</sup>, especialmente diseñados para esta actividad, con cajas metálicas para transportar 6 m<sup>3</sup> de capacidad, abastecerán continuamente el concreto.

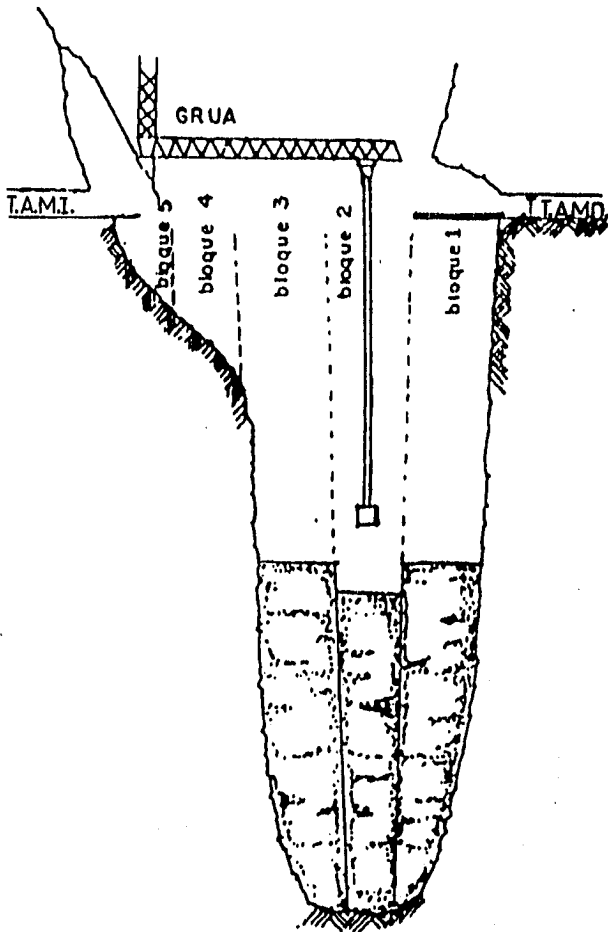
Una grúa quedará ubicada en la parte superior de la margen izquierda, la cual bajará y subirá continuamente tolvas de concreto, cada bloque de 3m de altura exigirá en promedio, unas 20 horas continuas de colado. Apoyará los trabajos de distribución del concreto a través de un brazo giratorio de estructura metálica, su largo será de 100 metros para una capacidad aproximada de 20 toneladas en su distancia máxima. ( Vease Figura No8 )

La cortina estará creciendo entre grandes bloques, en colados escalonados de más de 1000 m<sup>3</sup>, cada uno, embonando uno a uno, la cimbra entre bloques formará un sistema de casquetes esféricos que forman las denominadas llaves de corte, esto favorece el comportamiento mecánico entre bloques.

La cimbra en general, se deslizará suavemente y metro a metro para ir formando tras de sí el cuerpo de la cortina, que empezará a ser parte del Cañón del Infiernillo.

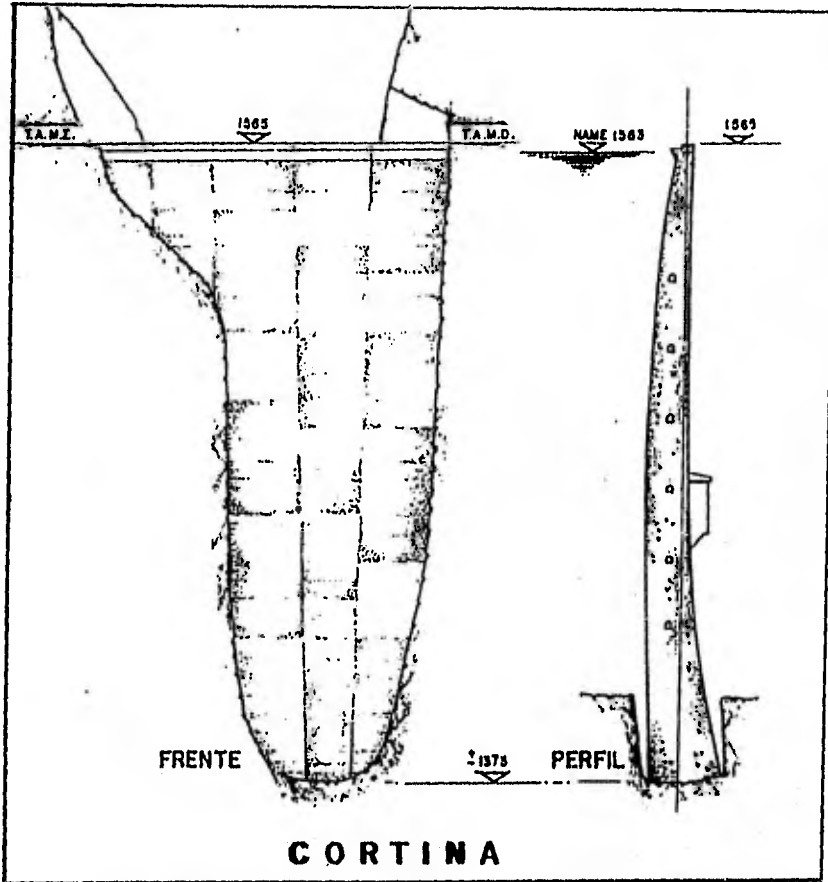
De lo descrito anteriormente en su totalidad, no tendría sentido si no se contara con una Planta Dosificadora computarizada, para optimizar el trabajo y entregar el concreto bajo las especificaciones establecidas, sus características serán adecuadas para la elaboración del concreto requerido para la cortina tanto en calidad como en cantidad. El control de calidad del concreto suele complementarse con los resultados de pruebas de concreto, tanto recién mezclado como ya endurecido.

a) Recien Mezclado: Las pruebas recomendables para juzgar las características del concreto recién mezclado son: Consistencia (revenimiento), Temperatura, Peso Volumétrico y Análisis de Composición. De éstas, el Revenimiento y la Temperatura son las más sencillas, rápidas e informativas; Por lo que deben efectuarse con la máxima eficiencia que sea posible. La del Peso Volumétrico puede ser conveniente efectuarla cada vez que se elaboren especímenes de pruebas de concreto endurecido y el Análisis de Composición puede limitarse a una vez por turno de trabajo.



**COLOCACION DE CONCRETO  
EN LA CORTINA**

(Fig.No.8)



(Fig.No.8.1)

b) Concreto Endurecido : La prueba más común en el concreto endurecido es la determinación de la resistencia a compresión simple en especímenes normalizados sometidos a curas estándar, ensayados a la edad en que se especifica la obtención de la resistencia del proyecto. Para disponer de información preliminar acerca de la resistencia probable, es relativamente usual ensayar especímenes anticipadamente a 3 y/o 7 días, pero también pueden realizarse pruebas anticipadas a más corto plazo de especímenes sometidos a curado acelerado por temperatura, conforme a alguno de los procedimientos del método ASTM C 684, cuyos resultados se obtienen entre 6 y 49 horas de edad según el procedimiento.

Así mismo, se cuenta con una planta trituradora que abastece los materiales en las cantidades y tamaños requeridos para los colados. Para la producción de arena se contará con tres silos de 800 m<sup>3</sup> cada uno, por lo tanto serán 2400 m<sup>3</sup>. Para el agregado grueso se contará con 3 silos de capacidad de 800 m<sup>3</sup> cada uno, uno para el agregado de 3" a 1 ½", otro para tamaños de 1 ½" a ¾" y el último para tamaños de ¾" a número 4.

El suministro de cemento es un factor muy importante en el proceso para la elaboración del concreto. Diariamente llegarán a la obra cientos de toneladas de cemento, que serán almacenados en grandes silos para luego abastecer a la Planta Dosificadora del insustituible material para el concreto. Para el almacenamiento del cemento se contará con tres silos de 1500 toneladas, por lo que se tendrá un almacenamiento total de 4500 toneladas. Para el agua se contará con un tanque de 600 m<sup>3</sup> de almacenamiento.

Enfriamiento del Concreto : El enfriamiento del concreto después de su colocación, es necesario, para evitar que el calor de hidratación del cemento, que se desarrolla durante el fraguado, pueda crear tensiones excesivas y provocar fisuras a la obra. El colado en grandes cantidades de concreto exigirá la instalación de un sistema de enfriamiento interno, consistente en serpentines de



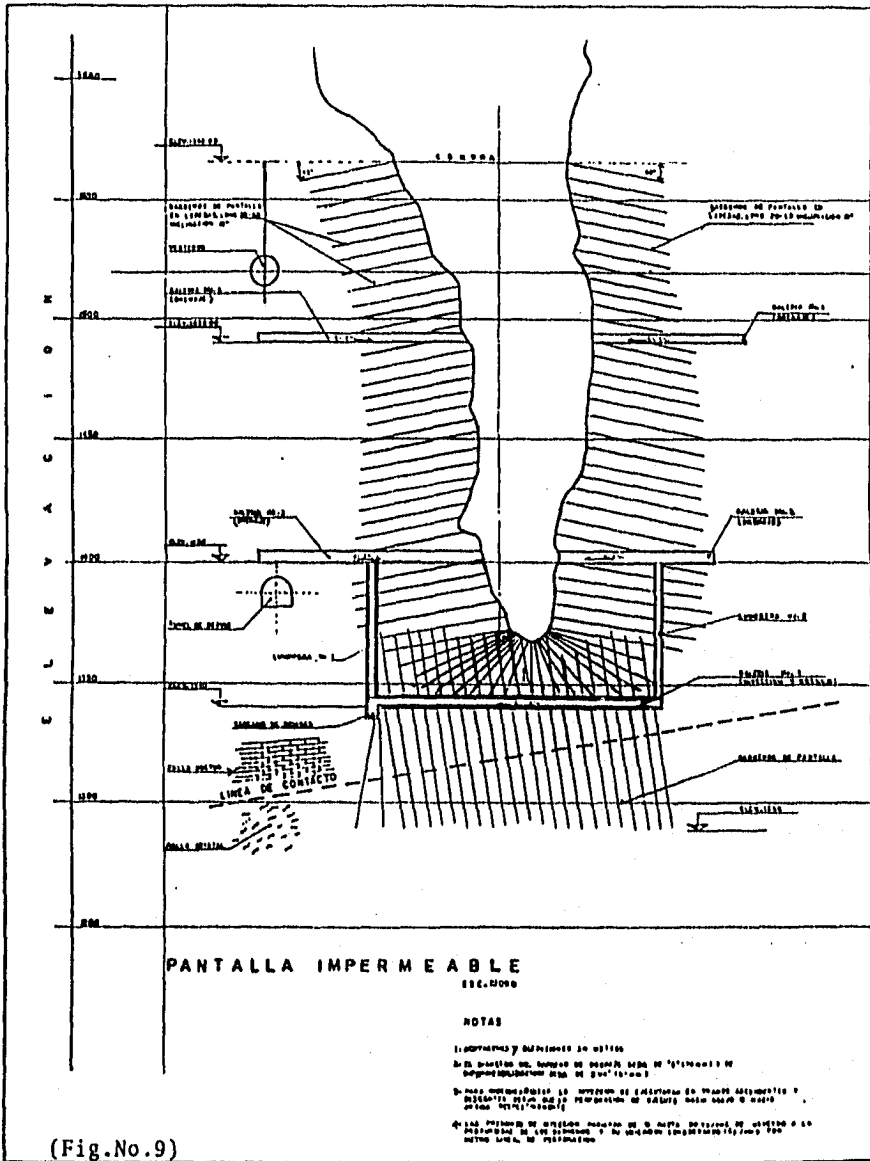
PVC, colocados dentro del propio colado a cada 3m y 1.50m para evitar que la temperatura del concreto exceda a los 42°C y se agriete, así como lograr el enfriamiento pausado hasta llegar a los 19°C, temperatura que permite realizar la inyección de contacto entre bloques y darle la continuidad elemental al arco de la cortina. Cada serpentín será conectado por medio de tuberías a la galería de inspección subyacente más cercana. Así mismo se contará con una Planta de Hielo, con capacidad de 3 Ton/Hr. de almacenamiento.

### **IMPERMEABILIZACION.**

Para almacenar el agua no solamente basta con la construcción de la cortina, que es una barrera que impide el paso del agua. También es necesario construir una pantalla impermeable en las laderas de la montaña a cada lado de la cortina para impedir que el agua se escurra a través de las hendiduras, fisuras, fracturas o fallas geológicas que correspondan a la formación de la roca.

El agua siempre tiende a transitar por donde encuentre el menor resquecio y resistencia. Por ello es necesario construir a ambos lados de la cortina una pantalla impermeable.

Esta pantalla se logrará mediante la utilización de una serie de barrenos profundos que van a cubrir una superficie que va desde la corona de la cortina hasta 60 o 70 metros por debajo del lecho del río. Los agujeros que se realizarán estarán lo suficientemente cerca unos de otros, para que posteriormente se inyecte una lechada de cemento, agua y aditivos, que al inyectarse a presión sellarán las grietas y fisuras. Conforme se va inyectando la lechada, se continuarán periódicamente pruebas, que estarán a cargo de los ingenieros especialistas en mecánica de rocas. Las inyecciones van a unirse formando una membrana, desde la superficie con barrenos verticales y otros radiales. (Vease Figura No. 9 ).



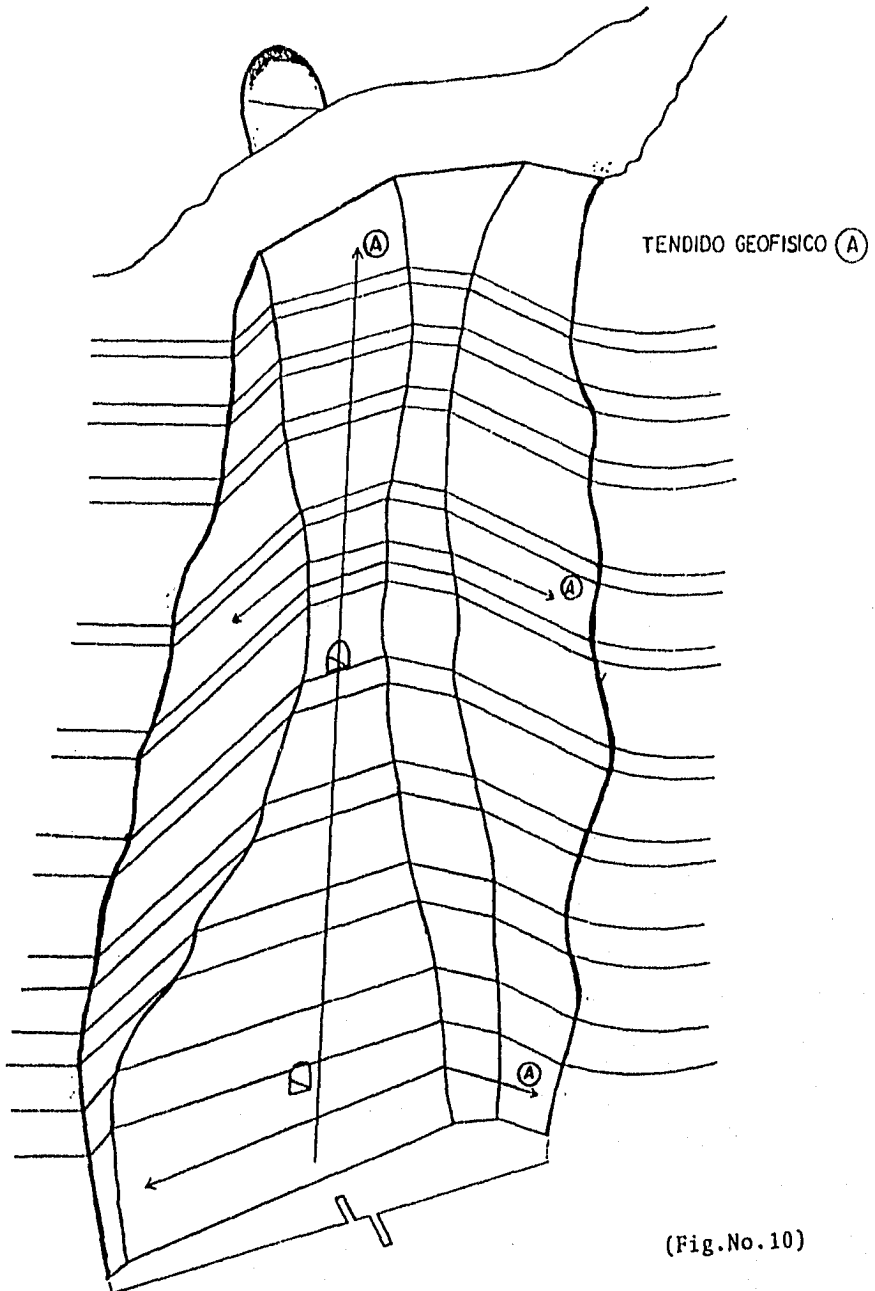
(Fig.No.9)

El diseño de la cortina impermeable se ubica como dos brazos abiertos, 100 metros a cada extremo de la cortina de la presa.

En consecuencia para darle el punto de contacto adecuado con el macizo rocoso será necesario la excavación en ambos márgenes de ranuras de 50 m de ancho, 20 m de fondo y 203 m de altura. Realizada a base de barrenación y voladuras. Posteriormente se estabilizarán sus paredes con anclas de fricción. Al excavar las ranuras quedarán al descubierto múltiples juntas de arcilla, las cuales minuciosamente se tendrán que limpiar. Además se perforarán barrenos de 25 centímetros de diámetro y 15 metros de profundidad, siguiendo el estrato de arcilla para después inyectar la mezcla de lechada y mortero, eliminando así la indeseable presencia de arcilla que al lavarse en contacto con el agua pudiera presentar una vía de infiltración. Se buscará con esto, proporcionar la estanqueidad necesaria a las paredes que custodiarán a la cortina. (Véase Figura No. 10).

Una vez que la cortina reciba toda la presión del agua, ésta buscará salidas a través de grietas o fisuras que pudieran encontrarse en las laderas del Cañón, lo cual pronto afectaría su estabilidad. Para prevenir estas filtraciones y a través de galerías, como ya se mencionó, un equipo de Geólogos y Técnicos especializados, realizarán un muestreo en la zona para detallar las características de la roca, tales estudios se realizarán mediante barrenación con recuperación de núcleo y pruebas de permeabilidad, los cuales permitirán diseñar la pantalla impermeable que habrá de proteger los macizos rocosos de infiltraciones, formando así un Plano de Estanqueidad.

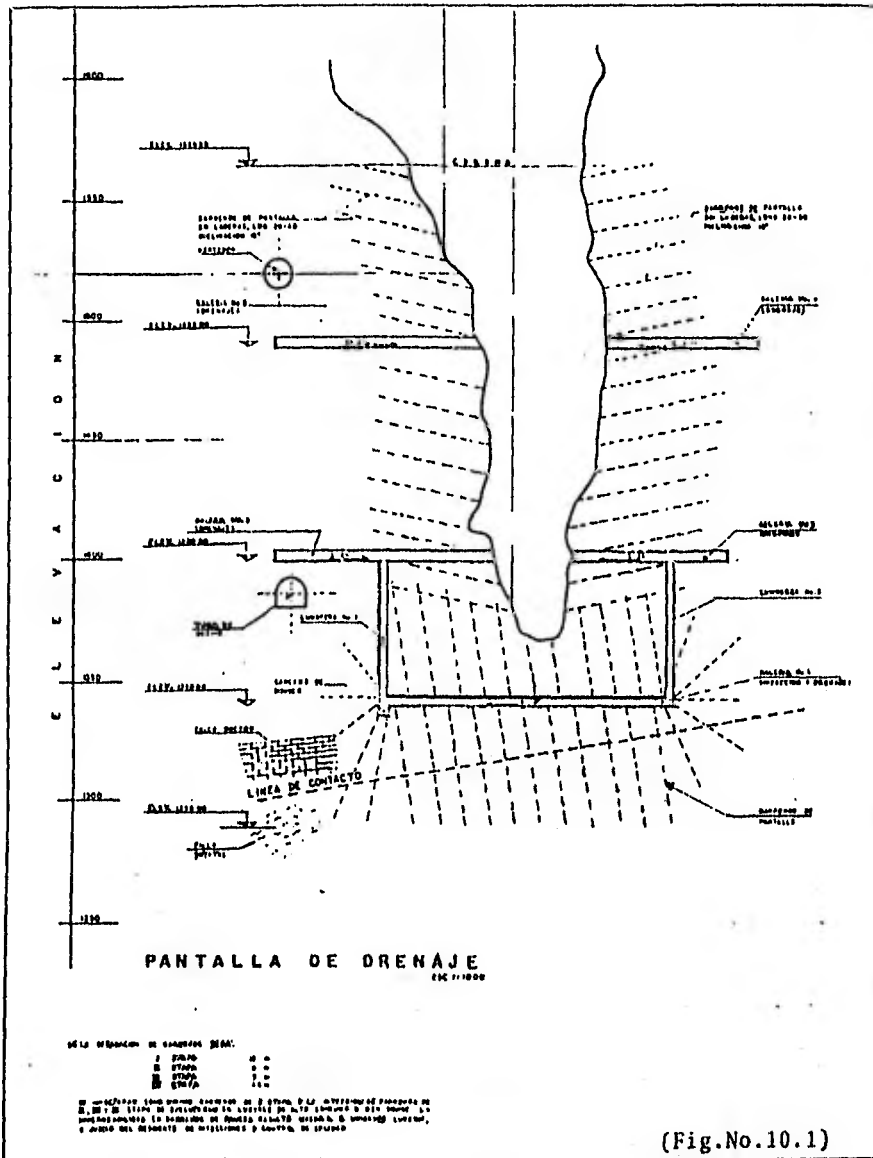
Por lo que respecta a los túneles de acceso, su diseño y cantidad dependerán de cada caso específico. Para el caso del proyecto se construirán cuatro niveles de inyección y drenaje, porque también hay que prevenir no solo que sean impermeables las laderas, sino que el agua que llegue a ingresar hasta la membrana, tenga la posibilidad de salir para evitar presiones sobre la capa impermeabilizada.



TENDIDO GEOFISICO (A)

(Fig.No.10)

EXCAVACION PARA EMPOTRAMIENTO M. 12Q.



El conjunto de galerías que se excavarán en las entrañas de la montaña, además de Inyección y Drenaje, también servirán para Inspección e Instrumentación. Existirán túneles destinados a tareas de inspección permanente durante la vida de la presa. En virtud de la importancia de la obra y el largo plazo de explotación de la misma, será necesario, por razones de seguridad, conocer durante toda la vida útil de la cortina su comportamiento. Por lo tanto se instalarán en la estructura y en su cimentación una serie de equipos y técnicas que permitirán detectar y transmitir los parámetros fundamentales que definen las cargas a la cual estará sometida la estructura.

Procedimiento Constructivo: Excavación de las laderas con track-drill, colocación de concreto a través de grúa giratoria horizontal de 80 metros de longitud y bachas de 6 m<sup>3</sup>.

## DATOS GENERALES

### UBICACION

#### a)Coordenadas:

Longitud Oeste 90° 30'

Longitud Norte 20° 40'

b)Rio Moctezuma

c)Estados Hidalgo y Querétaro

d)Municipios Zimapán y Cadereyta

### CORTINA

e)Tipo Arco-Bóveda de  
Concreto

f)Elevación de la Corona 1565 msnm

g)Longitud de la Corona 80 metros

h)Altura Total al Desplante 200 metros

i)Volumen de Concreto 220,000 m3

j)Desplante 1365 msnm

k)Bordo Libre 2 metros

### VASO DE ALMACENAMIENTO

l)Elevaciones: Capacidad:

NAMINO Nivel de 1520 msnm 680 mill. m3

NAMO Nivel de 1560 msnm 1360 mill. m3

NAME Nivel de 1563 msnm 1426 mill. m3

m)Capacidad para Azolves 250 mill. m3

n)Capacidad Util entre NAMINO-NAMO 680 mill. m3

o)Capacidad para Control de Avenidas. NAME-  
NAMO 66 mill. m3

<b>p)Area Ocupada por el Embalse NAME</b>	<b>22.9 Km2</b>
<b>q)Area Ocupada por el Embalse NAMO</b>	<b>21.8 Km2</b>
<b>r)Area Ocupada por el Embalse NAMINO</b>	<b>13 Km2</b>



## GEOLOGIA DE LA BOQUILLA :

El cañón del infiernillo fue labrado en rocas sedimentarias de la formación el Doctor, la que sobreyace a las calizas arcillosas intercaladas con areniscas de grano fino de la Formación Las Trancas.

En la parte baja del cañón afloran brechas dolomíticas en estratos gruesos a medianos, en tanto que en la parte alta del cañón se encuentran interestratificadas calizas micríticas y dolomías. Los estratos de esta formación se encuentran ligeramente inclinados : En la margen izquierda hacia adentro del macizo rocoso y en la margen derecha hacia el cauce.

Se presentan, en la parte baja del cañón, pequeñas fallas, de salto reducido, tres pliegues con buzamiento al NW y cuatro sistemas de fracturas, la mayoría de ellas selladas con calcita.

La formación El Doctor se clasifica como de "Buena Calidad".

La resistencia a la compresión simple en las calizas de la Formación El Doctor, arrojó valores entre 850 y 1280 Kg/cm<sup>2</sup>. Y los módulos de deformación entre 725,000 y 800,000 Kg/cm<sup>2</sup>.

### VASO:

El embalse estará cubriendo una secuencia de rocas volcánicas básicas constituidas por coladas de basalto, tobas y brechas basálticas. Esta formación se encuentra en posición casi horizontal y sólo se encuentra afectada, probablemente, por la Falla La Florida.

Hacia el oriente, el vaso se extenderá sobre el cauce del Río Tula, cubriendo las rocas sedimentarias de las Formaciones Soyatal-Méndez y El Doctor, así como rocas volcánicas de carácter riolítico con sus tobas y brechas asociadas, que se presentan al final del embalse.

## V.2 ALCANCES DE LAS OBRAS

### Las Obras Civiles que comprenden son:

- Desmante y despalle del sitio de la boquilla y donde se construirán los pulvinos.
- Excavación a cielo abierto en desplante de cortina y en zona de pulvinos.
- Excavación en galerías para inyecciones en ambas márgenes.
- Excavación dental para tratamiento de fallas, cavidades y fracturas.
- Inyecciones de Sutura y consolidación en zona de pulvinos.
- Inyección de Impermeabilización a través de galerías.
- Tratamientos de taludes a base de anclas de fricción y/o tensión donde se requiera. Así como concreto lanzado con malla metálica. Incluye suministro de materiales.
- Suministro y colocación de Soportes definitivos y temporales de la cimentación y en zona de pulvinos a base de marcos, barreras, mallas metálicas, etc.
- Construcción de todas las estructuras de concreto como son: pulvinos, base de la cortina, placa o cuerpo de la misma, revestimiento y portales de entrada de galerías para inyecciones, etc.
- Suministro y colocación de las cimbras y acero de refuerzo necesario.
- .Suministro y colocación de los componentes del concreto: cemento, grava, agua, aditivos o cualquier otro elemento necesario para garantizar las resistencias requeridas, así como para proteger el colado.
- Suministro y colocación y postensado de tirantes, llevando un control del tensado. Incluye inyectado y materiales.
- Control y desvío de los escurrimientos debidos a filtraciones de las ataguías.
- Suministro y colocación de barras y pernos de anclajes.
- Control de la temperatura de los colados por medio de hielo y/o serpentines para el agua de circulación.

- suministro y colocación de elementos necesarios para juntas de construcción y contracción .
- Relleno de cavidades de base de morteros de cemento.
- Suministro y colocación de tubos para drenajes e inyecciones.
- Explotación,extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en la obra.
- Limpieza general durante y al término de la obra.
- Trabajos extraordinarios que se requieran durante la ejecución de las obras.

# CAPITULO VI

## OBRA DE EXCEDENCIA

## VI. OBRA DE EXCEDENCIA

Los vertedores de demasías son las estructuras hidráulicas, cuyo objeto principal es dejar escapar el agua excedente de aquellas avenidas que no pueden ser almacenadas arriba del nivel máximo de operación (NAMO) dentro de la capacidad útil del vaso y que no son utilizadas en la generación de energía eléctrica.

La obra de Excedencias deberá ser diseñada hidráulicamente y estructuralmente de tal manera que las descargas a través de ellas no erosionen el resto de las estructuras.

La Avenida de Diseño es régimen de escurrimiento que entra a un vaso de Almacenamiento en cierto tiempo y cuyo tránsito por el mismo produce condiciones de descarga que servirán para determinar la capacidad de la Obra de Excedencias. De lo anterior está implícita la idea de que la capacidad de la Obra de Excedencias debe ser tal, que a través de ella pase el gasto correspondiente a la avenida máxima, que tenga la probabilidad de presentarse durante la vida de la presa, con objeto de preservarla de una falla que pudiera tener consecuencias catastróficas. Además de la Avenida de Diseño, la capacidad de una Obra de Excedencias, también la determinan las características del vaso y el programa de operación de la propia obra, por lo que en general una relación puede quedar expresada mediante la fórmula

$$V_e = V_s + \Delta V_a$$

$$V_s = V_e - \Delta V_a$$

En Donde:

$V_e$  = Volumen de entrada al vaso en cierta unidad de tiempo.

$V_s$  = Volumen de salida del vaso en la misma unidad de tiempo.

$V_a$  = Variación del volumen almacenado en el vaso en la misma unidad de tiempo.

La finalidad de transitar por el vaso la Avenida de Diseño seleccionada, empleando la ecuación de almacenamiento, es la de determinar la combinación de Superalmacenamiento en el vaso (el cual fija la altura de la cortina) y la capacidad de descarga del Vertedor u Obra de Excedencias.

En relación al proyecto, la Obra de Excedencias se clasifica, en relación a su forma de control como de cresta controlada, en donde, como su nombre lo indica, tienen un control para la descarga ejercido por dos compuertas radiales de 9.90 m X 20 m.

Compuertas Radiales.- Se llaman compuertas radiales debido a que tienen la forma de una porción de un cilindro y giran alrededor de un eje horizontal. Generalmente el agua actúa en el lado convexo, aún cuando en ocasiones la presión hidrostática ha sido aplicada en el lado cóncavo. La presión hidrostática en la placa cilíndrica se transmite a vigas horizontales, las cuales a su vez son soportadas por dos vigas extremas. Tales vigas extremas son soportadas por brazos radiales que emanan de un perno de apoyo que se localiza en el eje del cilindro.

En un vertedor en túnel se debe proporcionar una aireación suficiente para evitar la posible acción de sifón que resulta cuando un tramo del túnel tiende a sellarse temporalmente debido al desalojamiento de aire causado por ondas o por remansos. Los vertedores en túnel se diseñarán, por lo general para trabajar parcialmente llenos en toda su longitud. Para garantizar este funcionamiento, el área hidráulica ha de quedar limitada cuando mucho al 75% del área total del túnel.

Estructuras componentes de la Obra de Excedencias : Como resultado de los estudios del tránsito de la avenida de diseño a través del vaso, se obtuvieron la carga máxima ( $H_{\text{máx.}}$ ) y el gasto máximo ( $Q_{\text{máx.}}$ ), para el cual deben dimensionarse las diferentes estructuras que forman la obra de excedencias, aunque deben revisarse para todo el rango del gasto. Estas estructuras generalmente son : El Canal de Acceso ó de

LLamada,La Estructura de Control,El Conducto de Descarga,La Estructura Terminal y El Canal de Desfogue.

a) Canal de Acceso: El Canal de Acceso sirve para captar agua del vaso y conducirla a la Estructura de Control.Estas estructuras, en vertedores adosados a las laderas de la boquilla casi siempre son necesarias.Las velocidades de entrada,la curvatura del canal y las transiciones deben ser graduales.La longitud del canal debe ser mínima por razones de economía.

b)Estructura de Control : Esta estructura controla y regula los derrames del vaso y es en consecuencia una componente muy importante de la Obra de Excedencias.Según el tipo de topografía y por consecuencia,de Obra de Excedencias,la estructura de control puede ser de varias formas y estar libre o controlada.Para las estructuras de control de cresta libre,la capacidad de descarga está dada por la fórmula general de vertedores :

$$Q=C L_e H^{3/2}$$

donde:

C=Coeficiente de Descarga.

H=Carga Total sobre la Cresta, en m.

L<sub>e</sub>=Longitud Efectiva de Cresta, en m.

Q=Desacarga, en m<sup>3</sup>/seg.

La Longitud de Cresta es aquella por donde escurre el gasto vertedor y la Longitud Efectiva (L<sub>e</sub>) está dada por la fórmula :

$$L_e=L - 2(NK_p+K_a)H$$

donde:

L<sub>e</sub>= Longitud Efectiva de Cresta, en m.

L = Longitud Total Neta de Cresta, en m.

N = Número de Pilas.

Kp= Coeficiente de Contracción por Pilas.

Ka= Coeficiente de Contracción por Estribo.

H = Carga Total sobre la Cresta, en m.

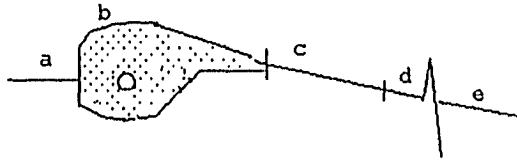
c) Conducto de Descarga : Los volúmenes liberados por la estructura de control se conducen al río aguas abajo de la presa a través de esta estructura..Los conductos de descarga usados mas frecuentemente son : Canales a Cielo Abierto, Conductos a través ó bajo la Cortina y para el caso de este Proyecto Hidroeléctrico, Túneles a través de las Laderas. Estos conductos deben estar cubiertos con materiales resistentes a la acción de socavación de las altas velocidades con que funcionan, así como ser estructuralmente adecuados para soportar las fuerzas de subpresión, empujes de tierras, cargas dinámicas, etc. a que están sujetos.

d) Estructura Terminal : La Estructura Terminal tiene por función disipar un alto porcentaje de la energía que posee el agua al llegar a ella, de forma que la que le quede no provoque daños, o bien lanzar el agua hacia adelante para lograr el mismo fin.

e) Canal de Salida : El Canal de Salida es la estructura que capta el agua que sale de la Estructura Terminal; Su función es conducir el agua hasta un lugar donde escurra en forma natural ó hacia el cauce de aguas abajo. No siempre se requiere construir Canal de Salida, esto dependerá de las condiciones topográficas, de la calidad de la roca, de la disposición de otras estructuras, etc.

Lo anterior, en forma esquemática:





- a.- CANAL DE ACCESO
- b.- ESTRUCTURA DE CONTROL
- c.- CONDUCTO DE DESCARGA
- d.- ESTRUCTURA TERMINAL
- e.- CANAL DE SALIDA

## VI. 1 DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS

El Vertedor estará ubicado en la Margen Izquierda del Río Moctezuma. Originalmente el vertedor fue concebido con un Túnel de Descarga, sin embargo, como resultado de un profundo análisis técnico, se modificó el diseño para construir el Vertedor con dos Túneles de Sección Portal de 9.90 m de ancho y altura variable de 9 a 14 m. Con una longitud promedio de los Ductos de 500 m. (Vease Figura No.11 )

Una de las partes más importantes y críticas del Vertedor es el revestimiento de concreto. En el Canal de Llamada se construirán las zapatas y los muros de encausamiento, estas grandes estructuras de concreto serán coladas con el sistema de cimbras de autosoporte. Además será trapecial en planta y contendrá pilas de sección variable. En la zona del cimaceo después de haber realizado el desplante, se tendrá una intensa actividad de armados y colados.

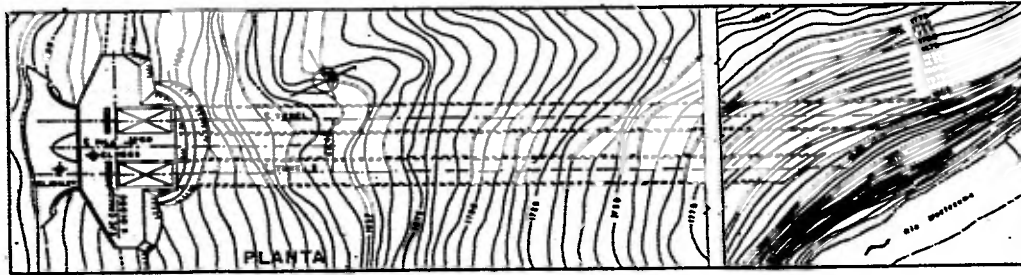
La cresta vertedora estará en el cadenamiento 0+00.000 y a la elevación 1547.50 msnm. El Puente estará a la elevación 1565.00 msnm.

Se colocarán 2 compuertas radiales, para un gasto máximo de descarga de 2,520 m<sup>3</sup>/seg, que transite un avenida con gasto máximo de 2,960 m<sup>3</sup>/seg. Esta compuertas serán operadas desde la plataforma a la elevación 1565.00 msnm.

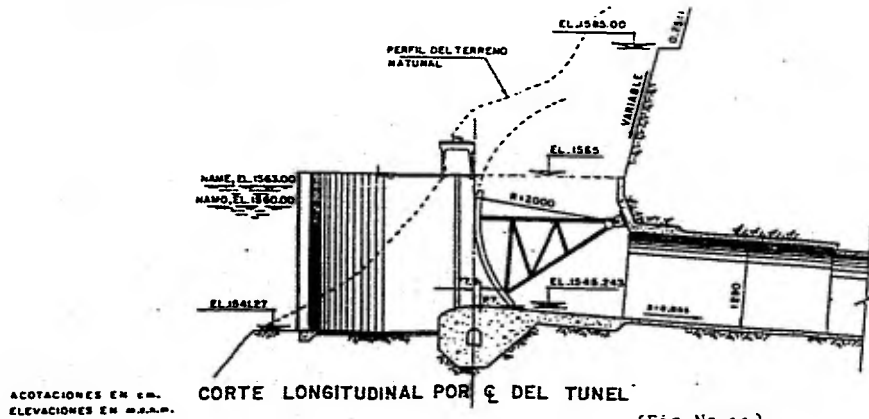
Aguas arriba de las compuertas y junto a ellas se colocarán las ranuras para el sistema de obturación por agujas metálicas para emergencias.

El tajo de entrada estará a la elevación 1545.05 msnm.

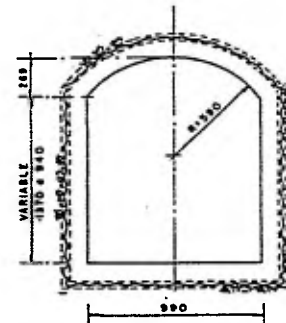
El Túnel No. 1 termina en el cadenamiento 0+567.00 y a la elevación 1,507.43 msnm.



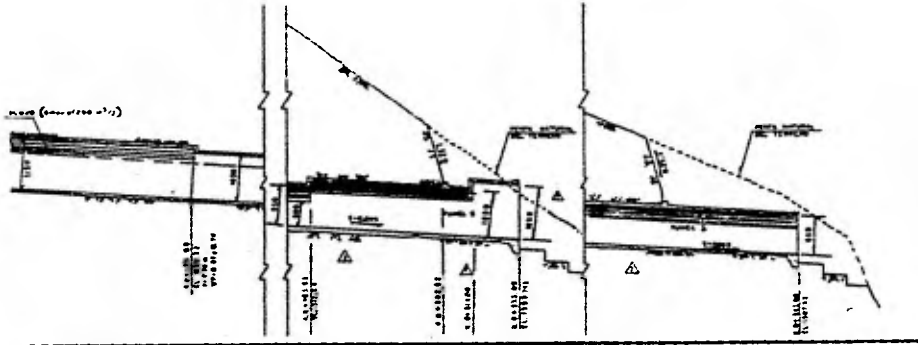
TUNEL VERTEDOR



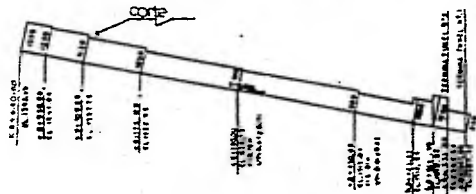
(Fig.No.11)



SECCION TUNEL No.1 Y 2



COORDENADAS		
PUNTO	X	Y
P. 00	447233.04	7294790.04
P. 01	447406.8	7294786.17
P. Cumbre	447943.75	7294423.00



SECCIONES TUNELES N°1 Y 2

DATOS DE PROYECTO	
Costo máximo (7,2 años 10000 años) + 2.960 m <sup>2</sup> /a	
Costo de Bodega	+ 2.320 m <sup>2</sup> /a
Elevación de la Cuesta	+ 1545.27 m
Longitud de la Cuesta	+ 15.80 m
(5,90 m por Túnel)	
Carga sobre la Cuesta	+ 17.73 m
Componentes Rotativos	+ 2
Túnel por Túnel	

DATOS HIDRAULICOS	
TUNEL N°1 (EST 0+367.00)	TUNEL N°2 (EST 0+322.50)
D = 1280.00 m <sup>2</sup> /s	D = 1280.00 m <sup>2</sup> /s
α = 3.40 m (incl. aire)	α = 3.40 m (incl. aire)
v = 25.08 m/s	v = 26.88 m/s
f = 0.043	f = 0.051

(Fig.No.11.1)

El Túnel No. 2 termina en el cadenamiento 0+533.00 y a la elevación 1,509.64 msnm.

Antes del revestimiento se usarán anclas de fricción y/o tensión en donde se requiera así como concreto lanzado con malla metálica. Se podrá usar ademe metálico en zonas aisladas. A lo largo de los túneles se aplicarán inyecciones de consolidación y de contacto.

Procedimiento Constructivo: Se realizará por el Método Convencional con Jumbos Hidráulicos.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## DATOS GENERALES

Obra de Excedencias con "Avenida

Probable " TR=10,000 Años.

a)Gasto Máximo Avenida	2960 m3/seg
b)Volumen de la Avenida	1.209 mill. m3.
c)Gasto de Diseño Descarga	2,520 m3/seg.
d)Elevación de la Cresta	1,545.05 msnm
e)Longitud de la Cresta.	20 metros.
f)Compuertas (una por túnel).	Radiales 2 de 9.90 m (ancho)X17.75m(altura),radio de 20 m.
g)Número de Túneles.	2
h)Sección de los Túneles	9.90mX altura variable de 13.90m a 8.50m.
i)Velocidad Máxima	25 m/seg.
j)Longitud Promedio de cada Túnel	500 m.
k)Relación de LLenado.	0.65

## HIDRAULICOS

### DATOS

TUNEL NO. 1	TUNEL NO. 2
(EST. 0+567.00)	(EST. 0+533.00)
Q= 1,260 m3/seg.	Q=1,260 m3/seg.
d=5.40 m (Incl.aire)	d=5.48 m (Incl.aire)
V= 25.06 m/seg.	V=24.68 m/seg
S= 0.065	S= 0.065

## **GEOLOGIA DE LA ZONA :**

Quedará alojada en la formacin el Doctor, constituida en esta zona por calizas micríticas y brechas dolomíticas en estratos de 30 cm a 2m de espesor. Los sistemas de fracturamiento levantados estn orientados al EN y NW, teniendo relleno la mayoría de las discontinuidades de calcita y sólo algunas de arcilla.

Considerando la calidad del macizo rocoso, se considera que la excavacin del túnel se podrá efectuar sin el empleo de un proceso sistemático de soporte temporal y exclusivamente en los tramos aislados que eventualmente lo pudieran requerir, se recomienda ademar paredes y claves de la excavacin con marcos metlicos.

Los cortes para alojar los portales se considera que no tendrán problemas de inestabilidad, aun que es probable la ocurrencia de pequeños bloques inestables que pudieran ser soportados con anclas de tensión.

## VI.2 ALCANCES DE LAS OBRAS

Las actividades que la integran son:

- Excavación a cielo abierto en tajo, y canal de llamada, en cimentación de pilas y apoyos del puente, en taludes que configuran la entrada incluyendo bermas, en tajo de salida y en plataforma de operación.
- Excavación en túnel incluyendo portal de salida.
- Protección y tratamiento de taludes, incluye drenes, cunetas, contracunetas y alcantarillas.
- Suministro y colocación de anclas de tensión y fricción donde sea necesario.
- Suministro y colocación de ademes donde se requieran.
- Construcción de todas las estructuras de concreto como son : pilas, muros, cimacio, losas, puente sobre canal de llamada, estructuras de obturación, portales de entrada y salida, revestimiento de túnel, canal de salida y caseta de operación.
- Suministro y colocación de cimbras y acero de refuerzo necesario.
- Suministro y colocación de los integrantes del concreto como son: cemento, arena, grava, agua, aditivos o cualquier otro componente necesario para garantizar la protección del colado y las resistencias requeridas.
- Suministro y colocación de partes fijas de acero estructural necesarias para la instalación y operación del sistema de obturación.
- Tratamiento de la roca a base de inyecciones donde se requiera.
- Extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en la obra.
- Limpieza general durante y al término de la obra.
- Cualquier otro trabajo que a juicio de la Comisión fuera necesario ejecutar, así como trabajos extraordinarios.



# CAPITULO VII

## CASA DE MAQUINAS

## VII. CASA DE MAQUINAS

Debido a las características propias de las Plantas Hidroeléctricas en que se aprovecha la energía de posición del agua, las estructuras de distribución en este tipo de instalaciones modernas, son siempre conductos a presión. En todos los casos los conductos a presión se inician en una obra de toma localizada en un vaso de almacenamiento, ya sea para regulación horaria ó anual, y también en la brida de la válvula de admisión a la turbina, o a la entrada de la turbina misma cuando no exista válvula. Cuando se trata de Turbinas de Reacción, el agua, después de pasar a través de los álabes, entra al tubo de aspiración y sale al cárcamo de desfogue, de donde regresa al río.

En el caso de Turbinas de Impulso, el agua después de chocar contra los Canchilones pasa directamente al cárcamo y al desfogue. La distribución del agua se puede efectuar desde el vaso de regulación hasta las turbinas, por uno o varios conductos, de acuerdo con las condiciones particulares de cada caso, de las que se señalan son las siguientes:

- a) Localización y longitud del conducto ó los conductos a presión.
- b) Potencia total del salto y Potencia posible por cada unidad.
- c) Número de unidades en función de la potencia y la velocidad específica más convenientes, para cada una de la Turbinas.
- d) Condiciones necesarias par la regulación de la velocidad de rotación de cada unidad y la estabilidad del conjunto.

En forma muy general se puede decir que desde el punto de vista económico, para Plantas Hidroeléctricas de gran carga y conductos muy largos, es conveniente considerar un solo conducto principal, y al llegar a las cercanías de la Casa de Máquinas, distribuir el agua a través de tuberías individuales a cada unidad.

Las Turbinas que alojará la Casa de Máquinas en el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, serán las Turbinas de Impulso. Su función principal es transformar la energía cinética y potencial del agua en trabajo útil. Esto se logrará por medio de la libre descarga de agua por una Tobera. La Tobera está apuntada hacia los álabes colocados a lo largo del perímetro de la Rueda Hidráulica. La fuerza del agua que choca contra los álabes hace girar la rueda y produce potencia. El tipo de Rueda Hidráulica en uso actual en las Turbinas de Impulso fue desarrollado en 1880 por Pelton y se llama Rueda Pelton. La rueda esta dentro de una cubierta para evitar salpicaduras y guiar la descarga después que el agua choca contra la rueda. En la mayoría de las Turbinas de Impulso, la Rueda Hidráulica gira en un eje horizontal por la acción de la descarga de una ó dos Toberas. Pero también pueden usarse ejes verticales con hasta seis Toberas para obtener alta eficiencia para cargas muy bajas. En esas instalaciones se pueden llegar a obtener eficiencias del 92% para plena carga y un poco menores al 90% para cargas de apenas una cuarta parte de la carga total.

## VII.1 DESCRIPCION GENERAL Y CARACTERISTICAS

La Central Hidroeléctrica contempla la instalación de dos unidades generadoras, constituidas con dos Turbinas del tipo Pelton de 140MW de Potencia cada una y generará un promedio anual de 1292.4 GWh que dada la posición de este proyecto, su cercanía con las ciudades de Querétaro y México y su facilidad de intercomunicación con el Sistema Eléctrico Nacional, por la proximidad con las Plantas Termoeléctricas de Tula, Hidalgo y el Sauz-Querétaro, ayudará a satisfacer las demandas de Energía Eléctrica de la región central del país.

El lugar para la Casa de Máquinas y la Subestación se localiza sobre la margen derecha del Río Moctezuma a 36 Km. aguas abajo de la cortina medidos sobre el cauce del río (Véase Figura No 1).

### Accesos al Sitio de Casa de Máquinas :

La población más cercana a Casa de Máquinas es San Joaquín, Qro. La cual se localiza 62 Km. al norte de Cadereyta, siguiendo por la carretera federal 120, después de Vizarrón se encuentra la desviación hacia San Joaquín.

Actualmente el acceso por Zimapán es por un camino de terracería, se llega a la mina "Balcones", de aquí se continúa sobre el cauce del Río Tolimán hasta la ranchería "Las Adjuntas" en la confluencia con el Río Moctezuma, continuando sobre la margen derecha de este río, siguiendo una brecha de 4 Km. se llega al lugar donde se ubicará la Casa de Máquinas y la Subestación. Este acceso sólo se usa en época de estiaje.

Por ferrocarril el acceso más cercano al sitio está en la Estación Bernal de Tequisquilapan a 205 Km. de recorrido desde la Ciudad de México.

En Zimapán existe una pista aérea de terracería en buenas condiciones; Actualmente es ocupada por aviones particulares.

En los frentes de trabajo 35 Km. río abajo de la Cortina, requerirán de la construcción de caminos, túneles y brechas. Tan solo el camino principal de acceso con una longitud de 34 Km, tendrá que abrirse paso a través de la difícil topografía de la zona para poder llegar a la Casa de Máquinas. Abrirse paso, mover toneladas de piedra y tierra, metro a metro sin parar, todo con el objetivo de permitir la llegada del pesado y voluminoso equipo electromecánico como : Turbinas, Transformadores y Generadores que sumados significan cientos de toneladas.

La Casa de Máquinas alojará las turbinas tipo Pelton de 140 Megawatts cada una, que finalmente transformarán la Energía Potencial del agua, en Energía Mecánica y por fin en Energía Eléctrica, es aquí donde el agua almacenada por la cortina y conducida a lo largo de 21 Km cumplirá su función. La Casa de Máquinas es una de las principales Obras de Generación de Energía, ya que son el principio y fin de todo Proyecto Hidroeléctrico, la cual recibirá los equipos electromecánicos para la generación de electricidad. Además de la Casa de Máquinas se tendrán y construirán las estructuras elementales como: **La Galería de Transformadores, El Túnel de Desfogue** ; Antecediendo a la Casa de Máquinas, en relación a su ubicación y a las dos obras anteriores y para su operación conjunta de las obras de generación también se tienen : **La Obra de Toma, El Túnel de Conducción, El Pozo de Oscilación y la Tubería de Presión.**

## Las Obras de Generación están compuestas :

### **a) Casa de Màquinas :**

Serà del tipo caverna. Para socavar esta enorme caverna serà necesario perforar, dinamitar y extraer la roca. El volumen de extracciòn serà de aproximadamente 50,000 m<sup>3</sup>. En el interior la magnitud de las excavaciones de los pozos para las turbinas empequeñeceràn a la maquinaria. La caverna principal de la Casa de Màquinas, serà protegida su bòveda con malla de acero y concreto lanzado, gracias a la buena calidad de la roca no serà necesario ningùn otro tipo de revestimiento.

Una grúa viajera con capacidad de 290 toneladas, serà montada provisionalmente en el interior de la caverna, para facilitar las maniobras de la obra civil, como el montaje de las Turbinas y sus Generadores Elèctricos.

La Casa de Màquinas alojarà dos turbinas pelton para una carga bruta de 589.80 metros, girando a una velocidad de 360 r.p.m. y acoplada a Rotores-Generadores de 140 MW de potencia cada uno.

Sus dimensiones genrales son : 22 metros de ancho por 70 metros de longitud y por 38 metros de altura.

Se contempla que contenga niveles para: Vàlvulas, Turbinas, Excitadores y Generadores.

El acceso a Casa de Màquinas serà a la elevaciòn 968.95 m.s.n.m. que corresponde a zona de Montaje y nivel de Excitadores. Esta misma elevaciòn serà para la Galeria, para Transformadores y Subestaciòn.

Procedimiento Constructivo: Se realizarà por el método convencional con jumbos hidráulicos y banqueo con track-drill.

#### **b) Galería de Transformadores :**

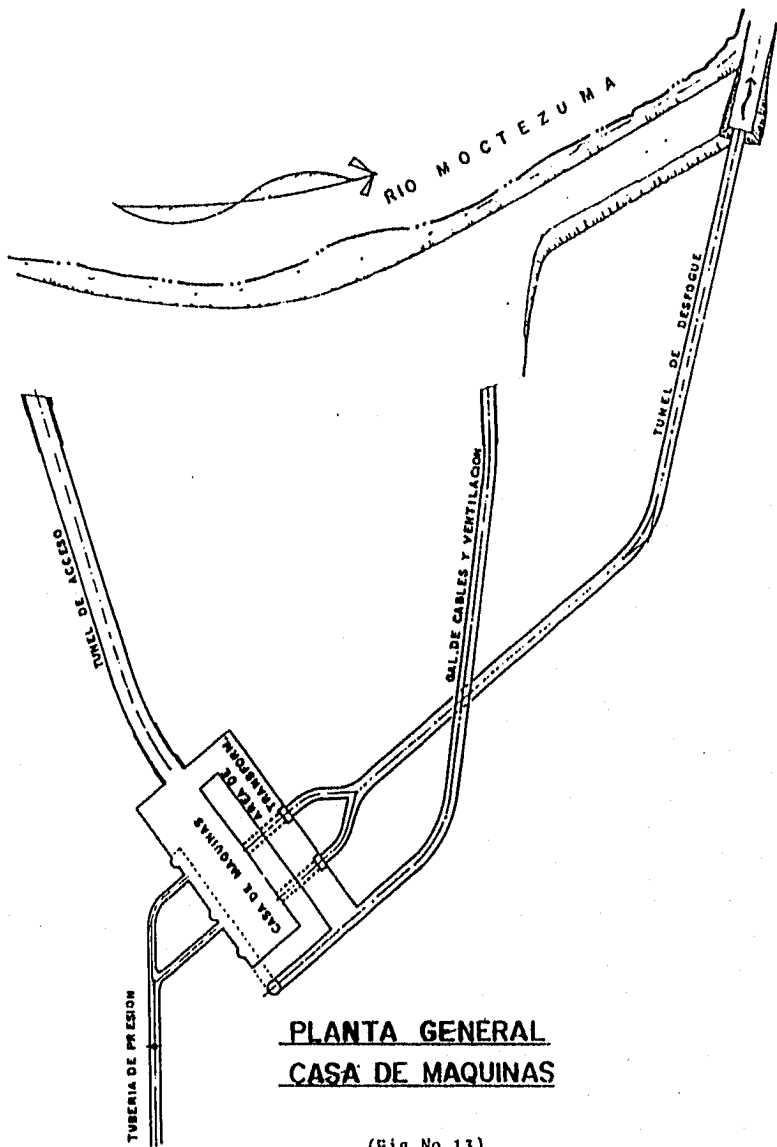
Será en caverna, aguas abajo de Casa de Máquinas, sus dimensiones generales son 12.50 metros de ancho, 59.60 metros de largo y 12.00 metros de altura.

En la Galería de Transformadores se realizarán los mismos trabajos que en la Casa de Máquinas, relacionados a la estabilización de la bóveda. Y así mismo las obras de los ductos para los buses de fase aislada por donde pasarán las barras que conducirán la energía proveniente de los generadores hacia los transformadores que la enviarán al Sistema Interconectado Nacional (Vease Figura No. 3).

La alimentación de aire a Casa de Máquinas, Galería para transformadores y Subestación será inyectándolo del exterior por medio de ventiladores localizados en la plataforma a elevación 965 m.s.n.m. y conduciéndolo y distribuyéndolo a través de galerías, pequeñas lumbreras y ductos. La distancia aproximada de conducción será de 200 metros. La extracción del aire será por medio de ductos y túnel de acceso.

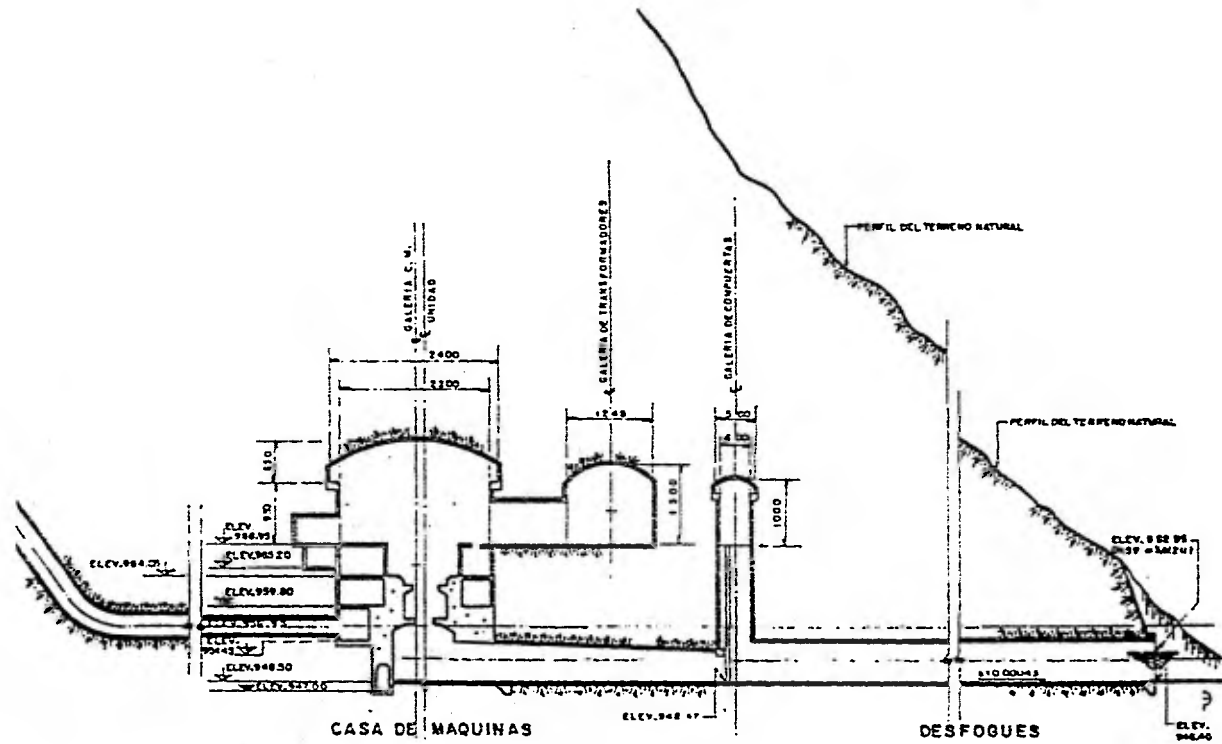
#### **c) Acceso a Casa de Máquinas :**

Será por medio de un túnel sección portal de 8.00 metros de ancho y 7.00 metros de altura, una longitud de 210 metros. El umbral de entrada estará a la elevación 965 m.s.n.m. Se usarán anclas de fricción y de tensión así como concreto lanzado con malla metálica en donde se requiera.



(Fig.No.13)





(Fig.No. 13.1)

#### **d) Desfogues :**

Una vez que el agua haya cumplido su función de mover las turbinas, ésta deberá ser conducida nuevamente por medio del túnel de desfogue al cauce del río; Son aguas que habrán hecho posible el principio y fin de este gran proyecto y que habrán cumplido su función "La Generación de Energía Eléctrica".

Será excavado con el tratamiento de estabilización selectivo con el anclaje correspondiente. Y serán por medio de dos túneles de sección portal de 6.1 metros de altura y ancho variable en una longitud de 15 metros de eje de unidades, a partir de la cual, tendrán un ancho constante de 3.25 metros.

Estos túneles convergen a un sólo túnel de sección portal de 6.50 metros de ancho por 6.10 metros de altura.

La longitud de los primeros dos túneles es de 70.75 metros y del último es de 85 metros.

Los túneles serán revestidos de concreto reforzado y su pendiente será de 0.00043. Se usarán anclas de fricción y de tensión donde sea necesario así como inyecciones de consolidación y de contacto.

El nivel de salida del desfogue estará a la elevación 948.49 m. s. n. m.

#### **Obturadores de Desfogues :**

Se hará por medio de dos compuertas rodantes sobre lumbreras de 14.35 metros de altura sección transversal. Las compuertas serán operadas desde una galería de 4 metros de ancho por 45 metros de largo y por 10 metros de altura a la elevación 968.95 m. s. n. m.

Las lumbreras serán revestidas de concreto reforzado con inyecciones de contacto y de consolidación. Aguas abajo de la localización de estas compuertas estará el desfogue de la Turbina auxiliar.

**e) Subestación :**

Se hará también en caverna localizada aguas abajo de Casa de Máquinas, al lado de Galería para Transformadores, separada de ésta únicamente por el túnel de acceso a Casa de Máquinas.

Sus dimensiones generales son : 12.50 metros de ancho, 22 metros de largo y 12 metros de altura. Esta subestación será blindada a base de Hexafluoruro de Azufre.

De la Subestación saldrán dos líneas de salida de Dañú Hidalgo con 230 KV. Cada una y una longitud hacia la red Dañú por Huichapan, Hgo. De 80 Km. De donde se enlazarán al Sistema Interconectado Nacional.

**f) Obra de toma :**

Las Obras de toma en presas son pasajes o conductos a través de los cuales se extrae agua, de acuerdo con una ley determinada. Forman un conjunto de estructuras y sus auxiliares que permiten condiciones satisfactorias de flujo, eficiente control y regulación de las extracciones en cualesquiera circunstancias.

El diseño de Obras de Toma varía mucho de acuerdo con las condiciones geológicas y topográficas, los tipos y dimensiones de las cortinas, así como las variaciones de gasto por extraer.

### **Elementos de las Obras de Toma :**

En general, una Obra de Toma consiste en Estructura de Entrada, Mecanismos de Regulación y Emergencia con su equipo de Operación y Dispositivos para disipación de energía.

La Estructura de Entrada puede consistir en desarenador, rejillas y orificio u orificios. Con frecuencia en la Estructura de Entrada se instalan Compuertas de Emergencia o de Control con el objeto de desaguar los conductos en caso necesario. Asimismo, a lo largo de los conductos se construyen transiciones, cuando se requieren cambios en el tamaño o la forma de las secciones rectas; en algunas ocasiones será necesario construir un canal de acceso o llamada, con el fin de orientar el flujo de agua desde el vaso hasta el sitio de la toma.

Los Mecanismos de Regulación y Emergencia, consisten en válvulas o compuertas que se diseñan para la carga máxima y se construyen para ciertas condiciones de operación. Las de Emergencia se instalan aguas arriba de los de Regulación y se conservan abiertas, excepto cuando se requieren maniobras de inspección, reparación o mantenimiento.

Los Mecanismos de Regulación se operan para extraer gastos necesarios y consisten en válvulas o compuertas que pueden operar a aberturas parciales o en su totalidad.

Con frecuencia es conveniente prever una ventilación adecuada a aquellos sitios en que se puedan presentar presiones subatmosféricas o sea necesario dejar escapar aire comprimido, principalmente en donde las válvulas o compuertas vayan a operar bajo grandes cargas.

Los Mecanismos de Emergencia se instalan en el paramento mojado de cortinas de concreto o a la entrada de los conductos en cámaras especiales desde donde se operan; los de Regulación se pueden instalar inmediatamente aguas abajo de las de emergencia o en el extremo inferior de los conductos, de acuerdo con las circunstancias particulares de cada caso.

Los conductos en las Obras de Toma pueden ser túneles o tuberías, o bien túneles y tuberías, en donde las tuberías trabajarán a presión y los túneles también a presión o como canales abiertos.

Todos los elementos de la obra de toma se deben Planear para satisfacer las condiciones particulares del sitio determinado. Las Elevaciones, las Pendientes y los Alineamientos los determinarán las CARGAS DE OPERACION. La Capacidad Requerida, la Localización y la Elevación del Agua en la DESCARGA. Etc.

Es conveniente que los Alineamientos sean según una línea recta o muy cercanos a ella; y cuando sean necesarios los cambios de dirección o codos, que los radios de curvatura de los ejes no sean menores de cinco veces los diámetros de los conductos.

En relación al Proyecto esta importante Obra, estará localizada en la margen derecha del río Moctezuma, aproximadamente a un Kilómetro de la Boquilla, formada por Túnel, con bocatoma de sección rectangular de 3.5m X 4.5m, aboclnada y revestida de concreto reforzado, con tres transiciones: de rectangular a circular de 4.5 metros de diámetro, de circular a rectangular de 3.5m X 4.5m y de rectangular a circular de 5.0 metros de diámetro.

El eje de la bocatoma estará a la elevación 1502.25 y a la pendiente de 0.0002.

Las rejillas distribuidas en planta en un senuodecágono inscrito en una semicircunferencia de 12 metros de diámetro, colocados en planos inclinados hasta la elevación 1509.50 m.s.n.m. en donde continuarán en forma horizontal. El área libre de las rejillas es para permitir el paso de un gasto de 59 m<sup>3</sup>/seg.

La Estructura de Control estará formada por dos compuertas: Una auxiliar y una de Servicio, para vanos de 3.55 metros X 4.5 metros deslizantes a lo largo de una lumbrera vertical de sección transversal indicada en planos, por 60 metros de altura, revestida de concreto reforzado y tratada con inyecciones de contacto y de consolidación.

Las compuertas serán operadas desde una plataforma a la elevación 1565 m.s.n.m..

**g) Túnel de Conducción :**

El Túnel de Conducción es parte integral de la obra de toma. En el Proyecto Hidroeléctrico, el Túnel de Conducción trabajará como canal abierto hasta la galería para válvulas, en donde de ahí en adelante se trabajará con una sección de Tubería a Presión hasta terminar en la Casa de Máquinas.

Para tener el desnivel que dará la máxima eficiencia a la Turbinas, se determinó ubicar la Casa de Máquinas a varias decenas de Kilómetros de la Cortina. Para conducir el agua hasta la Casa de Máquinas, será necesario excavar a través de roca sólida, un Túnel de 21 Km. de largo, con 4.70 m de diámetro en sección de herradura, con revestimiento total de concreto hidráulico y pendiente que variará de 0.0015 a 0.0027, la elevación de inicial de la plantilla está a 1500 m.s.n.m. Será el Túnel mas largo en México para Centrales Hidroeléctricas.

Se colocarán anclas de fricción y de tensión en donde se requiera, así como ademe temporal metálico. El tratamiento será a base de inyecciones de consolidación y de contacto.

Dada la magnitud y ubicación del Túnel de Conducción de dicho Proyecto, se presentaron alternativas para atacarlo mediante la construcción de túneles crucero (VENTANAS), siendo definidas la Ventanas V1, V2, V3, V4 Y V6, además de la opción de utilizar un frente desde Obra de Toma. Por lo tanto se excavarán cinco Ventanas o Accesos de Trabajo para atacar esta larga

conducción por los diferentes puntos, buscando avanzar más rápidamente con la excavación y enfrentar las eventuales contingencias Geológicas desfavorables. Las excavaciones que estas obras demandarán, son una característica importante del proceso constructivo, no serán simples movimientos de material, en algunos casos se podrán encontrar Fallas Geológicas que retrasarán el programa de trabajo en un mes o meses. Estas acciones requerirán técnicas Topográficas de alta Tecnología y Precisión y en ciertos casos soluciones alternativas. ( Véase Figura No.14).

Las obras significarán la extracción de Miles de m<sup>3</sup> de roca fragmentada, para lo que se utilizarán vagones sobre rieles, con un sistema denominado Cambio Tipo California, que ofrece una alternativa rápida y eficiente para las maniobras de operación.

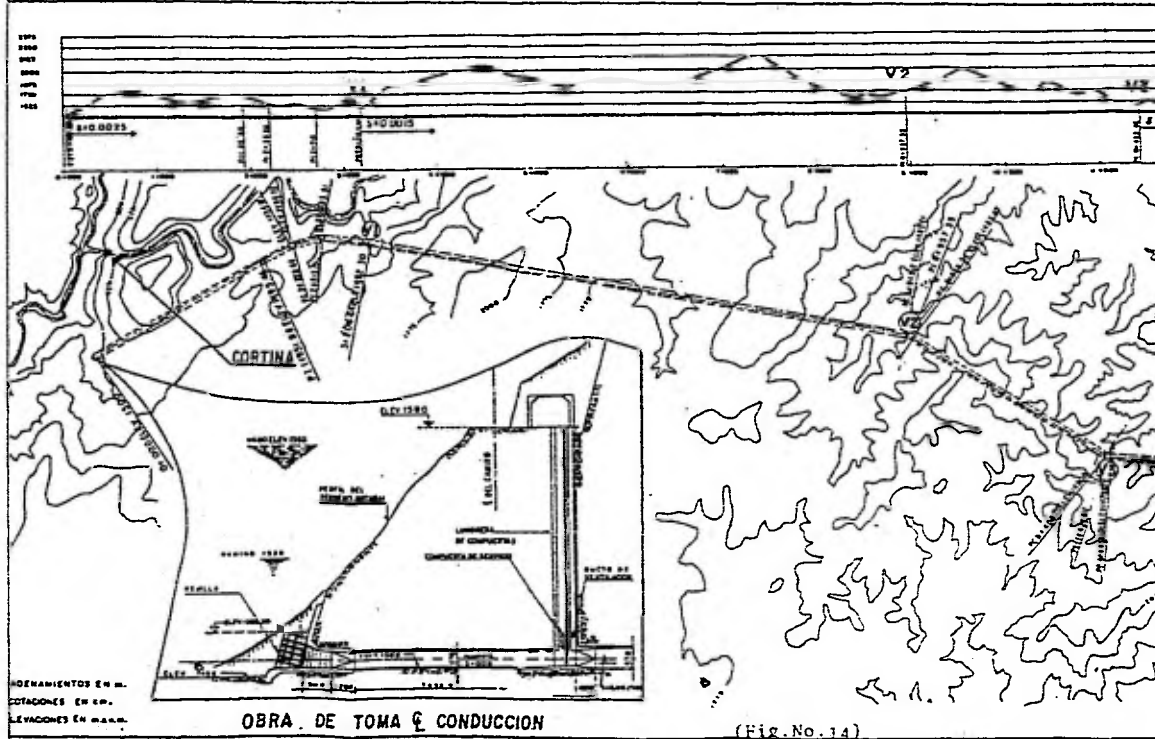
Procedimiento Constructivo: Se realizará por el método convencional con jumbos hidráulicos de tres brazos montados sobre rieles y con 6 frentes de trabajo a través de 4 ventanas de acceso.

#### **h) Pozo de Oscilación :**

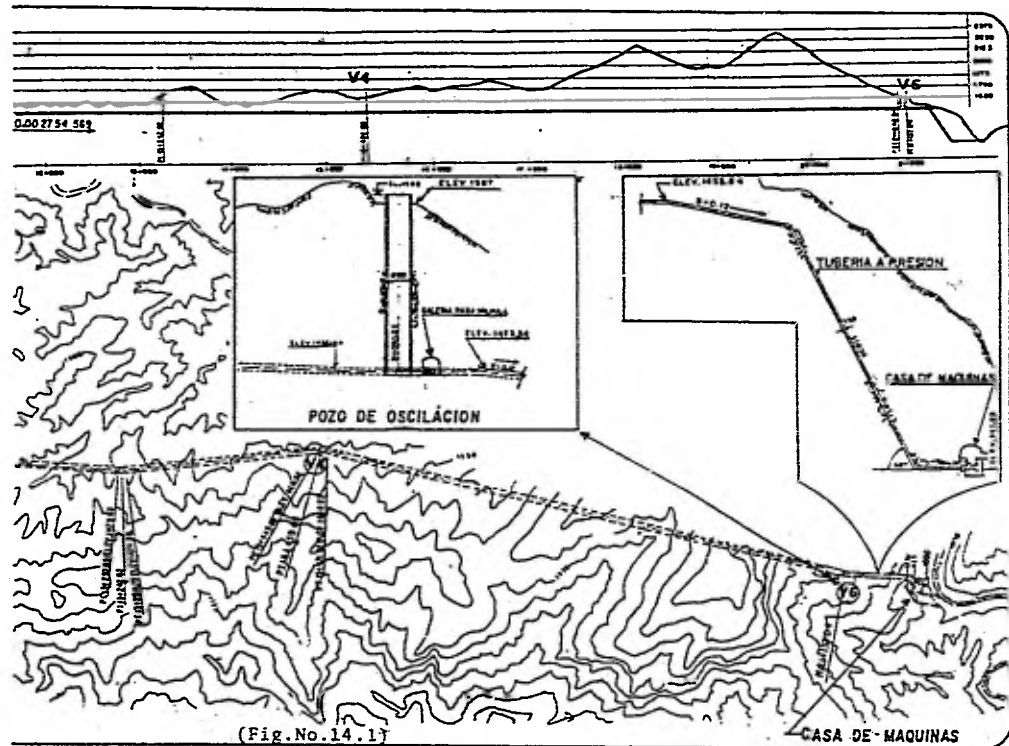
No estando en operación las Máquinas, el nivel de agua en el Pozo de Oscilación se establece con el mismo nivel de agua en el vaso, éste es el nivel estático. Cuando el vaso está lleno, el Pozo de Oscilación no debe desbordarse, por lo que su altura debe ser suficiente para tal efecto.

Cuando la Planta funciona con un cierto gasto, el nivel de agua en el Pozo de Oscilación baja y se establece al nivel piezométrico.

Si debido a un incidente de operación el gasto se interrumpe bruscamente en la Casa de Máquinas (cierre rápido de las válvulas de admisión de agua a las tuberías), se produce un golpe de ariete cuya onda se propaga remontando la tubería a presión, desde las válvulas hasta el Pozo de Oscilación. Si este no existiera, la onda del golpe de ariete se seguiría propagando a lo largo del túnel







hasta el vaso de almacenamiento. En general ya se trate de cierre o abertura de pasajes entre álabes, se producirán oscilaciones en el túnel y en el Pozo de Oscilación.

Amortiguar la sobrepresión ocasionada para la apertura o cierre de las válvulas que permitirá el paso al agua del agua a las turbinas, requerirá en el proyecto, la construcción de un Pozo de Oscilación. Para llegar a él y poder ingresar los diferentes equipos y materiales a la zona, se construirá un camino de 4 Km de longitud por 6 m de ancho desde Casa de Máquinas, hasta la plataforma del Pozo de Oscilación.

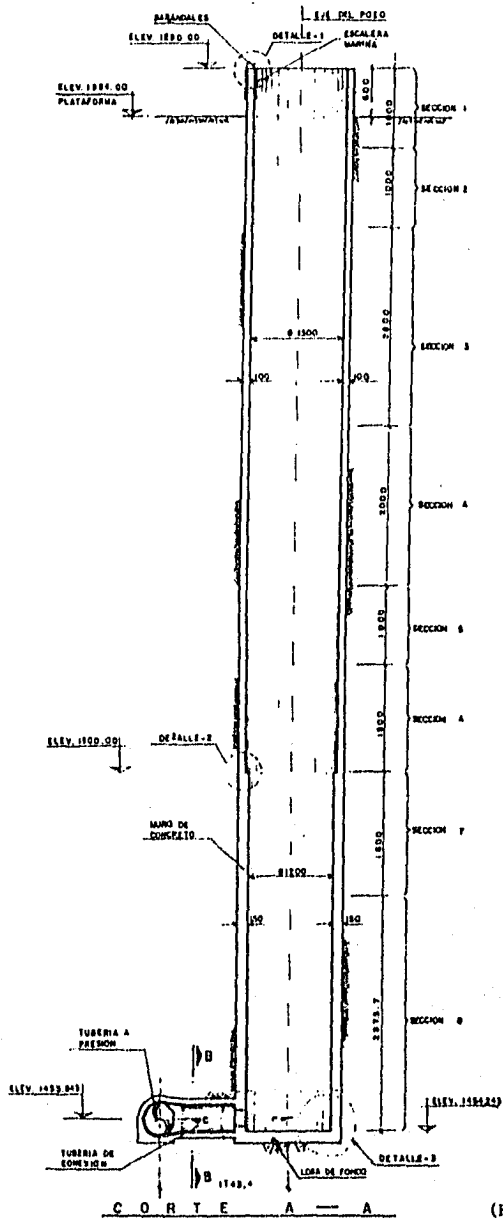
En el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán el Pozo de Oscilación queda ligado entre el Túnel de Conducción y la Tubería a Presión. El Pozo de Oscilación será de sección circular y tendrá un diámetro de 12m. y 135m. de altura con revestimiento de concreto reforzado, se aplicarán inyecciones de consolidación y de contacto. Se localizará en el kilometraje 21+090.04 del túnel de conducción, la elevación al centro del túnel estará en 1455.84 m.s.n.m. y su punto máximo de altura se encontrará en la elevación 1590.00 m.s.n.m. en su forma más simple el Pozo de Oscilación es de eje vertical de sección transversal constante en cuyo fondo del pozo desembocarán el Túnel de Conducción y la Tubería a Presión. ( Ver Figura No. 15).

Procedimiento Constructivo: Excavación con Alimak de un pozo piloto de 2.40 metros de diámetro y banqueo con track-drill para tener la sección de 12m de diámetro.

#### **1) Tubería a Presión :**

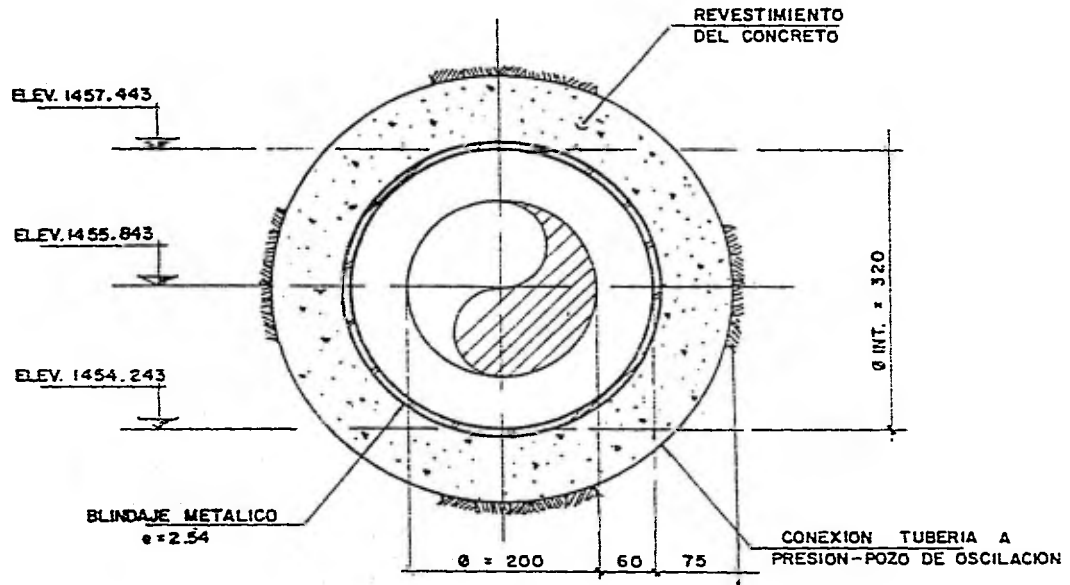
Se considera que una Tubería a Presión es un conducto cerrado entre una turbina, bomba o válvula y el primer espejo de agua, aguas arriba de las máquinas o los mecanismos antes citados. El espejo de agua puede ser un Pozo de Oscilación, Tanque o Vaso de Almacenamiento, Río o Canal, con la única





(Fig.No.15.1)

P L A N T A



C O R T E B - B

(Fig. No. 15.2)

condición de que el área de dicho espejo sea cuando menos la mitad de el área de la Tubería.

Las Tuberías deben ser hidráulicamente tan eficientes como sea posible, con el objeto de conservar la carga disponible y estructuralmente seguras, para prevenir fallas que puedan causar pérdidas de vida o bienes. Se pueden fabricar de una gran variedad de materiales, pero la resistencia y flexibilidad del acero hace de él, el más conveniente para trabajar con la variación de presiones que provoca la operación de una turbina, bomba ó válvula.

El diseño y la construcción de tuberías de gran diámetro, para trabajar a presión, están reguladas por códigos apropiados que establecen reglas prácticas que se deben seguir. En México no existe un código especial que norme el diseño y la construcción de tuberías a presión, por lo que ha habido necesidad de apearse a normas extranjeras, principalmente Estadounidenses y en particular las de la A.S.M.E.

En la actualidad las tuberías de grandes diámetros se hacen con placas de acero soldadas, razón por la cual en el diseño se deben tener en cuenta los procesos y procedimientos para aceros soldados y la inspección y prueba de soldaduras.

Cuando una tubería se diseña para conducir agua a una turbina, las pérdidas de carga deben ser las mínimas posibles en consonancia con la economía del conjunto. Un estudio económico aislado dará cierto diámetro para una tubería; Pero el diámetro definitivo se debe obtener tomando en consideración aspectos económicos y de ingeniería. Por ejemplo, en una Planta Hidroeléctrica puede requerir una Tubería a Presión con cierto diámetro económico ligada a un Pozo de Oscilación para regulación; Pero una solución de conjunto, más económica, puede resultar utilizando una tubería de mucho mayor diámetro, eliminando el Pozo de Oscilación.

Como ya se mencionó, la localización de las tuberías la determinará el tipo de Cortina, la Obra de Toma y la localización relativa de la presa y Casa de

Màquinas, o presa y descarga, así como el método de desviación que se use durante la construcción de las obras.

En el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán, La Tubería a Presión, quedará ligada con el Pozo de Oscilación y la Casa de Máquinas. Y a una distancia de 240m aguas abajo del Pozo de Oscilación, inicia la rama inclinada a  $60^\circ$  respecto a la horizontal y con protección de camisa metálica. La Tubería a Presión tendrá un diámetro ya revestido por un blindaje metálico en sección transversal circular de 3.5m, con una longitud de 1,050m y una pendiente inicial de 0.12

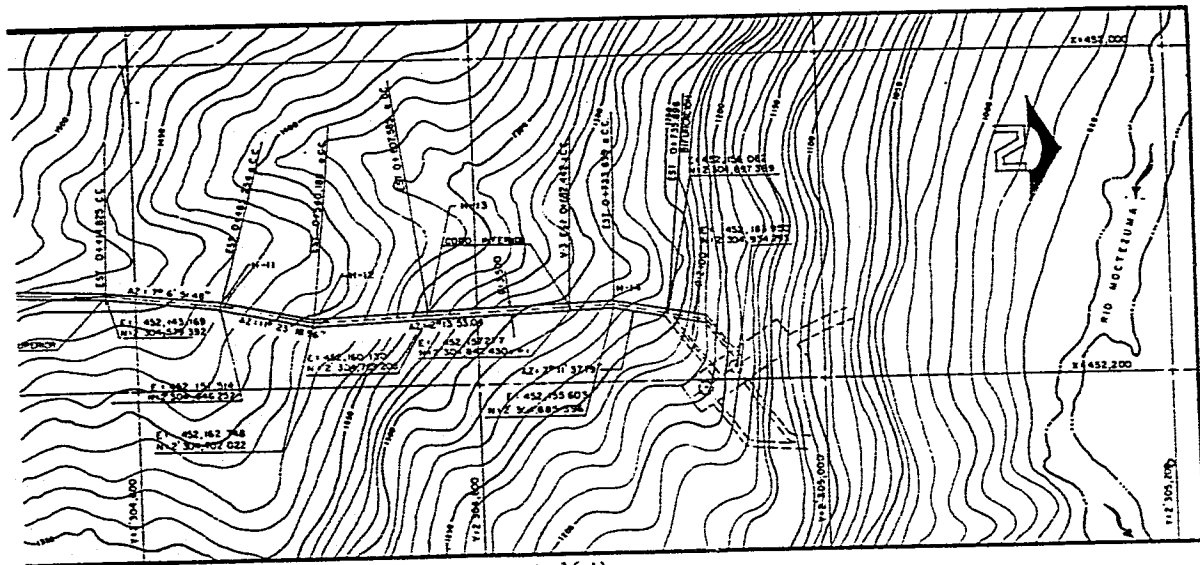
La tubería metálica se iniciará unos metros aguas arriba del Pozo de Oscilación. ( Ver Figura No16).

El túnel llevará un revestimiento de concreto reforzado incluyendo inyecciones de consolidación y de contacto previas al montaje de la tubería. Entre la tubería y el revestimiento se colocará un empaque debidamente tratado a base de inyecciones.

Procedimiento Constructivo: Excavación con Alimak de un túnel piloto de sección 3X2.50 metros y ensanchamiento con jumbo de 2 brazos banqueado desde la parte superior.



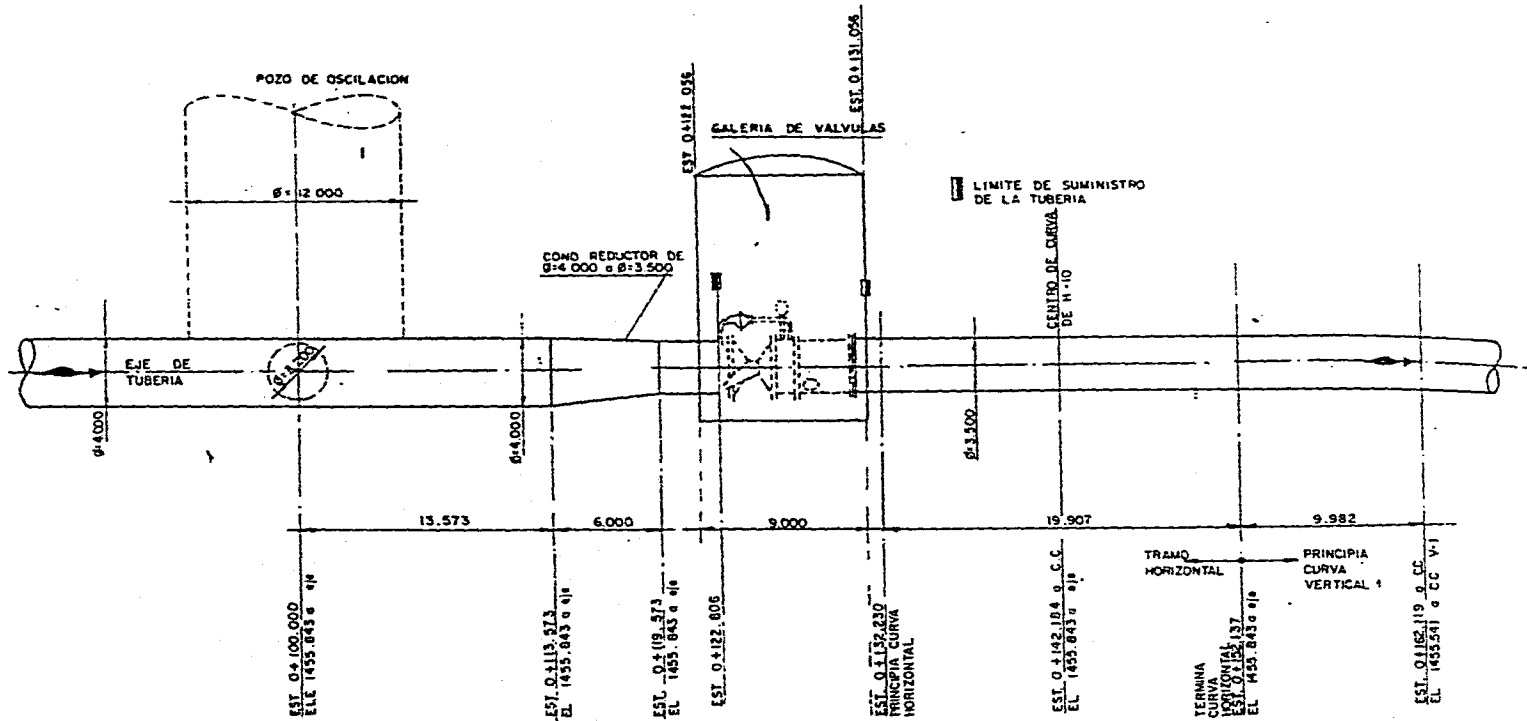




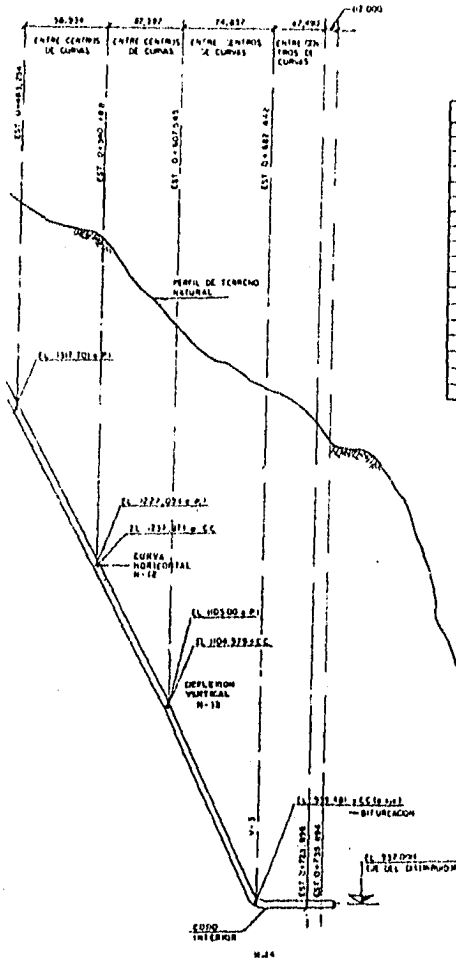
(Fig.No.16.1)



DETALLE "A"



(Fig.No.16.3)



### LONGITUDES DE TUBERIA A EJE

Descripción	Parcial	Acum.
DE 0+000.00 A PC (V-9)	48.000	48.000
LONGITUD DE CURVA V-9	20.000	68.000
DE PIV-9 A LA REDUCCION DE 400 A 35 = B	45.571	113.571
REDUCCION DE 400 A 35 = B	8.000	119.571
DE LA REDUCCION A PC (V-10)	18.897	138.468
LONGITUD DE CURVA V-10	18.000	156.468
LONGITUD DE CURVA VERTICAL DE PC (V-10) A PE (CODO SUPERIOR)	19.959	176.427
LONGITUD DEL CODO SUPERIOR DE PE (CODO SUP.) A PC (V-11)	216.517	403.024
LONGITUD DEL CODO SUPERIOR DE PE (CODO SUP.) A PC (V-11)	0.277	413.301
LONGITUD DE CURVA V-11	115.013	528.314
DE PE (V-11) A PC (V-12)	2.959	531.273
LONGITUD DE CURVA V-12	20.139	551.412
DE PE (V-12) A PE (CODO INFERIOR)	11.679	563.091
DE PE (V-12) A PE (CODO INFERIOR)	123.313	686.404
DE PE (V-12) A PE (CODO INFERIOR)	184.803	871.207
LONGITUD DEL CODO INFERIOR DE PE (V-12) A PE (V-13)	16.212	887.419
DE PE (CODO INFERIOR) A PE (V-13)	32.738	920.157
DE PE (V-13) A LA BIFURCACION	12.000	1007.817

DATOS HIDRAULICOS		
B = 400	0.330	0.140
Q = 11.7 m <sup>3</sup> /s	0.75 m/s	0.175 m/s
V = 1.266 m/s	4.827 m/s	4.546 m/s
V = 4.293 m/s	V = 1.15 m/s	V = 3.17 m/s

(Fig. No. 16.4)

## DATOS

## GENERALES

## OBRAS DE GENERACION DE ENERGIA

<b>OBRA DE TOMA</b>	
a)	Tipo de Toma: Rampa
b)	Elevacion de la Obra de Toma: 1500 m.s.n.m.
c)	Elevación Plantilla en el Canal de LLamada: 1498 m.s.n.m.
d)	Dimensiones de Compuertas: 3.50X4.50 m.
	Rejillas: 5 Tableros de 2.00X8.50 m.
<b>TUNEL DE CONDUCCION</b>	
e)	Diámetro:(Sección Herradura) 4.70 m.
f)	Longitud: 21,000 m
<b>POZO DE OSCILACION</b>	
g)	Altura: 135.00 m.
h)	Diámetro del Pozo de Oscilación: 12.00 .
<b>TUBERIA A PRESION</b>	
i)	Diámetro: 3.50 m.
j)	Longitud 1,050 m.
<b>CASA DE MAQUINAS</b>	
k)	Gasto de Diseño por unidad: 20.8 m <sup>3</sup> /seg.
l)	Nivel Medio de Desfogue: 948.00 m.s.n.m.
m)	Velocidad de Rotación de las Turbinas: 700 r.p.m.
n)	Carga Bruta Máxima: 603 m.
ñ)	Carga Bruta Mínima: 563 m.
o)	Carga de Diseño Bruta: 593 m.
p)	Carga Neta de Diseño: 553 m.
q)	Generador: 147.4 MVA.
r)	Potencia de Cada Unidad: 146 MW.
s)	Capacidad Instalada, 2 Pelton: 292 MW. (8 Chiftones cada una)
t)	Factor de Planta Media Anual: 0.53
u)	Generación Media Anual Firme: 1,139.6 Gwh.
v)	Generación Media Anual Secundaria: 152.8 Gwh.
w)	Generación Media Anual: 1,292.3 Gwh.
x)	Nivel de la Subestación: 965 m.s.n.m.
y)	2 Líneas de Salida de : 230/115 KV c/u.
z)	Longitud Hacia La Red Dañú, Hulchapan: 80 Km.

## GEOLOGIA DE OBRAS DE GENERACION

### Pozo de Oscilaciòn,Tùnel a Presiòn y Casa de Màquinas:

En la Formaciòn las Trancas .sobre uno de los flancos del plegamiento anticlinal "El Piñòn" quedaràn alojadas las obras para el Pozo de Oscilaciòn,Tuberia a Presiòn,Casa de Màquinas y Tùnel para descarga al Rio Moctezuma.Dicha unidad esta constituida por dos miembros principales :El superior formado por calizas margosas en estratos de 30 a 40 cm de espesor y por lutitas calcàreas que se encuentran en capas de 60 cm a 1.0 m de espesor.Y el Inferior,que lo componen areniscas de grano grueso a medio interestratificadas con calizas arcillosas y lutitas,cuyo espesores de capa varlan de 20 cm a 2m.Ambos miembros se encuentran afectados por una gran cantidad de diques silicificados de composiciòn àcida,que han dado lugar a una mineralizaciòn acentuada.

En esta zona se puede apreciar gran cantidad de pliegues anticlinales y sinclinales,asi como varios sistemas de fracturas ortogonales,siendo el màs persistente el de inclinaciòn subvertical,que da como consecuencia un aspecto columnar y la formaciòn de bloques de diversos tamaños.

El Pozo de Oscilaciòn y la Conducciòn a Presiòn quedaràn alojadas casi totalmente en la unidad superior de la Formaciòn las Trancas,en tanto que la parte inferior del Pozo de Oscilaciòn ,el extremo final del Tùnel a Presiòn y la Casa de Màquinas,quedaràn dentro de la unidad inferior.Por los resultados geofisicos,asi como por la caracterizaciòn del macizo rocosc puede decirse que èste es de calidad "buena" a "excelente" lo que hace suponer que existiràn pocos problemas de caldos.Deberà,sin embargo,considerarse la necesidad de ademar con marcos metàlicos aquellas zonas donde se determine durante la excavaciòn

que existe la posibilidad de ocurrencia de inestabilidades locales y prever el lanzamiento de concreto en los tramos donde la roca sea susceptible a intemperizarse. Así mismo, en el contacto de revestimiento con la roca se deberá efectuar un tratamiento de inyectado.

### Geología de Obra de Conducción:

A través de la trayectoria del túnel se cruzarán diferentes estructuras geológicas, como son: Portales, Diques, Contactos y zonas de baja capacidad mecánica. Cruzará la formación El Doctor la cual ha sido afectada por nueve fallas normales y una falla inversa. Así mismo, la excavación cruzará dos Diques de carácter riolítico. En base a los estudios realizados, puede mencionarse que entre los kilómetros 1+650 y 4+500 la competencia de la roca es "mala".

El túnel cruzará la Formación Soyatal que ha sido afectada por tres discontinuidades mayores. También el Túnel pasará por Diques Andesíticos y Traquiandesíticos y en algunos tramos es probable que la excavación se efectúe en las Formaciones Méndez y El Doctor.

Del kilómetro 15+650 hasta el 16+800, el túnel quedará alojado en la Formación El Doctor, la que fue intrusada por dos Diques Andesíticos en las estaciones 16+630 y 16+450.

En el cadenamiento 16+800 se estima que a la elevación de la conducción se encontrará el contacto entre las Formaciones El Doctor y Las Trancas, formada esta última por calizas y areniscas estratificadas. El Túnel quedará alojado en la Formación Las Trancas hasta su conexión con el Pozo de Oscilación, excepto entre las estaciones 17+550 - 18+250 donde se estima que cruce de nuevo por la Formación El Doctor. En los últimos 3500 metros no se levantó alguna discontinuidad mayor y de acuerdo con el estudio geofísico la competencia del macizo rocoso es "buena".

Teniendo como base lo anterior, puede mencionarse que el túnel se excavarà en general en un macizo rocoso de buena calidad, que garantizarà la estabilidad de excavaci3n. Sin embargo, deberà considerarse el empleo de marcos metàlicos en zonas de falla, en contactos entre diferentes unidades litol3gicas y donde estas unidades se encuentren afectadas por Diques Andesiticos.



## VII.1.2 INFRAESTRUCTURA

Las siguientes,son obras que también estan integradas en el Proyecto Hidroeléctrico Zimapán y principalmente estarán en las Zonas de Casa de Máquinas y Boquilla.

### Instalaciones de Obra:

Las Instalaciones principales se han ubicado en dos Zonas: Cerca de la zona de Casa de Máquinas y en las proximidades de la Boquilla.Sin embargo se dispondrá de instalaciones menores en cada uno de los frentes de trabajo.

En total se ha previsto:

2150 m2 de Talleres.

752 m2 de Almacenes Cubiertos.

450 m2 de Depósitos Cubiertos.

600 m2 de Oficinas Principales.

150 m2 de Oficinas de Frentes.

Además se dispondrá de las instalaciones para primeros auxilios en la obra,laboratorios de pruebas,casetas de vigilancia y depósitos para los explosivos.

Los talleres cuentan con los equipos necesarios para el mantenimiento mayor y menor de la maquinaria.Se almacenarán los repuestos y los materiales necesarios a fin de minimizar suspensiones de trabajos.

### Campamentos:

Se tendrán tres campamentos fijos y dos provisionales.

1.- Mesa de León: En este campamento se hospedará el personal directivo, de supervisión y obreros para los trabajos en la zona de la boquilla y ventana 1. ( Ver Figura No.17).

2.- Bothiña: Localizado en el cruce entre el camino a Zimapán y el acceso a ventana 3, este campamento hospedará al personal de supervisión y obreros para los trabajos de las ventanas 3 y 4. El personal directivo para esta zona estará hospedado en el campamento Mesa de León.

3.- La Luz: Localizado a la orilla de Río, hospedará al personal directivo, de supervisión y obreros para los trabajos en la zona de Casa de Máquinas, Pozo de Oscilación y ventana 6. ( Ver Figura No.18).

#### Servicios de Obra:

a). Energía Eléctrica: se utilizará la energía eléctrica suministrada por C.F.E. desde la línea ubicada en el Km 25+00 del camino Puerto Salitre-Boquilla, a la subestación en Mesa de León. Desde esta línea se distribuirá con redes de media tensión a los diferentes sitios de utilización en donde se instalarán subestaciones de transformación. De las subestaciones de transformación la energía se distribuirá con líneas de baja tensión (440 V) con excepción de las líneas de los frentes para alimentar las excavaciones subterráneas del Túnel de Conducción que serán de 6.6 KV y cuya transformación final a 440 KV, se efectuará en el interior del Túnel en proximidad del frente.

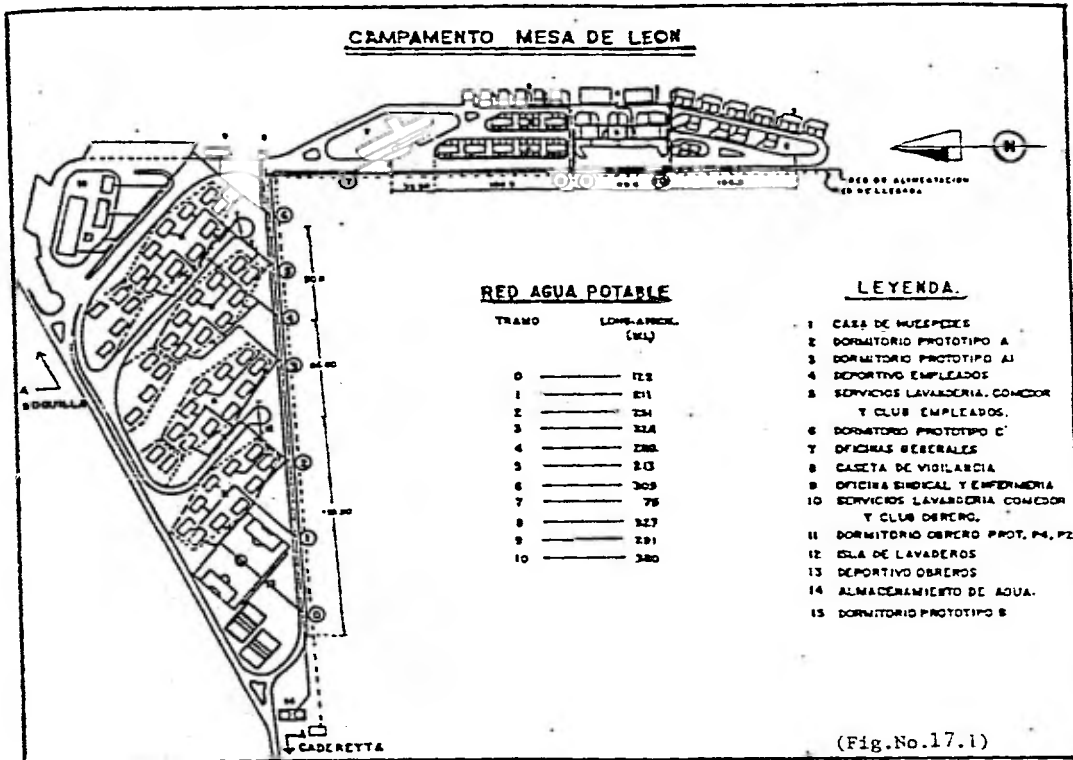
Se tiene previsto las siguientes subestaciones de transformación:

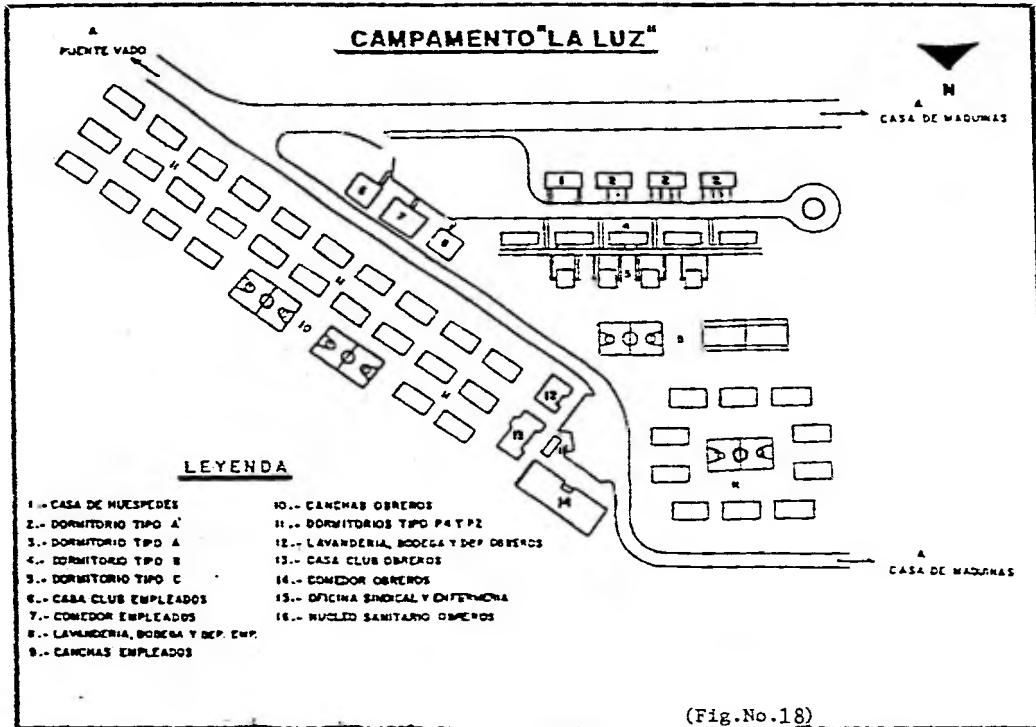
En Zona Casa de Máquinas:

En zona de Casa de Máquinas.	1 X 1500 KVA
Zona Pozo de oscilación.	1 X 300 KVA
Zona Ventana 6 (cota 1485)	1 X 800 KVA
Zona Ventana 6 (cota 1452)	1 X 1550 KVA



## CAMPAMENTO MESA DE LEON





Zona Instalaciones y Plantas	1 X 1500 KVA
Zona Campamento	1 X 500 KVA

En Zona de la Boquilla:

Zona Plantas y Campamentos	2 X 1250 KVA
Zona Cortina	1 X 1000 KVA
Zona Túnel de Conducción y Servicios	2 X 800 KVA
BOMBEO, Túneles de Acceso a la Cortina y Túnel de Desvío.	4 X 630 KVA
En Ventanas 1,3 y 4	3 X 630 KVA

Se han previsto además, plantas de diesel de emergencia por una potencia de 1500 KVA, para suplir en caso de necesidad las exigencias principales de la obra, tales como Desague, Ventilación e iluminación en Túneles y otros servicios de emergencia.

**b). Agua Industrial:**

Zona Casa de Máquinas.-El suministro de agua industrial estará asegurado por dos estaciones de bombeo de distinta capacidad, según las necesidades de los diferentes puntos de utilización. La toma del agua se efectuará en la confluencia de los Ríos Toliman y Moctezuma, con pozos profundos.

Estación de bombeo No.1 de 80 m<sup>3</sup>/h : Instalada en la zona de las instalaciones de obra, planta de producción de agregados y campamentos. El agua es conducida a un tanque y de este mediante caídas por tubos de dimensiones adecuadas, se llevará a los distintos sitios de utilización.

En el campamento la Luz se instalarà una planta de tratamiento de agua potable y de èsta una red de distribución que llevará el agua a las distintas instalaciones del campamento y oficinas.

Estaciòn de bombeo No.2 de 60 m<sup>3</sup>/h de capacidad: Instalada en las cercanías de Casa de Màquinas.

El agua es bombeada a un tanque colocado en las cercanías de ingreso de Túnel de Acceso a Casa de Màquinas.

Una serie de bombas,bombearà el agua a la cota 1587, depositandola en un tanque de suficiente capacidad,de èste mediante tuberías serà llevada a tanques secundarios localizados en la entrada de la ventana 6, en las cotas 1452 y 1485, desde èstos por calda o por absorciòn mediante bombas es enviada a los distintos sitios de utilizaciòn.

Cerca del tanque colocado en la entrada del Túnel de Acceso a Casa de Màquinas, se instalarà un autoclave para la distribución del agua en el interior de la Casa de Màquinas o en otros puntos donde se haga necesario.

Zona de la Boquilla.- El suministro de agua industrial estarà asegurada por una estaciòn de bombeo situada en el Río San Juan cerca de la confluencia de la entrada del Túnel de Desvío. La estaciòn estarà compuesta de 3 bombas de 200 KW cada una, con una capacidad de bombeo de 110 lts/seg. El agua serà bombeada a los diferentes puntos o tanques de utilizaciòn, mediante adecuadas tuberías de conducciòn.

El campamento Mesa de León se abastecerà del agua proveniente de la estaciòn de bombeo localizada en la margen izquierda del Río San Juan (cota 1412), mediante una línea de conducciòn por bombeo, y un tanque de rebombeo localizado en la cota 1640 que alimentará al tanque de almacenamiento y distribución localizado en la parte más alta del campamento. Por medio de una red de distribución por gravedad se alimentará a las oficinas y al campamento.

#### c). Aire Comprimido:

Las necesidades de aire comprimido serán garantizadas mediante plantas de suficiente capacidad, instaladas en distintos sitios de las obras.

Se instalarán centrales para la producción de aire comprimido con Electrocompresores o Motocompresores, según los casos y las necesidades. Las centrales dispondrán de tanques adecuados para atender las necesidades de los trabajos, de éstas el aire será llevado a los distintos sitios de utilización mediante tubos metálicos de dimensiones adecuadas.

Zona Casa de Máquinas: Instalación de tres Electrocompresores de 34 m<sup>3</sup>/minuto.

Zona Ventana 6 (cota 1452): Instalación de 2 Electrocompresores de 34 m<sup>3</sup>/minuto.

Zona Ventana 6 (cota 1485): Instalación de 1 Electrocompresor de 34 M<sup>3</sup>/minuto.

Zona Pozo de Oscilación (cota 1587): Instalación de 2 Motocompresores de 21 m<sup>3</sup>/minuto.

Ventanas 1, 3 y 4 : Instalación de 3 Motocompresores de 21 m<sup>3</sup>/minuto cada uno.

Además para las excavaciones exteriores y los Túneles de la zona de la Boquilla se han previsto Motocompresores de 21 m<sup>3</sup>/minuto, uno por cada frente de trabajo.

#### d). Sistema de Telecomunicaciones:

Se ha previsto un sistema de transferencia de línea telefónica desde la ciudad de Cadereyta a la zona de las obras, por medio de un sistema de puentes telefónicos capaces de transferir 6 canales, que también pueden ser empleados para la transmisión de Facsimiles y Telex.



El sistema VHF estará compuesto por dos repetidoras y varias estaciones fijas y portátiles, que deberán funcionar en la zona de la obra.

e). Plantas de Producción de Agregados y Concretos:

Las plantas principales se ubicarán en la zona de Casa de Máquinas y en la zona de la Boquilla.

Cada una de estas plantas recibirá y tratará el material proveniente del banco el Carrizal para la zona de Casa de Máquinas y de la cantera El Yedhai para la zona de la Boquilla.

Zona de Casa de Máquinas: El banco de grava y arena El Carrizal está situado aproximadamente a 6 Km de la Casa de Máquinas.

Planta de Trituración y Cribado : Se instalará una planta de 60 ton/hora de capacidad, para la clasificación de gravas y arenas según especificaciones técnicas.

La Planta estará formada por:

Tolva de alimentación.

Banda Transportadora de 800 m de ancho.

Criba Vibratoria de un piso.

Banda transportadora de 600 mm de ancho.

Granulador BS 120.

Banda Transportadora/Repetidora.

Bandas Transportadoras 650/30 m.

Criba Vibratoria de tres pisos.

Banda Transportadora 400/15, para cúmulos 5/12-12/19-19/38.

Planta de Selección y Lavado de arena 0/5.

Planta para la producción de concreto: Las plantas están diseñadas para una producción de 30 m<sup>3</sup>/hora de concreto cada una. Son automáticas, tienen sistemas de dosificación y mezcladora de eje horizontal montado sobre pórticos para cargar camiones con olla revoladora. El depósito de cemento está constituido por dos silos metálicos de 300 ton cada uno, para cada planta. Se prevé además, la instalación de una bodega para el depósito del cemento en bultos. Está prevista la instalación de una planta para el tratamiento de agua fría y la producción de hielo. La utilización de estas plantas está prevista para los vaciados durante los periodos en que la temperatura supere los 23° C al momento de la colocación.

El transporte del concreto en las carreteras se hará por medio de camiones con olla revoladora de 4 y 6 m<sup>3</sup> de capacidad. La selección de una u otra de las máquinas dependerá en cada caso del tiempo a disposición para descargar, de tal manera que el mismo no sea superior a 45 minutos.

Zona de la Boquilla: La planta procesadora de agregados constará de dos secciones bien definidas y separadas como Trituración Primaria, Trituración Secundaria, Trituración Terciaria, Crivado y Lavado.

La sección de Trituración Primaria y Secundaria estará instalada en proximidades de la pedrera Yedhai y será alimentada en roca proveniente de dicha cantera.

La planta estará compuesta por :

- 1 Tolva de alimentación.
- 1 Machacadora de Mandíbula de 1100 X 900 mm.
- 1 Trituradora de Cono.
- 1 Criba Vibratoria.
- 1 Conjunto de bandas transportadoras para el manejo y transporte del material producido.

Esta planta está dimensionada para una producción aproximada de 200 ton/hora de roca triturada de un tamaño máximo de 3" y potencia instalada de 250 KW.

La sección de trituración Terciaria, Cribado y Lavado estará instalada en la margen derecha en las proximidades del cruce entre el camino a la corona de la cortina y el camino a la ataguía.

Dicha planta, alimentada con la roca triturada producida por la planta primaria, estará conformada para producir las siguientes clases granulométricas:

Arena	No.200	-	3/16"
Grava	3/16"	-	3/4"
Grava	3/4"	-	1/2"
Grava	1/2"	-	3"

La planta estará constituida principalmente por las siguientes máquinas:

- 1 Tolva de alimentación
- 1 Criba Vibratoria.
- 1 Trituradora de Cono.
- 1 Molino de Barras para arena.
- 1 Conjunto de bandas transportadoras para el manejo y transporte de los agregados ya clasificados.

Todos los agregados clasificados serán almacenados en silos metálicos con capacidad de 800 m<sup>3</sup> cada uno. Esta planta estará en condiciones de suministrar una producción de 180 ton/hora de agregados seleccionados y lavados.

Planta de producción de concreto y enfriamiento: Esta planta estará instalada en las cercanías de la planta de procesamiento de los agregados y

serà de tipo horizontal automàtica.La dosificaciòn serà efectuada mediante equipo de pesaje separados,es decir ; 4 para los agregados, 1 para el cemento,1 para el agua y 1 para los demás componentes(aditivos).

El mezclado serà realizado por dos turbomezcladoras de doble eje horizontal,de 2.5 m3 de capacidad de concreto vibrado cada una.

Todas las operaciones seràn realizadas automàticamente por una cabina de controles,donde se instalarà un registrador de todos los datos requeridos por las especificaciones tècnicas.

La planta tendrà una capacidad teòrica de 120 m3/hora.Ademàs se prevé: Una planta para el almacenamiento del cemento constituida por 4 silos herméticos de 1000 toneladas cada uno.

Un sistema de cribado de todos los agregados gruesos previamente a la alimentaciòn de la planta de dosificaciòn.La criba estarà instalada directamente sobre los silos de la planta.

Una planta de enfriamiento de las gravas,constituida por una banda transportadora en la cual las gravas seràn sumergidas en agua fría y luego con una criba horizontal,para ser después enviadas a la planta de dosificaciòn.

Una planta para la producciòn de agua fría a ser utilizada para la mezcla,la producciòn de hielo y el enfriamiento de las gravas.La capacidad de esta planta es de aproximadamente 700,000 Kcal/hora.

Una planta para la producciòn de hielo en escamas,constituida por dos màquinas,un depòsito aislado y equipos de pesaje independiente.El hielo pesado serà enviado a las mezcladoras por medio de una banda transportadora.La planta estarà capacitada para una producciòn diaria de 40000 Kg.

## VII.2 ALCANCES DE LAS OBRAS DE GENERACION

Las obras civiles que la cubren son:

- Excavaciones a cielo abierto en tajos de entradas y salidas en obra de toma,desfogues y túnel de acceso,en plataformas de operación,de estructuras metálicas de apoyo de líneas de subestación a torres de transmisión,en plataformas de pozos de oscilación y de inyección de aire.
- Excavaciones en portales de entrada y salida de túneles.
- Excavaciones en túneles de conducción ,desfogues,de acceso,en galerías,en lumbreras de control,de obturación de desfogues y de salida de cables de subestación.
- Excavación en cavernas para: casa de máquinas,incluyendo bifurcación,galería para transformadores,subestación y galería de compuertas en desfogues.
- Excavaciones en trincheras,ductos y pequeñas lumbreras para distribución del aire,en ductos y cunetas para drenaje.
- Potección y tratamiento de taludes,incluyendo drenes y bermas.
- Suministro y colocación de soportes y ademes donde sea necesario así como anclas de fricción y/o tensión.
- Construcción de todas las estructuras de concreto en : revestimientos de túneles,limbreras y portales de entrada y salida,estructuras de obturación,pozo de oscilación,zapatatas,trabes,losas,columnas y bóvedas,ductos,trincheras, pisos,puentes,galerías,casetas de operación,empaques,superficies de rodamientos y concretos masivos,etc.
- Suministro y colocación de cimbras y acero de refuerzo para la totalidad de las obras.
- Suministro y colocación de componentes del concreto como son: cemento,grava,arena,agua,aditivos o cualquier otro elemento necesario para garantizar la protección del colado y las resistencias requeridas.

- Suministro y colocación de rejillas en obra de toma.
- Suministro y colocación de partes fijas de acero estructural necesarias para la colocación y operación de compuertas de servicio, emergencia y desfogue.
- Suministro y colocación de la camisa metálica que constituye la tubería a presión y bifurcación.
- Tratamiento anticorrosivo de dicha camisa metálica.
- Empaque de tubería a presión, incluyendo en bifurcación.
- Concreto lanzado con malla metálica donde sea necesario.
- Tratamiento de la roca a base de inyecciones de contacto y de consolidación, en conducción, limbreras de operación, pozo de oscilación y donde se requiera.
- Tratamiento a base de inyecciones en tubería a presión.
- Extracción y procesamiento de agregados naturales para ser empleados en las obras.
- Limpieza general durante y al término de las obras.
- Cualquier otro trabajo que a juicio de la Comisión fuera necesario ejecutar.

# CAPITULO VIII

## PRESUPUESTOS

## VIII. PRESUPUESTOS

La Comisión Federal de Electricidad, como ya se mencionó al inicio de la tesis, estudia, planea, diseña, construye y distribuye la energía eléctrica del país, por lo tanto para satisfacer la demanda tiene que echar mano de varias fuentes de energía, una de ellas es, El Proyecto Hidroeléctrico, Zimapán.

Para la realización de las Obras del Proyecto, la Comisión Federal de Electricidad convocó una Licitación y estuvo abierta a los países miembros del Banco Mundial.

Fuente de Financiamiento: La Comisión Federal de Electricidad ha obtenido del Banco Mundial por intermedio de NAFIN, un préstamo en varias monedas, equivalente a U.S. \$ 460 millones, para financiar la construcción de las Centrales Hidroeléctricas, Zimapán y Aguamilpa. Es intención de la Comisión Federal de Electricidad aplicar parte de dicho préstamo a los pagos correspondientes al contrato que se derive de la Licitación.

Para el Proyecto Hidroeléctrico, se aceptaron y se formaron dos Consorcios:

"ABB", integrado por las empresas Asea (Sueca) y Braum (Sueca)-Boveri (Suiza), que dan origen a la sigla. Y Vaerner Eureka (Noruega), Mecánica de la Peña (Española) y otras subsidiarias de ABB, Mexicanas y Españolas.

**ABB, tiene la responsabilidad de las OBRAS ELECTROMECANICAS.**

El otro Consorcio es "ZIMAPAN", integrado por Impregilo (Italiana), Cogefar (Italiana), Dumez (Francesa) y Condux (del Grupo Potexa, Mexicana).

**ZIMAPAN, tiene la responsabilidad de las OBRAS DE INGENIERIA CIVIL.**



## VIII.1 ANALISIS ECONOMICO DE LA OBRA CIVIL.

En la mayoría de los proyectos, una vez que se han completado los planos de diseño y que se ha preparado las especificaciones, se les da la oportunidad a los constructores profesionales, a los que comúnmente se les denomina contratistas, para que le propongan precios al dueño o dependencia del gobierno, indicando los precios por los cuales construirán el proyecto. Por lo general se da la obra al que estando capacitado, proponga el menor precio.

Con frecuencia se requiere que los contratistas depositen una fianza para cada obra. La fianza, que expide una afianzadora aprobada, protege al dueño garantizándole que la obra se terminará satisfactoriamente con el precio de contrato. En el caso de que el contratista original no pueda completar la obra, es entonces responsabilidad de la afianzadora completarla satisfactoriamente contratando a algún otro contratista o en alguna forma que sea aceptada por el dueño.

En el Proyecto Hidroeléctrico, Zimapán la fianza se constituye por el 10% del monto del contrato y será otorgada por un Banco o una Institución de Fianzas, debidamente autorizada y aceptable a la C.F.E.

Los contratistas tienden a especializarse en los tipos de trabajo que construyen. Mientras que no existan líneas uniformes que separan los campos de la construcción, puede dividirse en la construcción de carreteras, ductos de tubería, ferrocarriles, municipal, marina, montaje de estructuras, etc. Algunas de estas especialidades pueden dividirse en campos más pequeños. Las razones de esta especialización, se deben principalmente a una discreción en los negocios. El costo de un proyecto está influenciado por los requisitos del diseño y por las especificaciones. Antes de completar el diseño final, se deben considerar cuidadosamente los métodos y equipo que puedan emplearse para la construcción de la obra. Los requisitos que aumentan el costo de la obra, sin dar

beneficios proporcionales, se deben de eliminar. Las últimas decisiones que sean tomadas deben estar basadas en un conocimiento razonable de los métodos y costos de construcción. El costo de un proyecto puede dividirse en cinco o más puntos: materiales, equipo, mano de obra, costos fijos y supervisión y ganancia. Mientras que el último punto está más allá del control del ingeniero si tiene algún control sobre el costo de los primeros cuatro puntos.

Los ingenieros deben mantenerse informados sobre los desarrollos de los nuevos equipos de construcción, ya que esta información les permitirá modificar el diseño o los métodos de construcción para permitir la utilización económica del equipo. Un contratista que no se mantiene al día en sus conocimientos sobre equipos y métodos se encontrará pronto con que sus competidores le están sacando delantera en los contratos.

Las sugerencias para posibles reducciones en los costos de construcción incluyen, pero no están limitadas a lo siguiente:

a). Estudios preliminares del proyecto y del sitio para determinar el efecto de:

- Topografía
- Geología
- Clima
- Fuentes de Abastecimiento de Materiales
- Accesos a la obra
- Habitaciones si se requieren
- Almacenamiento para materiales y equipo
- Mano de obra disponible
- Servicios locales

b). El empleo de equipos de construcción sustitutos, que tengan mayores capacidades, más altas eficiencias, más altas velocidades, más maniobrabilidad y menores costos de operación.

c). El pago de bonificaciones al personal clave para una producción en exceso de una cantidad especificada.

d). El empleo de radios como medio de comunicación entre la oficina central y el personal clave en obras que abarcan grandes áreas.

e). La práctica de tener juntas periódicas con el personal clave para discutir los planos, procedimientos y resultados. Estas juntas deberán levantarle la moral al personal y deberá resultar en una mejor coordinación entre las diferentes operaciones.

f). La adopción de prácticas de seguridad realísticas en una obra como medio para reducir el número de accidentes.

g). Considerar si es factible la subcontratación de actividades especializadas con otros contratistas que puedan hacer el trabajo más económicamente que el contratista general.

h). Considerar si es factible mejorar el taller y los servicios para lograr una mejor manutención del equipo de construcción.

#### **VIII.1.2 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Este análisis debe hacerse previo al inicio de la obra. La forma de hacerlo, es elaborando el precio unitario de cada uno de los conceptos que intervienen en ésta. Dentro de estos precios, se encuentra el análisis de los materiales, de la mano de obra, maquinaria, equipo, herramienta y costos indirectos. Es posible que en el transcurso de la construcción, se presenten conceptos que no estaban considerados en el presupuesto final, para lo cual se debe convenir con la supervisión la manera de considerar estos costos. Generalmente se elaboran los precios unitarios de estos conceptos extraordinarios y se hace una ampliación de contrato en caso de que se supere el monto del contrato original, ya que así como se presentan nuevos

conceptos, existen cambios en los cuales se eliminan o se reducen otros, por lo cual puede haber una compensación .

Por el grado de complejidad que presenta el Proyecto Hidroeléctrico, Zimapán y por lo extenso de los conceptos extraordinarios, no contemplados en el catálogo de conceptos original, no se presentan en la tesis; Sólo se presentan, mas adelante y en forma general los correspondientes a la obra civil del proyecto.

### VIII.1.3 PRECIOS UNITARIOS

La elaboración de los precios unitarios, no es más que una etapa dentro del proceso constructivo general, que se inicia con la investigación o estudio de la factibilidad de realizar una obra, y que termina con la construcción de la misma. No es posible calcular precios unitarios sin el apoyo de las especificaciones, ya que son éstas precisamente las que definen la obra que se requiere y la manera en que debe ejecutarse, lo que indudablemente constituye la base para determinar los precios unitarios de los conceptos de esa obra. Previo a la elaboración de estos precios unitarios, es absolutamente indispensable conocer a fondo la naturaleza de los recursos, tanto humanos como de maquinaria y materiales, así como la disponibilidad de los mismos.

En general un precio unitario es la remuneración o pago en moneda, que el contratante cubre al contratista, por unidad de obra y por concepto de trabajo que ejecute, de acuerdo a las especificaciones.

**Unidad de Obra:** Es la unidad de medición señalada en las especificaciones, para cuantificar el concepto de trabajo con fines de medición y pago.

**Concepto de Trabajo:** Es el conjunto de operaciones manuales y mecánicas que el contratista realiza durante la ejecución de la obra, de acuerdo a planos y especificaciones, divididas convencionalmente para fines de medición y

pago,incluyendo el suministro de los materiales correspondientes cuando éstos sean necesarios.

**Especificaciones:** Son el conjunto de requerimientos exigidos en los proyectos y presupuestos para definir con precisión y claridad el alcance de los conceptos de trabajo. Las especificaciones de un concepto en particular, deben contener las siguientes definiciones: Descripción del Concepto, Materiales que intervienen y su calidad, Alcance de la ejecución del concepto, Mediciones para fines de pago, Cargos que incluyen los precios unitarios.

En términos generales, los elementos que componen un precio unitario son:

**COSTO UNITARIO:**

**-COSTOS DIRECTOS**

- \*MATERIALES
- \*OBRA DE MANO
- \*EQUIPO

**-COSTOS INDIRECTOS**

- \*ADMINISTRACION EN OBRA
- \*ADMINISTRACION CENTRAL
- \*FINANCIAMIENTO
- \*FIANZAS Y SEGUROS
- \*IMPREVISTOS

**COSTO UNITARIO + UTILIDAD = PRECIO UNITARIO**

Esto es, se puede clasificar dentro de los costos directos de un concepto de trabajo, todas aquellas erogaciones efectuadas exclusivamente para realizar dicho concepto de trabajo; y todos aquellos gastos generales, necesarios para la construcción del proyecto, que no han sido considerados dentro de los costos directos, clasificados, como costos indirectos. La suma de ambos será el costo unitario de dicho concepto. La utilidad será entonces, la ganancia que debe

considerar la empresa contratista, como resultado a sus esfuerzos técnicos, administrativos y económicos, para cumplir con la realización de un proyecto. La suma del costo unitario más la utilidad, podrá ser el precio unitario de un concepto de obra.

#### VIII.1.4 COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos aplicables a una obra o a los diversos conceptos de trabajo que forman parte de la misma, son todos aquellos gastos generales que por su naturaleza intrínseca, son de aplicación a todos y cada uno de los conceptos de trabajo que forman parte de una obra determinada, o de dos o más obras ejecutadas por una empresa constructora; es decir, los gastos generales que ejerce la empresa para hacer posible la prosecución de todas sus operaciones a su cargo. Los costos indirectos propios de cada obra en particular, son perfectamente previsibles y se pueden analizar y estimar previamente por lo menos dentro del mismo orden de aproximación de los costos directos. Se pueden, por otra parte, controlar durante la ejecución de la obra, para mantenerlos dentro de los límites prefijados.

De acuerdo al Proyecto Hidroeléctrico, Zimapán; La Comisión Federal de Electricidad consideró el 51.24% sobre el costo directo para obtener el costo indirecto. En consecuencia de lo anterior se clasificaron en los siguientes grupos:

- A). INDIRECTOS**
- B). UTILIDAD**
- C). CARGOS ADICIONALES**

### VIII.1.5 COSTOS Y ELABORACION DE PRECIOS UNITARIOS

Para obtener el costo total de la obra, es necesario calcular el costo de cada uno de los conceptos. Los elementos que se requieren para este cálculo son únicamente los precios unitarios autorizados por la dependencia y las cantidades de obra. Por tanto, faltaría estimar las cantidades de obra. Para ello, se hace una cuantificación de volúmenes de obra ejecutados, elaborando registros conocidos como números generadores. Los números generadores se obtienen considerando la localización del elemento a cuantificar, sus características geométricas o dimensiones y la unidad de medición, es decir, se calcula el volumen, peso, área o piezas según corresponda.

En relación a la elaboración de precios unitarios y dadas las características del Proyecto Hidroeléctrico en cuestión, el número de conceptos que intervienen en la integración del costo de la obra civil es muy grande, por lo que presentar los análisis de precios unitarios de todos ellos sería muy extenso. Por consiguiente y omitiendo cantidades, sólo se presentan a continuación los costos correspondientes a la obra civil del Proyecto, los cuales son el enfoque de la tesis. Y en base al catálogo de conceptos original del 30-01-90 del Consorcio Zimapan, integrado por CONDUX-IMPREGILO-DUMEZ-COGEFAR.

Así en forma general se integraron por **Partidas, Unidades e Importes:**

**1. TUNEL DE DESVIO**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u> <u>(En \$. pesos al 30-01-90)</u>
1.1 EXCAVACIONES	M3	7,612,349,830.00
1.2 ACARREOS.INCLUYE SOBRECARREROS	M3	1,270,600,160.00
1.3 CONCRETOS	M3	2,178,261,065.00
1.4 ACERO DE REFUERZO Y ESTRUCTURAL	TON.	725,522,563.00
1.5 BOMBEO	H.E.	414,750,000.00
1.6 BARRENACION.INCLUYE ANCLAJES	M	101,982,838.00
1.7 PROTECCIONES	M2	18,839,275.00
	<b><u>TOTAL \$</u></b>	<b><u>12,322,305,731.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	12,322,305,731.00)

**2. CORTINA**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
2.1 CONTROL DE AGUA Y BOMBEO.	H.M.E.	443,939,955.00
2.2 EXCAVACIONES	M3	3,345,268,231.00
2.3 ACARREOS INCLUYE SOBRECARREROS	M3	817,177,600.00
2.4 CONCRETOS.INCLUYE SERPENTINES	M3	60,685,184,450.00
2.5 ACERO DE REFUERZO Y OTROS ELEMENTOS	TON.	7,430,237,900.00
2.6 BARRENACIONES Y PERFORACIONES INC. ANCLAJES	M	27,730,239,394.00
2.7 PROTECCIONES	M2	308,545,500.00
	<b><u>TOTAL \$</u></b>	<b><u>100,760,593,030.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	113,082,886,761.00)



**3. OBRA DE TOMA**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
3.1 EXCAVACIONES	M3	83,035,049,470.00
3.2 ACARREOS.INCLUYE SOBREACARREOS	M3	1,073,025,840.00
3.3 CONCRETOS	M3	50,791,651,777.00
3.4 ACERO DE REFUERZO Y OTROS ELEMENTOS	TON.	7,384,228,971.00
3.5PERFORACIONES,BARRENACIONES Y ANC.	M	7,040,767,177.00
3.6 BOMBEO	H.E.	212,292,000.00
3.7 PROTECCIONES	M2	4,472,402,025.00
3.8 TUNELES Y CAMINOS DE AUXILIARES	LOTE	13,740,690,990.00
	<b><u>TOTAL \$</u></b>	<b><u>167,750,098,250.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	280,832,997,011.00)

**4. POZO DE OSCILACION**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
4.1 EXCAVACIONES	M3	3,036,043,740.00
4.2 ACARREOS. INCLUYE SOBREACARREOS	M3	267,272,240.00
4.3 CONCRETOS	M3	4,161,227,497.00
4.4 ACERO DE REFUERZO	TON.	1,995,591,300.00
4.5 BARRENACIONES. INCLUYE ANCLAJES	M	210,492,840.00
4.6 PROTECCIONES	M2	13,239,870.00
	<b><u>IMPORTE \$</u></b>	<b><u>9,683,867,487.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	290,510,864,489.00)

**5. TUBERIA A PRESION**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
5.1EXCAVACIONES	M3	5,264,850,150.00
5.2 ACARREOS. INCLUYE SOBREACARREOS	M3	65,240,422.00
5.3 CONCRETO	M3	4,683,428,864.00
5.4 ACERO DE REFUERZO Y OTROS ELEMENTOS	TON.	30,368,980,100.00
5.5 BARRENACIONES.INC. ANCLAJES	M	666,324,800.00
5.6 PROTECCIONES	M2	1,471,224,974.00
	<b><u>IMPORTE \$</u></b>	<b><u>42,520,029,310.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	333,034,893,808.00)

**6. CASA DE MAQUINAS-TUNEL DE CABLES-  
GALERIA DE TRANSFORMADORES-PLATAFORMA  
DE CALBLES Y SUBESTACION.**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
6.1 EXCAVACIONES	M3	13,854,392,626.00
6.2 ACARREOS.INCLUYE SOBRECARRIOS	M3	1,594,843,100.00
6.3 CONCRETOS	M3	8,466,292,262.00
6.4 ACERO DE REFUERZO	TON.	2,168,328,012.00
6.5 BARRENACIONES.INC. ANCLAJES	M	2,096,596,467.00
6.6 PROTECCIONES	M2	168,632,240.00
	<b><u>TOTAL \$</u></b>	<b><u>28,349,084,707.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	361,388,978,616.00)

**7. OBRA DE EXCEDENCIAS**

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE * *</u>
7.1 EXCAVACIONES	M3	7,310,951,390.00
7.2 ACARREOS.INCLUYE SOBRECARRIOS	M3	1,026,943,500.00
7.3 CONCRETOS	M3	11,486,671,846.00
7.4 ACERO DE REFUERZO Y OTROS ELEMENTOS	TON	3,785,557,454.00
7.5 BOMBEO	H.E.	464,190,000.00
7.6 BARRENACION.INCLUYE ANCLAJES	M	192,420,374.00
7.7 PROTECCION	M2	25,067,770.00
	<b><u>TOTAL \$</u></b>	<b><u>24,291,802,334.00</u></b>
	(IMPORTE ACUM. \$	386,677,780,849.00)

8. INFRAESTRUCTURA:CAMINOS DE ACCESO A CASA DE MAQUINAS,POZO DE OSCILACION,PUERTO SALITRE-BOQUILLA Y ESTRUCTURA DE CONTROL CONDUCCION,PEÑA BLANCA,ARROYO BLANCO,TUNEL DE ACCESO A LA CORONA DE LA CORTINA,PUENTE "RIO MOCTEZUMA",PUENTE ARROYO "LOS MARTINEZ".

<u>PARTIDA</u>	<u>UNIDAD</u>	<u>IMPORTE **</u>
8.1 DESMONTE	HA.	79,578,939.00
8.2TERRACERIAS.INCLUYE:DESPALMES,EXCAVACIONES,TERRAPLENES,RELLENOS,MAMPOSTERIA,ZAMPEADOS,ACARREOS Y SOBRECARREOS.	M3	81,658,997,987.00
8.3 CONCRETOS	M3	3,828,059,517.00
8.4 ACERO DE REFUERZO	Kg.	1,401,249,091.00
8.5 BARRENACIONES.INCL.ANCLAJE	M	95,594,700.00
8.6 TRABAJOS DIVERSOS DE TUBERIAS DE CONCRETO Y LAVADEROS METALICOS	M	2,785,425,028.00
8.7 PAVIMENTACION.INCLUYE: BASES Y SUB-BASES.	M3	21,863,557,487.00
8.8 ASFALTOS	Lt	1,453,564,414.00
8.9 PROTECCIONES	M2	69,205,500.00
	<u>IMPORTE \$</u>	<u>113,235,232,663.00</u>
	(IMPORTE ACUMULADO GRAN TOTAL \$	498,913,013,512.00)

El importe Total de \$ 498,913,013,512.00 esta indicado en "viejos pesos" al 30-01-90.El cual es el Costo Total de las Principales Obras Civiles del Proyecto,según Catálogo de Conceptos Original.

En el siguiente cuadro se presenta el estudio de Integración en Porcentajes de La Obra Civil del Proyecto Hidroeléctrico,Zimapán.

**INTEGRACION PORCENTUAL DE LA OBRA CIVIL. PROYECTO  
HIDROELECTRICO,ZIMAPAN.**

FRENTE	% DE PRESENCIA TOTAL DEL PROYECTO	<u>INTEGRACION POR FRENTE</u>			TOTAL
		EXCAVACION	CONCRETO	OTROS	
A) TUNEL DE DESVIO	1.6	60	16	24	100 %
B) ATAGUIAS	1.0	5	0	95	100 %
C) CORTINA	18.8	6	56	38	100 %
D) OBRA DE TOMA	1.0	24	38	38	100 %
E) TUNEL DE CONDUCCION	40.0	50	40	10	100 %
F) POZO DE OSCILACION	2.0	22	52	26	100 %
G) TUBERIA A	10.6	12	10	78	100 %
H) CASA DE MAQUINAS	5.0	44	35	21	100 %
I) OBRA DE EXCEDENCIAS	6.0	30	48	22	100 %
J) CAMINOS DEFINITIVOS Y PUENTES	14.0	25	5	70	100 %
<b>TOTAL 100 %</b>					

**PRESENCIA GENERAL DE INSUMOS**

**MANO DE OBRA**

**20 %**

(ACUMULADO 20 %)

**MATERIALES**

**45%**

(ACUMULADO 65 %)

**EQUIPOS**

**35 %**

(TOTAL ACUMULADO 100 %)

# CAPITULO IX

## CONCLUSIONES

## IX. CONCLUSIONES

En nuestro país, existen lugares donde la naturaleza ofrece retos visiblemente afrontables para algunos e inalcanzables para otros. Uno de éstos lugares es el sitio conocido como el cañón de EL INFIERNILLO, el cual como ya se mencionó, está situado en los límites de los estados de Hidalgo y Querétaro. En este lugar, donde muchos jamás hubieran siquiera imaginado la presencia humana, otros pudieron visualizar una extraordinaria fuente de vida, una fuente de energía.

La Comisión Federal de Electricidad, convierte esta visión, en una realidad para ser de este lugar una herramienta de progreso para México, a través de la Presa Hidroeléctrica denominada Zimapán. La cual tiene por finalidad principal la generación de energía eléctrica, aprovechando el potencial del Río Moctezuma. Teniendo la posibilidad de impactar el ámbito zonal es su desarrollo social, industrial y urbano. Es la primera Presa que funciona con aguas residuales para la generación de energía eléctrica. Ocupará el noveno lugar en potencia instalada y séptimo en generación media anual y en almacenamiento, como se indica comparativamente en el siguiente cuadro resumen, en relación a otros tipos de Presas.

NOMBRE DE LA PRESA	POTENCIA INS.MW.	GENERACION MED.ANUAL	ALMACENAMIENTO EN Mm3	ALTURA (M)
1° CHICOASEN	1500	* 5580	1705	* 261
2° MALPASO	1080	* 3200	12960	138
3° INFIERNILLO	1000	3160	12000	149
4° AGUAMILPA	960	2130	6950	187
5° ANGOSTURA	900	2250	18500	147
6° CARACOL	594	1480	* 1535	126

7° PEÑITAS	420	1910	1628	53
8° VILLITA	300	* 1430	710	60
9° ZIMAPAN	290	1292	1426	207
10° MAZATEPEC	208	790	62	92
11° TEMASCAL	154	830	13790	76

\* VALORES VERIFICADOS Y CORREGIDOS.

Por las características del Proyecto, pudiera decirse, es su alto grado de complejidad, principalmente en la Cortina, El Túnel de Conducción y la Casa de Máquinas, que al decir de sus proyectistas y técnicos, constituyen una cuestión de Ingeniería extensa, desafiante y atractiva.

La distinción principal en la Cortina es su altura de más de 200 metros, la cual será la segunda en altura en el país. Y además su tipo Arco-bóveda, formada por toneladas de concreto.

En el Túnel de Conducción, también su complejidad, por sus particulares diversas de construcción que fueron marcando las condiciones distintas de la roca. Además será el más largo ( 21,000 m) en el país en esquemas hidroeléctricos y el segundo en longitud tomando en cuenta el drenaje profundo de la Ciudad de México.

La Casa de Máquinas, por sus características y tamaño imponente, del tipo caverna. Y por la gran excavación en tierra y roca.

En relación a todas las obras del Proyecto, considero una característica muy distintiva, su dispersión Geográfica y su amplio Desarrollo e Infraestructura. También se debe considerar la magnitud del Proyecto en relación a los alcances de Impacto Ambiental de toda la Obra Constructiva y del Embalse, ya que los estudios específicos realizados fueron enfocados a mejorar la forma de vida de las poblaciones afectadas y aminorar en todos sus aspectos la afectación al Medio Ambiente y a la Ecología de la Zona. Todo lo anterior fue una gran labor por la realización de programas y estudios de desarrollo social, construcción y reubicación de poblados y programas ambientales.

Durante la realización de las Obras en un proyecto de esta magnitud, por lo general se presentan modificaciones, de acuerdo a revisiones Técnicas y de Ingeniería del mismo. Unos ejemplos de lo anterior fue un caso que se presentó en el Vertedor de Demasías, ya que originalmente se diseñó un solo Ducto que habría de realizar el desfogue de las aguas excedentes, modificándose a Dos Ductos. Otro tipo de modificaciones que se presentaron fue en los Caminos, cambiando algunos tramos del recorrido y no necesariamente por las condiciones del terreno, sino por condiciones de orden social, ya sea porque no se pudo resolver alguna cuestión de afectación con propietarios, con ejidatarios o para favorecer a algún pueblo de la zona. Así mismo, en el Túnel de Conducción, en relación a los revestimientos con concreto lanzado y concreto hidráulico, en un tramo, se llegó a la conclusión que por diversos factores que determinaban una mayor funcionalidad, todo el tramo debía estar revestido de concreto hidráulico.

Finalmente considero que el proyecto por sus grandes volúmenes de excavaciones, voladuras que han consumido toneladas de explosivos, movimientos de materiales en grandes volúmenes, por la gran cantidad de Obreros Mexicanos, Técnicos, Supervisores y Especialistas, Personal de Compañías Extranjeras, Equipos, Maniobras y sus Proporciones Extraordinarias; Hacen de dicho Proyecto una de las Obras más importantes de Ingeniería Hidroeléctrica en México y también de todo el Mundo.



## BIBLIOGRAFIA

1. **OBRAS HIDRAULICAS**  
*Francisco Torres Herrera. Ed. Limusa.*  
México, D.F. 1980.
2. **PRESAS PEQUEÑAS DE CONCRETO**  
*Dasel E. Hallmark. Ed. Limusa.*  
México. 1978.
3. **MANUAL DEL INGENERO CIVIL**  
*Frederick S. Merritt. Primera Edición en Español.*  
Mc.Graw-Hill. México. 1984.
4. **REVISTA: INGENIERIA CIVIL. DEL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES DE MEXICO, A.C.**  
México, D.F. 1992.
5. **REVISTA MEXICANA DE CONSTRUCCION**  
México, D.F. 1994.
6. **COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**  
-SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION.  
-COORDINACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS.  
-GERENCIA TECNICA DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS.  
-JEFATURA DE PRECIOS UNITARIOS Y ESTIMACIONES.
7. **MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES**  
*Hidrotecnia. A.2.10. C.F.E.*  
México, D.F. 1981.
8. **APUNTES DE FACTORES DE CONSISTENCIA DE COSTOS Y PRECIOS UNITARIOS**  
*Ernesto R. Mendoza Sánchez, Jorge H. de Alba Castañeda.*  
*División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica.*  
*Depto. Construcción. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.*  
México, D.F.
9. **HIDROLOGIA**  
*Rolando Springall G.*  
*Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.*  
México, D.F.