



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

“ PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL  
CAJÓN , SOBRE EL RÍO SANTIAGO,  
NAYARIT ”

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

PRESENTA

**EDUARDO HERNÁNDEZ VERDE**

DIRECTOR DE TESIS: M.I. REGINALDO HERNÁNDEZ ROMERO



MÉXICO, D.F.

2006



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

# *Dedicatorias*

*A mis padres: Guadalupe y Luis, en quienes he encontrado el apoyo y el estímulo para todo lo que he emprendido.*

*A mis hermanos, con cariño: Rosa María, Hector, Martha Patricia, José Luis, Miguel Angel y especialmente a Silvia por su constante apoyo y comprensión.*

*A mi hermana Maria Luisa de la que tengo un recuerdo entrañable.*

*A mi familia de Cuautlapan, Veracruz, a la que le tengo un profundo cariño y aprecio.*

*Al director del presente trabajo: M.I. Reginaldo José Hernández Romero, por su paciencia y sus valiosos comentarios en la realización de éste trabajo.*

*A todos los integrantes de la División de Ciencias Sociales y Humanidades, por el apoyo que desinteresadamente me han brindado para felizmente culminar el presente trabajo, en especial al jefe de la División, el M.I. Sergio Tirado Ledesma, a quien agradezco su confianza.*

*A la Ing. Carolina Garrido Morelos y al Lic. José René Gómez Rodríguez por brindarme su amistad, consejos y apoyo, además de hacerme sentir en familia. Muchas Gracias.*

*A la División de Ingeniería Civil y Geomática por su invaluable apoyo.*

*A Maria Silvia Téllez, por su amistad, y por los buenos y malos momentos compartidos en mi estancia en esa División.*

*A mis Sinodales: al M.I. Victor Franco, M.I. Gustavo Argil Carriles, M.I. Ricardo Rubén Padilla Velázquez, quienes con sus enseñanzas y ejemplo han sido parte importante en mi formación académica y profesional.*

*A todos aquellos que intervinieron directa e indirectamente en la elaboración del presente trabajo.*



## INDICE

INTRODUCCIÓN	1
I.- GENERALIDADES	3
I.1.- El Sistema Eléctrico Nacional	3
I.1.1.- Generación	3
I.1.2.- Sistemas de transmisión	10
I.1.3.- Distribución	11
I.1.4.- El Sistema en su conjunto	11
I.2.- Demanda y oferta de energía eléctrica	17
I.3.- Importancia económica y social del sector eléctrico	18
I.4.- Importancia de la hidroelectricidad en el sistema eléctrico nacional	19
I.5.- Capacidad comprometida o en construcción	21
I.6.- Capacidad adicional no comprometida	22
I.7.- Descripción General del proyecto	23
I.8.- Desarrollo Hidroeléctrico del río Santiago	23
I.9.- Características particulares del proyecto	25
I.9.1.- Localización	25
I.9.2.- Superficie total requerida	26
I.9.3.- Acceso provisional	28
I.9.4.- Acceso definitivo	28
I.10.- Descripción de obras y actividades principales	30
I.11.- Datos técnicos del proyecto	32
II.- TIPO DE CORTINA	33
II.1.- Descripción General	33
II.2.- Geología del eje de la estructura	35
II.3.- Preparativos	35
II.4.- Construcción del plinto	36
II.5.- Construcción de la cortina	43
II.6.- Instrumentación	56
II.7.- Control de Filtraciones	57



---

---

III.- OBRAS CIVILES	61
III.1.- OBRAS DE DESVIO	61
III.1.1.- Descripción General	61
III.1.2.- Túneles de Desvío	62
III.1.2.1.- Excavaciones y/o cortes	62
III.1.2.2.- Túnel 1	63
III.1.2.3.- Túnel 2	69
III.1.3.- Ataguías	73
III.1.3.1.- Pantallas impermeables en las ataguías	78
III.1.3.2.- Alineación de la pantalla	79
III.2.- OBRA DE TOMA	83
III.2.1.- Descripción General	83
III.2.2.- Excavaciones y/o cortes	84
III.2.3.- Estabilidad de taludes	87
III.2.4.- Tuberías a presión	93
III.2.4.1.- Montaje de tuberías	101
III.2.5.- Pozos de oscilación	103
III.2.6.- Túnel de desfogue	106
III.2.7.- Entronque en galería de oscilación y túnel de desfogue	112
III.2.8.- Lumbreras	113
III.2.9.- Subestación elevadora	114
III.3.- OBRA DE EXCEDENCIAS	117
III.3.1.- Descripción General	117
III.3.2.- Obras de Excedencias	118
III.3.3.- Canal de Llamada	122
III.3.4.- Estructura de Control	127
III.3.5.- Canal de Descarga	131
III.3.6.- Cubeta Deflectora	134



---

---

III.4.- OBRAS DE GENERACIÓN	137
III.4.1.- Descripción General	137
III.4.2.- Casa de Máquinas	139
III.4.2.1.- Excavaciones y/o cortes	139
III.4.2.2.- Estabilidad de Taludes	148
III.4.2.3.- Revestimiento con concreto hidráulico	151
III.4.3.- Montaje del equipo electromecánico	158
III.4.3.1.- Compuertas y grúas	160
III.4.3.2.- Armado del rotor	172
III.4.3.3.- Armado del estator	173
III.4.3.4.- Devanado del estator	175
III.4.3.5.- Montaje	177
IV.- IMPACTO AMBIENTAL	181
IV.1.- Descripción General	181
IV.2.- Metodología	181
IV.3.- Descripción e identificación de los impactos mas importantes	195
IV.3.1.- Aire	195
IV.3.2.- Tierra	196
IV.3.3.- Agua	199
IV.3.4.- Vegetación	201
IV.3.5.- Fauna	206
IV.4.- Estrategias para la prevención y mitigación de los impactos ambientales en el PH El Cajón	209
V.- CONCLUSIONES	221
ANEXOS	223
ANEXO A.- ESTUDIOS TÉCNICOS	224
ANEXO B.- BANCO DE MATERIALES	248
ANEXO C.- PLANOS DEL PROYECTO	262
BIBLIOGRAFÍA	269



## INTRODUCCIÓN

El río Santiago forma parte de una de las cuencas fluviales más importantes del país, conocida como Lerma-Chapala-Santiago, la cual recibe sus aguas de diversos afluentes que contribuyen a que tenga un escurrimiento promedio anual aproximado de 215 millones de metros cúbicos diarios, sin considerar las salidas de la laguna de Chapala. Las obras hidráulicas existentes en esta región son insuficientes para aprovechar en todo su potencial el importante caudal que desemboca en el Océano Pacífico.



**Fig.1.- Río Santiago, Nayarit**

Por medio de la infraestructura propuesta en este proyecto, será posible incrementar la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional por dos formas. En primer término, con la construcción de una nueva central hidroeléctrica con una capacidad de 750 MW y, en segundo término, con la contribución del embalse de la nueva presa a la regulación de los escurrimientos del río Santiago, que a su vez permitirá aumentar la capacidad de generación de la central hidroeléctrica Aguamilpa, que ya se encuentra establecida y operando en la región, a 60 kilómetros aguas abajo del sitio del proyecto.

El presente trabajo denominado “Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, sobre el río Santiago, Nayarit”, tiene como objetivo presentar el proceso constructivo de las diferentes obras civiles y de contención que conforman el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, así como destacar la importancia de ésta infraestructura en la generación de energía eléctrica a través de un mejor aprovechamiento del caudal del río Santiago, en la porción que recorre el área central del estado de Nayarit. Consta de cinco capítulos, los cuales se describen a continuación.

En el capítulo I presento las generalidades del proyecto hidroeléctrico en cuestión y con el propósito de tener una mejor perspectiva de la importancia de la infraestructura hidroeléctrica, se hace una descripción general del sistema eléctrico nacional, de las características de sus componentes y de la demanda de energía eléctrica, así como la importancia de este recurso en el desarrollo del país y en el bienestar de la población.



En el capítulo II se presenta el tipo de cortina a construir. Se hace mención de los diferentes tipos de cortina que existen y la descripción de las técnicas utilizadas para la construcción de ésta.

En el capítulo III hago una descripción de las obras civiles junto con los procedimientos constructivos que se están utilizando desde una temprana etapa como es la excavación hasta las últimas del proceso.

En el capítulo IV describo la metodología que se ocupó para evaluar los diferentes impactos ambientales que se producen como consecuencia de la construcción y operación del proyecto hidroeléctrico. Asimismo se hace la identificación de éstos impactos y se describen las medidas de mitigación que se están llevando a cabo.

Finalmente, en el capítulo V presento las conclusiones a las que se llegó durante la elaboración del presente trabajo.

Se incluyen además tres anexos donde se presentan los estudios técnicos con los que se apoyaron los responsables del proyecto hidroeléctrico para el diseño, construcción y operación. Los bancos de la zona que abastecieron de materiales para la construcción de la cortina y de las obras civiles, así como las generalidades de su explotación y maniobras para la disposición final. En el último anexo se muestran los planos del proyecto.





## I.- GENERALIDADES

### I.1.- El Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

En términos generales, la industria eléctrica se compone de tres áreas operativas, que comprenden la producción del fluido eléctrico (Centrales de Generación), los medios para transportarlo hasta los centros de consumo (Sistemas de Transmisión, Transformación, Control y Despacho ) y la entrega de la energía eléctrica a los consumidores (Sistemas de Distribución y Comercialización). Cada una de estas tres áreas constituye un ámbito de negocios que es posible y, de hecho, trabajan y son administrados de manera independiente entre sí por la Comisión Federal de Electricidad (CFE). El funcionamiento exitoso y eficiente de las tres áreas y la atención de la demanda de electricidad requieren de una coordinación precisa tanto en su operación, como en la programación y ejecución de las inversiones necesarias en cada área. Solo de esta manera es posible hacer llegar la cantidad de energía eléctrica que requieren las diferentes actividades económicas y la población en su vida cotidiana, en las diferentes regiones del país y en distintas épocas del año

#### I.1.1.- Generación

Antes de presentar una breve descripción de la infraestructura nacional de generación de energía eléctrica conviene considerar algunos conceptos básicos, que permitan describir de manera sencilla las características de estos recursos:

- Una central de generación se compone típicamente de una fuente de aprovisionamiento de energía, turbinas y generadores.
- Para medir la eficiencia en la operación de las plantas se utilizan indicadores de disponibilidad, intensidad del uso de los activos y la eficiencia térmica. Es importante señalar que, dependiendo del tipo de central de generación, hay casos en los que los tres indicadores no se aplican a una misma instalación.

Porcentaje de la disponibilidad. Este indicador mide la intensidad de posible utilización de los activos, con base en el tiempo durante el cual una central se encuentra en operación (generalmente en un año), frente al periodo de indisponibilidad en el mismo lapso.

**Disponibilidad = 100 % - proporción de tiempo indisponible**

Debido a que la no disponibilidad de una central puede deberse, entre otros factores, a trabajos de mantenimiento, reparaciones, fallas técnicas o un deficiente aprovisionamiento de energía, este indicador alerta sobre la obsolescencia de una central o la existencia de ineficiencias en la operación y administración y permite prever la posible utilización de los activos. En general, se considera como desempeño razonable un mínimo de 80% de disponibilidad.



La intensidad del uso o factor planta. Se calcula considerando la relación entre generación efectiva de una central y su capacidad máxima teórica de generación. Este indicador mide la intensidad de uso de los activos.

$$\text{Factor de planta} = \frac{\text{Generación observada (kWh)}}{\text{Máxima generación teórica (kWh)}}$$

El factor planta depende de la capacidad de cada central, por lo que lógicamente varía según el caso. Se considera que factores de planta mayores al 40% corresponden a centrales destinadas a atender la demanda base, mientras que las que tienen un factor menor se utilizan en los picos de demanda.

La eficiencia térmica (para centrales termoeléctricas). Relación entre la energía generada y el contenido calorífico del combustible utilizado. Este indicador mide la eficiencia del uso del combustible. Se considera como desempeño razonable en un rango de 30 a 55%.

Las instalaciones de generación en México comprenden diferentes tipos de plantas generadoras, cuya distribución geográfica y características responden, entre otros factores, a la disponibilidad y costo de las fuentes de energía, al estado de la tecnología, la ubicación de los centros de consumo y las políticas gubernamentales. Los principales tipos de centrales de generación que actualmente integran la capacidad de generación del sector eléctrico mexicano se describen brevemente a continuación:

**Centrales Hidroeléctricas.** En estas centrales se aprovecha la energía potencial del agua dejándola caer sobre los alabes de una turbina hidráulica. Debido a que la potencia depende del caudal y de la altura de la caída del agua, resultan aprovechables tanto un caudal menor con una gran altura, como un gran caudal con poca altura, como se muestra en la figura I.1. Para cada caso y cada sitio existe un tipo apropiado de turbina.

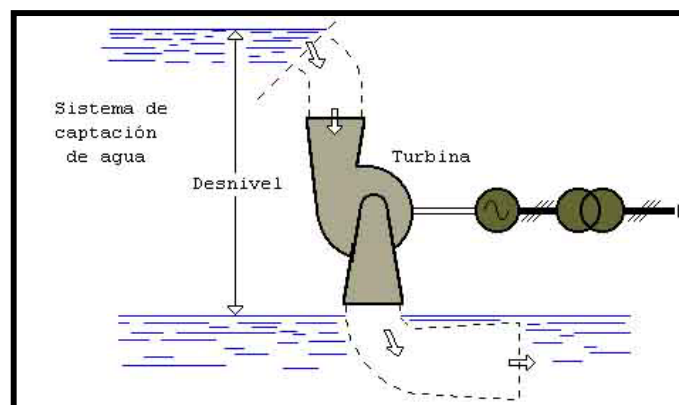


Fig. I.1.-Esquema del funcionamiento de una turbina



Según se disponga de agua, la central puede ser afluente o de almacenamiento. En el primer caso no se dispone de ninguna reserva, y el embalse sólo tiene por objeto aumentar en lo posible la altura de la caída. Por tanto, una central en estas condiciones puede ser inutilizable durante el estiaje, y en la época de las avenidas, enfrentar la desventaja de desaprovechar el agua que no pueda pasar por las turbinas.

Por el contrario, las centrales de almacenamiento disponen de una presa que permite compensar las fluctuaciones del caudal de los ríos. Con la acumulación del agua captada durante la época de lluvias o deshielos, una central puede operar en épocas de estiaje y, con las reservas, generar energía cuando el consumo de electricidad alcanza valores críticos, figura I.2.

También existen centrales hidroeléctricas utilizadas para hacer frente a los picos en el consumo. En estos casos el agua que se embalsa durante la noche (horas de menor consumo de electricidad) se utiliza para sacar la máxima potencia de las turbinas durante las dos o tres horas en que el consumo alcanza su máximo.

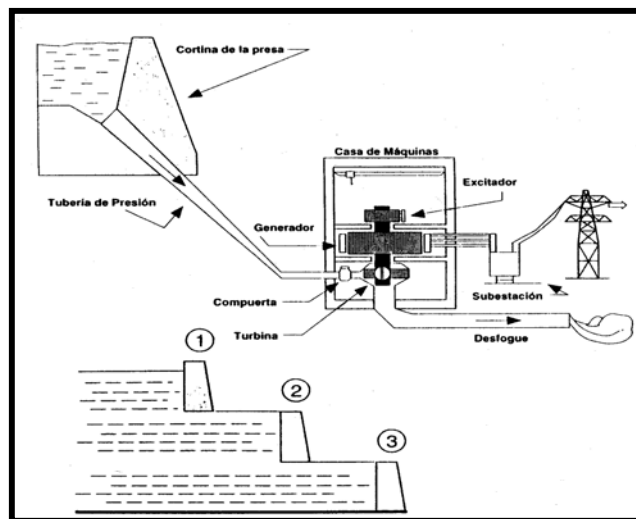


Fig.I.2.- Esquema de una Planta Hidroeléctrica

La lógica del despacho de energía generada a través de este tipo de centrales es la de sustituir la generación con combustibles más caros, intentando al mismo tiempo maximizar su utilización. En México, donde el agua es escasa, una parte importante de la capacidad hidroeléctrica se utiliza para proporcionar energía en en los picos de demanda y con ello evitar la utilización de las centrales más ineficientes (por ejemplo, las de turbogas).

La capacidad de las centrales hidroeléctricas en México oscila entre 37 y 1,500 MW y su vida útil se ha considerado de 50 años. El factor de planta calculado al año 2001 varía entre 3.4 y 59.4% que resulta en un promedio nacional de 32%. Sin embargo, es necesario aclarar que alrededor del 38% de las centrales registran factores de planta mayores al 40% (entre 41 y 59%) y que el 23% tiene factores menores al 15% (entre 3.4 y 13%). Los factores de planta del resto de las centrales hidroeléctricas oscila entre 20.9 y 36.9%.



La capacidad de generación de las centrales hidroeléctricas llegó a 9,619 MW para el año 2001, lo que equivale al 25% de la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional y representa el 67% de la capacidad proveniente de fuentes alternas a los hidrocarburos (energía eólica, hidráulica, geotermia, carbón y nuclear)

**Centrales Termoeléctricas.** Producen electricidad a partir de energía calorífica obtenida de la combustión de carbón, gas, aceites pesados u otros combustibles, la cual se aplica de diferentes maneras a una turbina, lo que permite generar energía mecánica. Este movimiento permite a su vez arrastrar el generador para producir la electricidad. Existen diferentes tecnologías en plantas termoeléctricas, las cuales se indican brevemente a continuación:

a) Termoeléctrica convencional (turbina de vapor). El calor desprendido se utiliza en una caldera para producir vapor de agua que se aplica a la turbina. Generalmente utilizan dos tipos de combustibles: gas y combustóleo o bien carbón y combustóleo. Por su nivel de eficiencia normalmente se utilizan para abastecer demanda base.

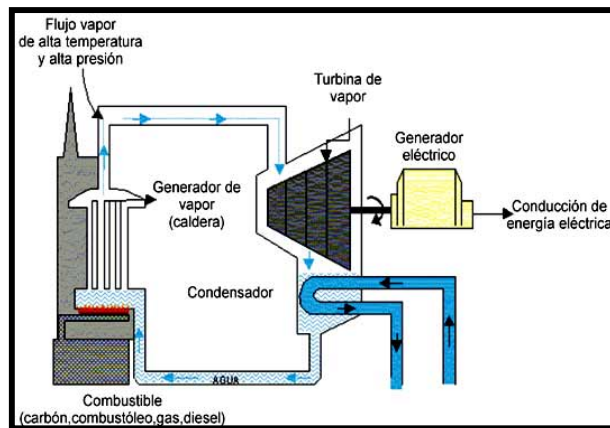


Fig.I.3.-Esquema de una central termoeléctrica tipo vapor

b) Turbogas (turbina de combustión de gas). Por su bajo nivel de eficiencia esta tecnología sólo se utiliza para atender los picos de demanda.

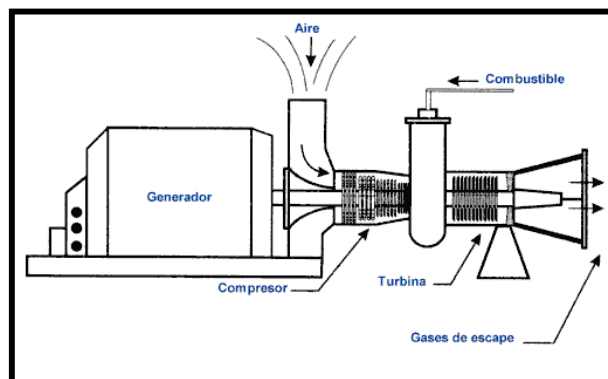
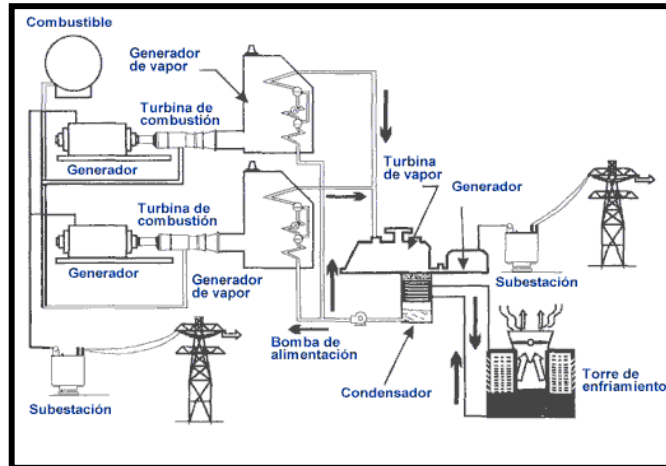


Fig.I.4.-Esquema de una central de turbogas



c) Ciclo combinado. Utilizan dos tipos de unidades: térmica convencional y turbogas. Los gases que alimentan la unidad de turbogas también se utilizan en un generador de vapor donde se precalienta la unidad térmica convencional. Debido a que existe un proceso adicional de recuperación de energía, esta tecnología tiene la mayor eficiencia térmica.



**Fig.I.5.-Esquema de una central de ciclo combinado**

d) Combustión interna. Su funcionamiento es similar al de los motores de vehículos movidos por diesel. Así, el motor hace rotar una flecha que se conecta a un generador, convirtiendo la energía mecánica en eléctrica. Se trata de plantas pequeñas de baja eficiencia, por lo que se utilizan para suministrar energía en los picos de demanda, y son plantas móviles.

A continuación se presentan en la tabla I.1 las características típicas de las centrales termoeléctricas, según el tipo de tecnología utilizada:

**Tabla I.1.- Características típicas de Centrales termoeléctricas**

Tecnología	Fuente de energía	Capacidad*	Vida Util
Térmica convencional	Combustóleo	37.5 MW, 84 MW, 160 MW y 350 MW	30 años
	Carbón (carboeléctrica)		
	Gas		
Turbogas	Gas / Diesel	44, 45, 50, 100 y 180 MW	20-25 años
Ciclo combinado	Gas / Diesel y Combustóleo	225 MW	25 años
Combustión interna	Diesel	32.5 MW	30 años

\*Por unidad típica de generación, una planta comúnmente tiene 2 o más unidades generadoras.

FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía



Las centrales de ciclo combinado arrojan los mejores indicadores de desempeño. En promedio registran una intensidad de uso de 72% y eficiencia térmica entre 45 y 56%. Estos resultados se deben en parte a que se trata de infraestructura nueva que han iniciado recientemente sus operaciones (desde el año 2001). La mayor parte de las plantas de ciclo combinado se han establecido en regiones que se encuentran a nivel del mar y cercanas a las fuentes de abasto de gas natural, en:

- i) Los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Chihuahua, Coahuila dentro de la franja de la frontera con los Estados Unidos de América, para un fácil acceso al combustible importado;
- ii) En la zona productora de Burgos (en Nuevo León y Tamaulipas) y,
- iii) En la zona productora del norte de Veracruz (Tampico, Tamps. y Macuspana, Veracruz). Este tipo de centrales sumó 5,188.3 MW de capacidad en el año 2001, lo que representa el 13.5% de capacidad nacional de generación.

La mayor parte de estas instalaciones son propiedad de empresas privadas, conocidas como productores externos de energía (PEE), que venden la electricidad a la CFE. Los PEE son inversionistas extranjeros (provenientes de España, Francia, EUA y Japón, principalmente), que para el año 2003 alcanzaron la propiedad del 24% de la capacidad de generación del sistema eléctrico nacional (incluidas diversas plantas en proceso de construcción). Esta proporción llegará a aproximadamente 35% para el año 2011, considerando los planes y políticas gubernamentales de crecimiento del sector eléctrico.

En términos de eficiencia, después de las centrales de ciclo combinado se encuentran las plantas que operan con tecnología térmica convencional (turbina de vapor). La eficiencia térmica promedio es de 30 a 37% y la intensidad de uso de 52%. Las centrales con tecnología térmica convencional representaron el 37.1% de la capacidad de generación del país en el año 2001.

Las plantas menos eficientes del sistema eléctrico nacional son las que funcionan con tecnologías de combustión interna y turbogas. Las primeras registran una eficiencia térmica promedio de 25 a 50% y las de turbogas entre 23 y 30%. Los respectivos factores de planta son bajos. Su participación en la capacidad nacional es 6.6%.

**Nucleoeléctricas.** Central térmica en la que el calor para vaporizar el agua proviene de la desintegración de los átomos de uranio de un reactor nuclear. Este tipo de plantas cuenta esencialmente de:

- i) Reactor nuclear, ii) un circuito primario donde corre un fluido que se calienta en el núcleo del reactor, iii) un cambiador de calor, donde el fluido cede su calor a otro fluido que recorre un circuito secundario y lo vaporiza y, iv) un turboalternador movido por el vapor, que genera la corriente eléctrica.

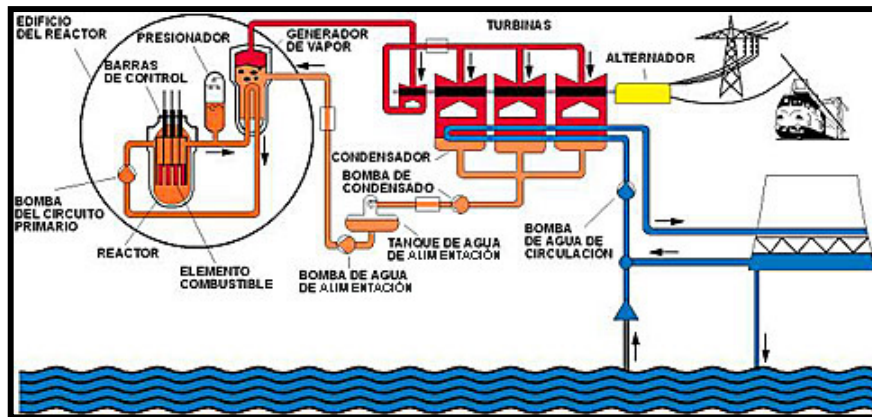


Fig.I.6.- Esquema de una Planta Nucleoeléctrica

En México, la única planta nucleoelectrica se encuentra en Laguna Verde, en el estado de Veracruz. Su fuente de energía es Uranio 235, tiene una capacidad de 1,365 MW y una vida útil de 30 años. La eficiencia térmica de Laguna Verde se encuentra entre 30 y 37% y la intensidad de uso de sus instalaciones es 92%. Para el año 2001, esta central representó el 3.5% de la capacidad nacional.

**Geotermoelectricas.** En estas centrales el movimiento es producido por vapores subterráneos en regiones volcánicas. Este tipo de instalaciones se encuentran en Santa Rosalía, Baja California; Ciudad Hidalgo, Michoacán y Chignautla, Puebla. Las instalaciones tienen una capacidad de 25 MW promedio por planta, con vida útil de 25 años y factor planta de 90%. Las centrales geotermicas significaron el 2.2% de la capacidad nacional.

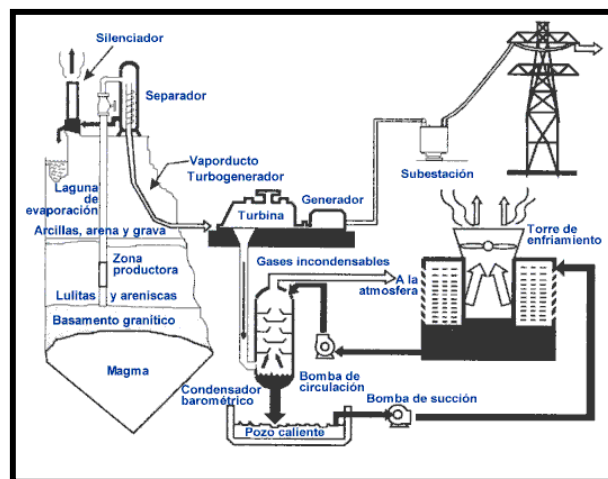


Fig.I.7.-Esquema de una central Geotermica

**Eoloeléctricas.** Se fundan en el mismo principio que los molinos de viento. Consisten de un aerogenerador, donde la energía producida es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Por consiguiente, este tipo de plantas sólo son viables en lugares donde el viento es



suficientemente fuerte (más de 20 km/h) y sopla con regularidad. En México se encuentran en Baja California Sur y Oaxaca. Su capacidad es de 1 MW, vida útil mayor a 20 años y factor planta de 52%. La participación de las eolieléctricas en la capacidad de generación nacional fue de 0.01% en el año 2001.

Sus componentes son:

- \* Turbina
- \* Cables conductores
- \* Carga de frenado
- \* Toma de tierra
- \* Caja de control batería
- \* Fuente auxiliar
- \* Acumuladores
- \* Líneas de transporte de energía eléctrica

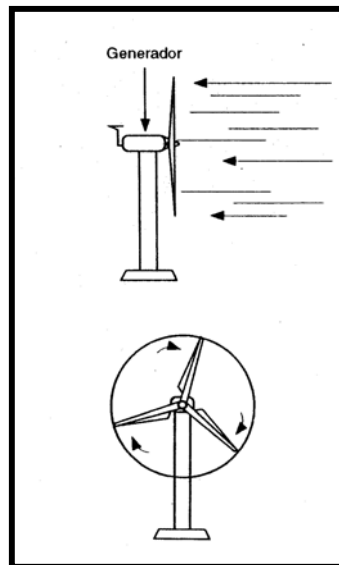


Fig.I.8.- Esquema de un Generador eólico

### I.1.2.- Sistemas de Transmisión

Una vez que se ha generado la electricidad, ésta se transforma a alta tensión para minimizar pérdidas a través de la red de transmisión, por donde recorre largas distancias, entre las centrales de generación y los centros de consumo. En México, el sistema de transmisión está integrado principalmente por líneas de 400, 230 y 115 kV, las cuales cubren alrededor de 2 millones de km<sup>2</sup>. El envío de la energía a través de la red de transmisión exige de una coordinación precisa en el despacho y control del flujo eléctrico aportado por cada central, para así minimizar el costo total de sistema.

El sistema de transmisión actualmente conecta de manera permanente las zonas Norte, Noreste, Centro-Occidente, Centro, Sur-Sureste y Peninsular (conocido como Sistema Interconectado). Solamente la península de Baja California se encuentra totalmente aislada





de la red. La conexión de la zona Noroeste con el resto del país no es permanente, ya que las líneas de transmisión de enlace no tienen la capacidad suficiente. En este caso la interconexión sólo se realiza en momentos críticos de demanda para lograr el balance oferta-demanda de electricidad. Se planea que para el año 2004 la zona Noroeste quede integrada al Sistema Interconectado.

El reparto de energía entre las regiones productoras y consumidoras se coordina a través de un centro de despacho y control (Centro Nacional de Control Eléctrico) cuyo objetivo principal es minimizar el costo total del sistema. El despacho de la energía consiste en determinar, jerárquicamente, el orden en que será utilizada la energía generada. Es decir, el empleo en primer lugar de la energía más barata, después la siguiente más costosa y así sucesivamente, hasta satisfacer las necesidades de los consumidores. Sin embargo, debido a que en algunas regiones del país la energía no puede ser sacada por falta de capacidad en las líneas de transmisión, se tiene que utilizar centrales de vapor muy pequeñas e incluso de turbogas.

### I.1.3.- Distribución

La energía eléctrica se pone a disposición de los consumidores a través de los sistemas de distribución. Estos sistemas utilizan transformadores que bajan la tensión y líneas que generalmente tienen voltajes inferiores a 69 kV, y recorren menores distancias para entregar la energía a los consumidores.

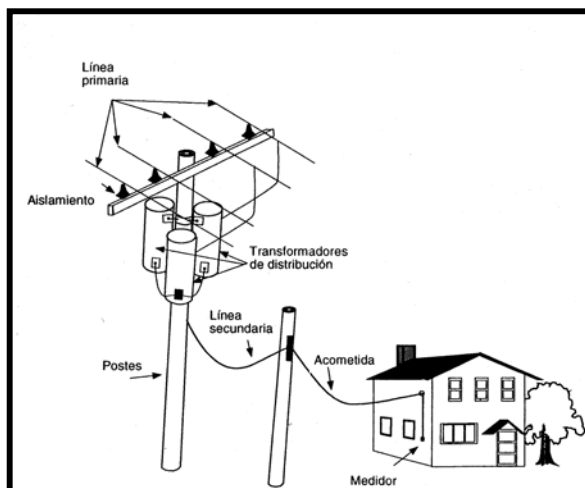


Fig.I.9.- Red de distribución

### I.1.4.- El Sistema en su Conjunto

La administración del sistema eléctrico nacional se divide en nueve regiones operativas y de planeación. Cada área está compuesta por subsistemas (de generación, transmisión y distribución) que con el tiempo han ido adquiriendo diferentes características de acuerdo con los recursos naturales y económicos disponibles. Como ya se había mencionado anteriormente, actualmente seis de las nueve áreas se encuentran interconectadas a través



de la red de transmisión: Norte, Noreste, Centro-Occidente, Centro, Sur-Sureste y Peninsular. Estas áreas comparten recursos de capacidad que incluyen centrales de generación hidroeléctricas, termoeléctricas, geotermoeléctricas, la nucleoeleéctrica y una eoleleéctrica.

En el siguiente mapa se presenta la localización de las principales centrales de generación que a la fecha se encuentran en operación en la República Mexicana, bajo la administración de la Comisión Federal de Electricidad (sin considerar las que se encuentran a cargo de Luz y Fuerza del Centro) según el área operativa del Sistema Eléctrico en que se encuentran.<sup>1</sup>

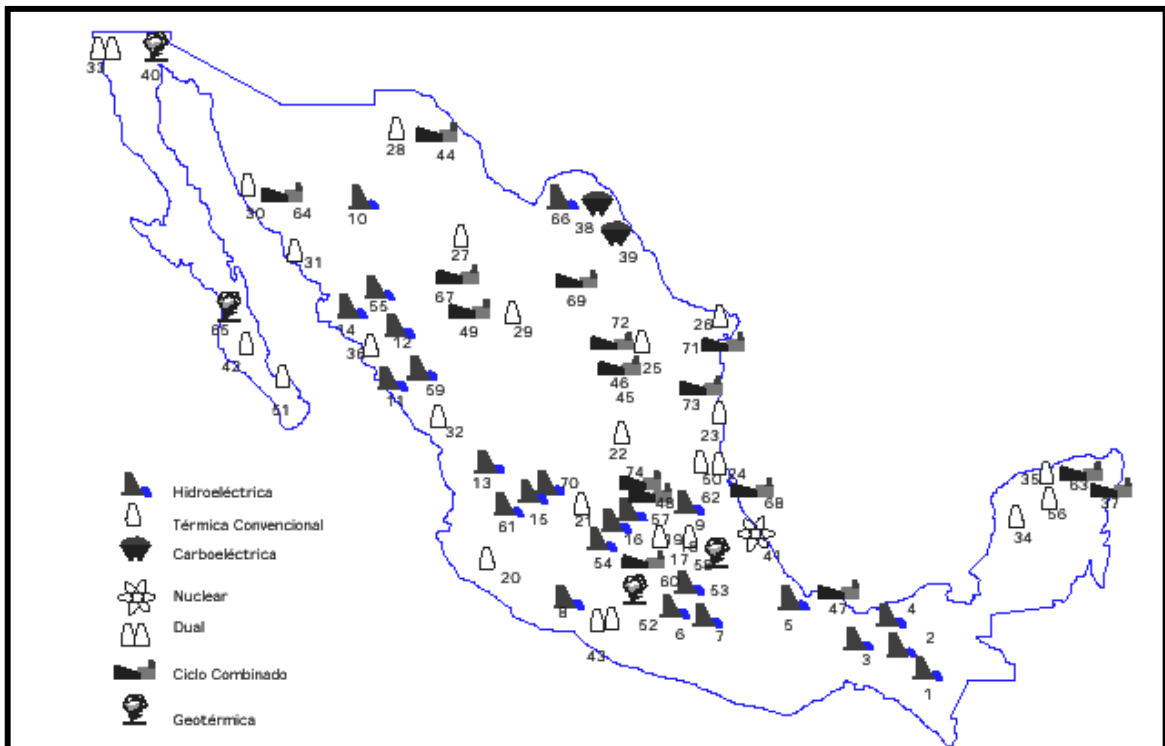


Fig. I.10.- Ubicación de las principales centrales de generación 2002

<sup>1</sup> Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía

**Tabla I.2.-Centrales de Generación de energía eléctrica 2002 Región Centro**

No.	Región/Central	Municipio	Estado	Tipo	No. de Unidades	Capacidad MW	Generación GWh	Factor de Planta %
9	Necaxa (LFC)	J. Galindo	Puebla	Hidroeléctrica	10	109	289	30.2
16	Fernando Hiriart B. (Zimapán)	Zimapán	Hidalgo	Hidroeléctrica	2	292	1,170	45.8
17	Fco. Pérez R. (Tula)	Tula	Hidalgo	Vapor/CC	11	1,989	12,995	74.6
18	Valle de México	Acolman	México	Vapor/TG	10	1,087	5,149	54.1
19	Jorge Luque (LFC)	Tultitlán	México	Vapor/TG	8	362	643	20.3
53	Mazatepec	Tlatiauquitepec	Puebla	Hidráulica	4	220	539	28.0
58	Humeros	Chignautla	Puebla	Geotérmica	5	25	146	66.7
62	Patla (LFC)	Zihuateutla	Puebla	Hidroeléctrica	3	37	69	21.2

FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía

**Tabla I.3.-Centrales de Generación de energía eléctrica 2002 Región Centro-Occidente**

No.	Región/Central	Municipio	Estado	Tipo	No. de Unidades	Capacidad MW	Generación GWh	Factor de Planta %
8	J. María Morelos (Villita)	L. Cárdenas	Michoacán	Hidroeléctrica	4	295	1,187	45.9
13	Aguamilpa	Tepic	Nayarit	Hidroeléctrica	3	960	1,486	17.7
15	Agua Prieta	Zapopan	Jalisco	Hidroeléctrica	2	240	218	10.4
20	Manzanillo II	Manzanillo	Colima	Vapor	2	700	5,035	82.1
20	M. Alvarez M. (Manzanillo)	Manzanillo	Colima	Vapor	4	1,200	6,449	61.4
21	Salamanca	Salamanca	Guanajuato	Vapor	4	866	4,841	63.8
22	Villa de Reyes	Villa de Reyes	S.L.P.	Vapor	2	700	2,926	47.7
48	El Sauz	P. Escobedo	Querétaro	Ciclo Combinado	6	469	2,866	69.8
52	Azufres	Cd. Hidalgo	Michoacán	Geotérmica	11	88	299	38.9
54	Cupatitzio	Uruapan	Michoacán	Hidroeléctrica	2	72	374	59.0
57	Cóbano	G. Zamora	Michoacán	Hidroeléctrica	2	52	210	46.2
60	Lerma (Tepuxtepec, LFC)	Contepec	Michoacán	Hidroeléctrica	3	60	185	35.1
61	M.M. Dieguez (Santa Rosa)	Amatitlán	Jalisco	Hidroeléctrica	2	61	207	38.5
71	Colimilla	Tonalá	Jalisco	Hidroeléctrica	4	51	29	6.6
75	El Sauz (Bajío PIE)	Sn. Luis de la Paz	Guanajuato	Ciclo Combinado	1	592	4,701	90.7

FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía


**Tabla I.4.-Centrales de Generación de energía eléctrica 2002 Región Sur-Sureste**

No.	Región/Central	Municipio	Estado	Tipo	No. de Unidades	Capacidad MW	Generación GWh	Factor de Planta %
1	B. Dominguez (Angostura)	Alcalá	Chiapas	Hidroeléctrica	5	900	1,659	21.0
2	M. Moreno T.	Chicoasén	Chiapas	Hidroeléctrica	5	1,500	4,339	33.0
3	Malpaso	Tecpatán	Chiapas	Hidroeléctrica	6	1,080	3,458	36.6
4	Peñitas	Ostuacán	Chiapas	Hidroeléctrica	4	420	1,749	47.5
5	Temascal	San Miguel	Oaxaca	Hidroeléctrica	6	354	1,520	49.0
6	C. Ramirez U. (Caracol)	Apaxtla	Guerrero	Hidroeléctrica	3	600	905	17.2
7	Infiernillo	La Unión	Guerrero	Hidroeléctrica	6	1,000	2,762	31.5
24	A. López M. (Tuxpan)	Tuxpan	Veracruz	Vapor	6	2,100	15,031	81.7
34	Lerma	Campeche	Campeche	Vapor	4	150	813	61.9
35	Mérida II	Mérida	Yucatán	Vapor	2	168	1,100	74.7
37	F. Carrillo Puerto	Valladolid	Yucatán	Vapor/ CC	5	295	1,933	74.8
41	Laguna Verde	Alto Lucero	Veracruz	Nuclear	2	1,365	9,747	81.5
43	Pdte. P. Elías C. (Petacalco)	La Unión	Guerrero	Dual	6	2,100	13,879	75.4
47	Dos Bocas	Medellín	Veracruz	Ciclo Combinado	6	452	2,429	61.3
50	Poza Rica	Tihuatlán	Veracruz	Vapor	3	117	654	63.8
56	Nachi-Cocom II	Mérida	Yucatán	Vapor/ TG	3	79	270	39.1
63	Mérida III (PIE)	Mérida	Yucatán	Ciclo Combinado	2	484	3,227	76.1
69	Tuxpan II (PIE)	Tuxpan	Veracruz	Ciclo Combinado	1	495	3,552	81.9
66	Otras	--	--	--	295	2,074	5,029	27.7

**FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía**

**Tabla I.5.-Centrales de Generación de energía eléctrica 2002 Región Noroeste**

No.	Región/Central	Municipio	Estado	Tipo	No. de Unidades	Capacidad MW	Generación GWh	Factor de Planta %
10	Pdte. Elías C. (El Novillo)	Soyopa	Sonora	Hidroeléctrica	3	135	223	18.8
11	Prof. R.J. Marsal (Comedero)	Cosalá	Sinaloa	Hidroeléctrica	2	100	127	14.5
12	Bacurato	Sinaloa de Leyva	Sinaloa	Hidroeléctrica	2	92	167	20.7
14	L.Donald Colosio (Huites)	Choix	Sinaloa	Hidroeléctrica	2	422	484	13.1
30	Puerto Libertad	Pitiquito	Sonora	Vapor	4	632	3,350	60.5
31	C. Rodríguez R. (Guaymas II)	Guaymas	Sonora	Vapor	4	484	2,259	53.3
32	J. Aceves P. (Mazatlán II)	Mazatlán	Sinaloa	Vapor	3	616	3,284	60.9
33	Pdte. Juárez (Rosarito)	Rosarito	Sinaloa	Vapor/TG/CC	11	1,326	2,137	18.4
36	J. Dios Bátiz (TopolobampoII)	Ahome	Sinaloa	Vapor	3	360	1,997	63.3
40	Cerro Prieto	Mexicali	B.C.N.	Geotérmica	13	720	4,930	78.2
42	Agustín Olachea	San Carlos	B.C.S.	C. Interna	3	104	471	51.6
51	Punta Prieta	La Paz	B.C.S.	Vapor	3	113	622	63.1
55	27 de Septiembre	El Fuerte	Sinaloa	Hidroeléctrica	3	59	209	40.2
59	Humaya	Badiguarato	Sinaloa	Hidroeléctrica	2	90	104	13.1
64	Hermosillo (PIE)	Hermosillo (PIE)	Sonora	Ciclo Combinado	1	238	1,209	58.0
65	Tres Vírgenes	Sta. Rosalía	B.C.S.	Geotérmica	2	10	22	25.6

FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía

**Tabla.6.-Centrales de Generación de energía eléctrica 2002 Región Noreste**

No.	Región/Central	Municipio	Estado	Tipo	No. de Unidades	Capacidad MW	Generación GWh	Factor de Planta %
23	Altamira	Altamira	Tamaulipas	Vapor	4	800	4,656	66.4
25	Monterrey	San Nicolás de los Garza	Nuevo León	Vapor	6	465	2,538	62.3
26	E. Portes G. (Río Bravo)	Río Bravo	Tamaulipas	Vapor/TG	4	520	2,777	61.0
27	Francisco Villa	Delicias	Chihuahua	Vapor	5	399	1,920	54.9
28	Samalayuca	Cd. Juárez	Chihuahua	Vapor	2	316	1,233	44.5
29	Guadalupe Victoria	Lerdo	Durango	Vapor	2	320	1,980	70.6
38	Río Escondido	Río Escondido	Coahuila	Carbón	4	1,200	7,516	71.5
39	Carbón II	Nava	Coahuila	Carbón	4	1,400	8,636	70.4
44	Samalayuca II	Cd. Juárez	Chihuahua	Ciclo Combinado	6	522	3,902	85.4
45	Huinalá	Pesquería	Nuevo León	Ciclo Comb./TG	6	517	2,591	57.2
46	Huinalá II	Pesquería	Nuevo León	Ciclo Combinado	2	450	1,333	33.8
49	Gómez Palacio	Gomez Palacio	Durango	Ciclo Combinado	3	200	1,045	59.7
67	La Amistad	Acuña	Coahuila	Hidroeléctrica	2	66	46	7.9
68	Chihuahua II (El Encino)	Chihuahua	Chihuahua	Ciclo Combinado	3	554	3,279	67.6
70	Saltillo (PIE)	Ramos Arizpe	Coahuila	Ciclo Combinado	1	248	1,796	82.8
72	Río Bravo II (PIE)	Valle Hermoso	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1	495	3,127	72.1
73	Monterrey II (PIE)	San Nicolás de los Garza	Nuevo León	Ciclo Combinado	1	449	2,453	62.4
74	Altamira II (PIE)	Altamira	Tamaulipas	Ciclo Combinado	1	495	2,568	59.2

FUENTE: Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía



## **I.2.- Demanda y Oferta de energía eléctrica**

La energía eléctrica tiene diversas ventajas frente a otros tipos de energía. Por ejemplo, se puede obtener de diversas fuentes, es fácilmente transformada en otros tipos de energía; no hay límites de dividirla y usarla en corrientes muy fuertes o extremadamente pequeñas; es posible transportarla fácilmente a grandes distancias, etc. Sin embargo, tiene como contrapartida, el que no exista ningún medio para almacenarla.

La imposibilidad de almacenar la energía eléctrica exige conocer con gran precisión y detalle las características de la demanda en sus dimensiones de tiempo (horas, semanas, meses y años), espacio (por regiones del país) y cantidad (centros urbanos, industriales, zonas con poca densidad de población), así como contar con la infraestructura de generación que responda con eficacia y eficiencia todas las variantes de demanda que se presenten. Para conciliar estos dos conjuntos de variables es necesario establecer, por un lado, una programación puntual de muy corto plazo para el uso de la capacidad productiva disponible, que responda con oportunidad a las variaciones de la demanda a lo largo del día y durante los días de la semana y en las diferentes estaciones del año, a los menores costos.

Por otra parte, se requiere planear y programar para el largo plazo, la construcción y entrada en operación de nuevas unidades productivas para hacer frente a las crecientes necesidades de la población y de los sectores productivos.

Del lado de la demanda, en la dimensión temporal es necesario revisar las variaciones del consumo de electricidad en dos “escalas”, las cuales siempre se presentan de manera simultánea. La primera, a lo largo del día, donde el nivel máximo de demanda se registra en las horas de la noche, cuando entra en operación el alumbrado público y aumenta el consumo doméstico. La segunda, de acuerdo con la época del año, donde el consumo máximo de energía eléctrica.

Del lado de la oferta, el análisis debe tomar en cuenta los diferentes tipos de energía disponibles en cada región para la generación de fluido eléctrico. Se parte siempre de la premisa de aprovechar la fuente de energía más barata o, de ser el caso, la única disponible en un área geográfica. Además, es necesario considerar la existencia de una reserva neta de capacidad que respalde las contingencias que todo sistema eléctrico es susceptible de sufrir: fallas imprevistas y congestionamientos. En México la reserva neta de capacidad actual es de 17%, respecto de la capacidad total. Sin embargo, dadas las características de la demanda y del sistema eléctrico nacional, se estima que la reserva debería alcanzar el 27%.

Alcanzar permanentemente el balance entre la oferta y la demanda de energía eléctrica constituye el fundamento para la operación exitosa del sistema eléctrico de un país. Este objetivo se alcanza, en principio, a partir un arreglo en la utilización de las plantas de generación que privilegia su eficiencia y pone en segundo término la disponibilidad. En otras palabras, las centrales con los menores costos variables son la base de la operación y siempre las primeras que aportan al sistema la energía que generan. Al aumentar la



demanda se van incorporando las centrales con costos intermedios y en los picos de demanda se incorporan las centrales con costos de producción más elevados.

### **I.3.- Importancia económica y social del sector eléctrico**

En países en desarrollo como México, la demanda de energía eléctrica crece a ritmos acelerados. Los aún elevados índices de crecimiento poblacional y las mejoras en el nivel de vida de amplios sectores de la población son dos de los principales factores que determinan el aumento de la demanda de electricidad. Por otra parte, el crecimiento económico implica el incremento de los requerimientos de electricidad al ser ésta un insumo esencial en la producción de bienes y servicios.

De esta manera, en una economía que requiere un crecimiento constante e importante en el número de empleos y en el nivel de vida de sus habitantes, con una población creciente, enfrenta factores que retroalimentan constantemente las exigencias en el incremento de la capacidad de generación.

La industria eléctrica es muy intensiva en capital y la rotación de sus activos muy baja. En México, los costos de generación representan el 70% de los costos totales de la electricidad, en los que el peso más significativo corresponde al costo de los combustibles (50% del costo total). Por otra parte, es necesario enfrentar las pérdidas (de energía) por transmisión y distribución, que también representan una parte importante de los costos totales del suministro de energía. Frente a lo anterior, en México se enfrentan fuertes problemas para repercutir los costos reales totales del suministro en las tarifas que se cobra a los usuarios, e incluso el cobro de la electricidad a todos los consumidores.

En estas circunstancias, actualmente la política en el sector energético considera el establecimiento de plantas generadoras a partir de tecnologías que, con base en el contenido calórico del combustible que utilicen y la eficiencia térmica que ofrezcan, arrojen los menores costos de combustible por kW generado. Entre los mejores resultados en la actualidad se encuentran las tecnologías de ciclos combinados con gas natural como combustible, la térmica convencional con combustóleo y carbón, así como la nuclear.

En el caso de las centrales hidroeléctricas, la comparación con el resto de las tecnologías se hace a partir del combustible fósil que se está dejando de utilizar al emplear agua en la generación de electricidad. Debido a que el agua es un recurso limitado, la determinación de las horas de generación depende de la disponibilidad y de la existencia de presas de retención.

En este contexto, y considerando las restricciones presupuestales de la CFE para invertir en nueva capacidad, el programa gubernamental de expansión de capacidad de generación del hacia el año 2011 prevé una participación mayoritaria del sector privado en la creación de nuevas unidades, ya que más del 80% de las centrales en proceso de construcción o ya comprometidas pertenecen a empresas privadas, principalmente a través de plantas de ciclo combinado.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía





#### I.4.- Importancia de la hidroelectricidad en el Sistema Eléctrico Nacional

La hidroelectricidad como fuente de energía en nuestro país ha constituido un elemento clave para el funcionamiento del Sistema Eléctrico Nacional. Aunque su participación relativa con respecto a las centrales térmicas ha disminuido en los años recientes, pasando de 37.6% en 1981 a 26.0% en 2001; en la figura I.11 se indica la participación porcentual por tipo de generación que actualmente participa en el servicio.

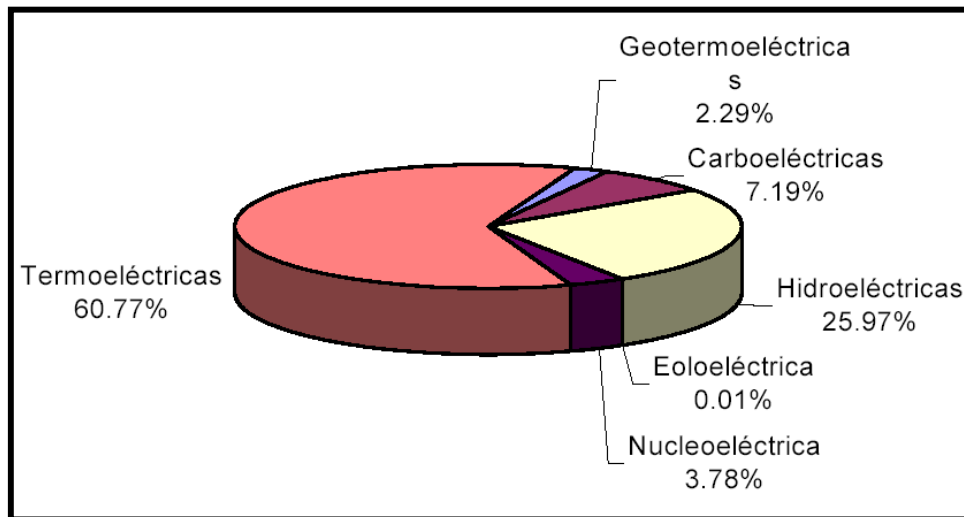


Fig.I.11.- Capacidad instalada por tipo de generación

La importancia de las centrales hidroeléctricas se puede expresar por las razones siguientes:

- Contribuyen eficientemente a satisfacer la demanda de electricidad en la hora pico (cuatro horas al día, en promedio), dada su facilidad de entrar y salir de operación en tan solo unos pocos minutos. Además, cubren eficientemente las fallas de centrales termoeléctricas, evitando interrupciones de energía en el sistema, lo cual provocaría grandes pérdidas económicas al país.
- Disminuyen sustancialmente los costos de operación del sistema eléctrico, ya que no consumen combustibles fósiles, los cuales son la base para la operación de centrales térmicas.
- Tienen una participación muy destacada en la regulación del sistema eléctrico ya que pueden utilizarse como condensadores síncronos, regulando los efectos desfavorables del flujo de energía en las líneas de transmisión.
- Conceptualmente, representan grandes acumuladores al almacenar la energía potencial del agua en sus embalses; así, se puede adecuar su operación a las necesidades diarias, semanales o mensuales para satisfacer las demandas de los diferentes usuarios.



- Evita que el sistema eléctrico dependa excesivamente de los hidrocarburos, utilizados por la mayoría de las centrales térmicas.

Entre 1970 y 1996 la potencia instalada en nuestro país se incrementó en 583.1 %, correspondiendo este crecimiento a una tasa media anual de 6.2%. En algunos años el incremento fue mayor, principalmente en la década de los años 70, cuando el crecimiento anual era por arriba de los 10 puntos, llegando inclusive a alcanzar tasas anuales de 15% o más.

Sin embargo, en los últimos veinte años la dinámica cambió severamente reduciéndose las tasas de crecimiento en la década de los años 80 a 7.5 y 4.0 % para el primero y segundo quinquenio, respectivamente. En la década más reciente, la industria pasó de crecer a 5.0% en el período 1991 – 1995, y a tan solo 1.43% entre 1996 y 2000., como se observa en la tabla I.7.

**Tabla I.7.- Potencia instalada en México de 1970 a 2000**

	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Capacidad (MW)	6 068	6 498	6 913	7 726	8 371	9 830	11 430	12 032	13 982	14 298	14 625	17 396	18 390	19 004	19 360	20 807
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000*	2000**
Capacidad (MW)	21 266	23 145	23 554	24 439	25 263	26 797	27 068	29 204	31 648	32 166	33 920	33 944	33 394	34 839	35 386	36 869

**FUENTE: Prospectiva Sector Eléctrico, 2002-2012, Secretaría de Energía**

Con base en las estadísticas de CFE, se calcula que en el periodo 1988 – 1993 la venta de electricidad en el país creció a una tasa media de 4.3% y el número de usuarios del servicio se incrementó a una tasa media de 4.8%, pasando la cobertura a poblaciones de 86% en 1988 a 93% en 1993. A partir de estas tendencias de crecimiento y con la finalidad de prepararse para satisfacer la demanda futura, como ya se mencionó, se requiere instalar del orden de 13 000 MW en los próximos 6 años.

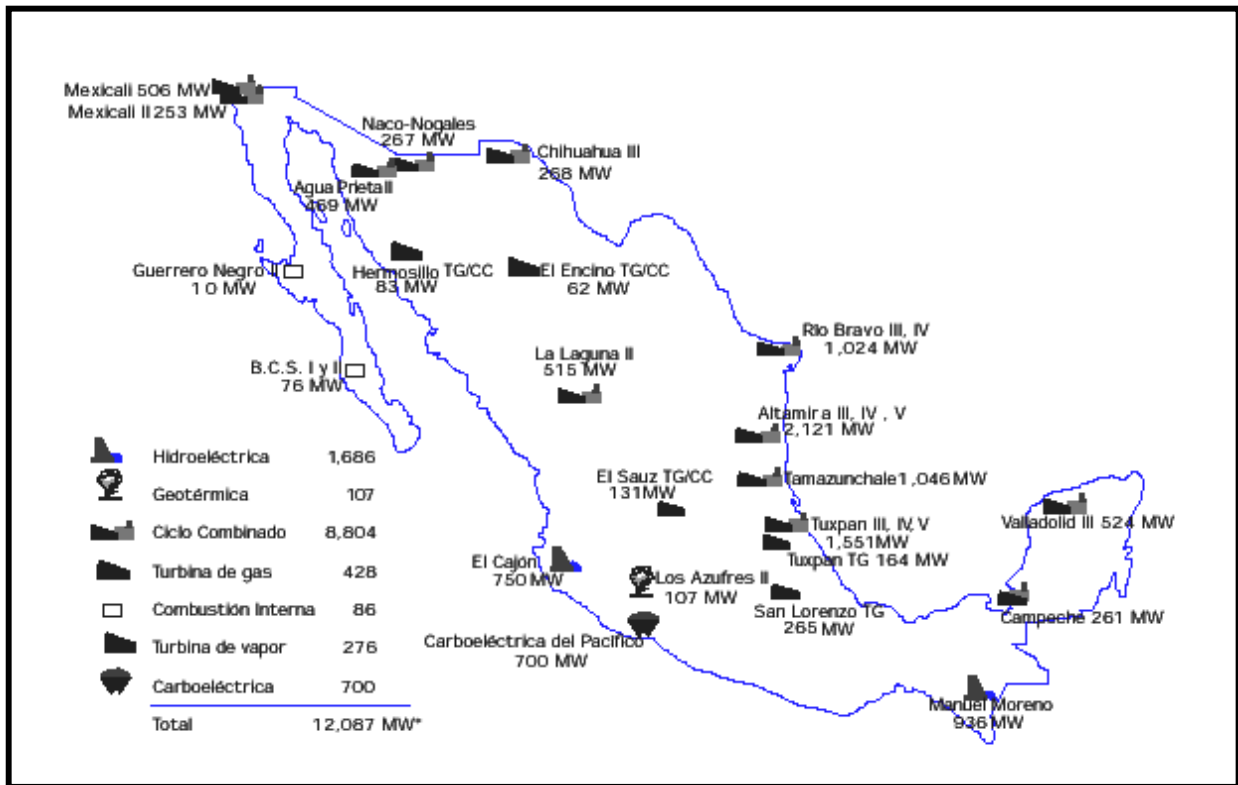
Las expectativas de crecimiento del sector eléctrico continúan basadas en el desarrollo de plantas térmicas e hidroeléctricas, tratando de conservar la actual participación relativa entre ambas, En otros países del mundo, principalmente los grandes poseedores de recursos hidráulicos, como Suecia, Islandia y Noruega, la hidroelectricidad constituye el principal componente del suministro eléctrico (Noruega 99.6%, Islandia 85%). En algunos países inclusive se ha aprovechado casi el total del potencial existente (Francia 85%, Alemania 68% e Italia 65%). En México este desarrollo ha sido mucho más reducido, sólo se ha aprovechado del orden del 18% del potencial hidroeléctrico nacional.



**I.5.- Capacidad Comprometida o en construcción**

Aunque se encuentran centrales en todo el país, las plantas más importantes a base de ciclos combinados se construirán en el Golfo de México para dar abasto al centro del país y a la planta productiva del área norte y noreste. La figura 13 muestra las centrales generadoras que componen la capacidad en construcción o comprometida, que ascenderá a 12,087 MW. De este total 75.1 % se construirá con tecnología de ciclo combinado(incluyendo las centrales que serán convertidas) y 14.8% con centrales a base defuentes primarias de energía.

Dentro de los esquemas financieros para la ampliación de infraestructura energética con participación privada, la modalidad con mayor participación en estos proyectos es el productor independiente, el cual aportará 72.8% de la capacidad total comprometida o en construcción de los próximos años seguido por la obra pública financiada con 23.5% y sólo 3.5% será construída con recursos propios.<sup>1</sup>



**Fig.I.12.-Centrales en proceso de construcción o comprometidas**

<sup>1</sup> Prospectiva del Sector Eléctrico 2002-2011, Secretaría de Energía



## I.6.- Capacidad adicional no comprometida

Los estudios de la expansión del sistema determinan los requerimientos de capacidad adicional de generación no comprometida. Estos son susceptibles de satisfacerse con inversión privada, mediante las licitaciones correspondientes de conformidad con la legislación vigente.

Con ello se da apertura a otras opciones de generación que minimicen el costo total de largo plazo, con la calidad y confiabilidad que requiere el sistema. Para ello se ha estimado una capacidad no comprometida de 13,670 MW y considerando los 12,087 MW de capacidad comprometida, la capacidad adicional total estimada del servicio público será de 25,757 MW en el año 2012.

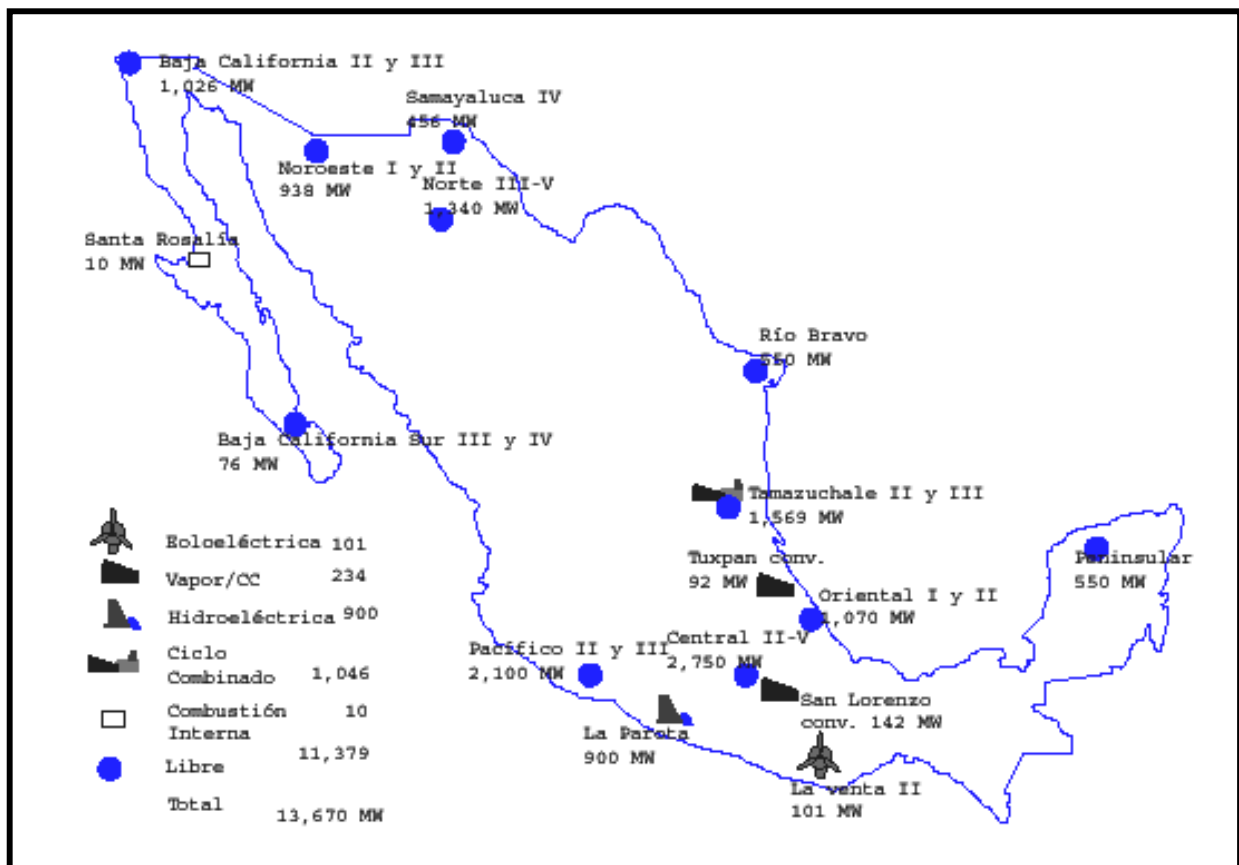


Fig. I.13.-Requerimientos de capacidad adicional no comprometida (MW)

Ante la perspectiva de la situación antes descrita, se aprecia la relevancia que tendrá para el país la construcción de la central hidroeléctrica propuesta en Nayarit y de la expansión de la central de Chicoasén en Chiapas, únicas de este tipo consideradas al menos dentro de los próximos 10 años en México, ya que: i) mantienen la propiedad de una de las fuentes de electricidad más baratas en manos nacionales, ii) facilitan la utilización de esta ventaja para disminuir relativamente los costos de las horas pico; iii) son un factor importante para el despacho económico de electricidad.



### **I.7.- Descripción General del proyecto**

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón forma parte de un plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago, que comprende una serie de proyectos con un potencial hidroeléctrico de 4 300 MW, del cual se ha desarrollado el 32%, ocupa el segundo lugar en potencia y generación dentro del sistema después de la central Aguamilpa y el noveno lugar en el ámbito nacional. Su finalidad principal es la producción de energía eléctrica, en operación conjunta con las otras plantas previstas y construidas a lo largo del río y está concebido como planta de generación para picos de consumo de energía eléctrica, con una potencia total instalada del orden de los 750 MW con dos unidades generadoras y una generación total anual de 1 298.55 GWh.

Su embalse contribuirá a regular los escurrimientos de su cuenca y beneficiará a la central Aguamilpa, figura I.14, ya que al recibir el vaso de esta última las aportaciones reguladas del río, incrementará su generación firme y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor.



**Fig.I.14.- Central Hidroeléctrica Aguamilpa, Nayarit**

### **I.8.- Desarrollo Hidroeléctrico del Río Santiago**

Dentro del potencial eléctrico nacional los ríos que pueden aportar la mayor cantidad de energía son: Grijalva, Usumacinta, Balsas, Santiago y Moctezuma; a la fecha se ha desarrollado periódicamente todo el Grijalva con las centrales de Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas y en forma importante el Balsas con Caracol, Infiernillo y Villita. Por lo que respecta al río Santiago tiene una ubicación muy favorable para abastecer centros importantes de consumo.



Esta pensado para llevar a cabo una explotación como en la que se muestra en la figura I.15 para el aprovechamiento de los recursos hidráulicos; hasta el momento en este río están en operación Agua Prieta, Santa Rosa, Aguamilpa y otras pequeñas centrales.

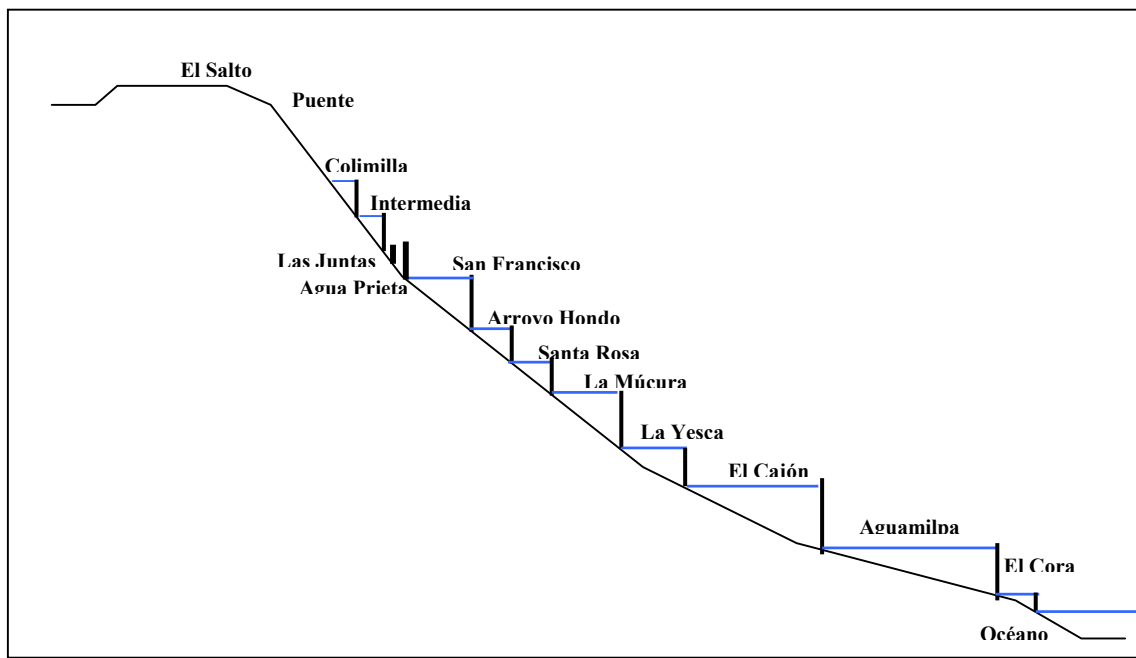


Fig.I.15.-Desarrollo Hidroeléctrico del río Santiago

La relación de proyectos construidos para el aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago se muestran en la tabla I.8.

Tabla I.8.- Relación de proyectos para el aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago(ya construidas)

Nombre del Proyecto	Área de la Cuenca (km <sup>2</sup> )	Potencia Instalada (Mw)	Generación media anual (Gwh)	Almacenamiento (Hm <sup>3</sup> )
Puente Grande		23	71	
Colimilla		51	159	
Las Juntas		15	64	
Agua Prieta		480	959	
Santa Rosa		61	266	
Aguamilpa	73,834	960	2,131	6,950
San Rafael	75,000	150	406	



## I.9.- Características particulares del proyecto

El P.H. El Cajón es un conjunto de obras conformadas para un fin principal que es generar energía eléctrica. Las obras principales son: obras de infraestructura, obras de desvío del río, obras de contención para contener el embalse, obras de excedencias para la derrama de agua en caso de avenidas extraordinarias y obras de generación de energía. Las obras principales están relacionadas entre sí desde el aspecto de construcción, de operación y por vialidades o caminos durante la construcción del proyecto y como vialidad definitiva de la central.

El P.H. El Cajón es un proyecto que se construye mediante licitación pública, bajo la modalidad de contratación como proyecto de inversión financiada a precio alzado.



Fig.I.16.- Vista aérea de la zona de obras del PH El Cajón al 6 de abril 2005

### I.9.1.- Localización

El P.H. El Cajón se localiza en el sureste del estado de Nayarit, 47 km en línea recta de la ciudad de Tepic. El sitio de las obras se localiza en los municipios de La Yesca y Santa María del Oro, ambos divididos por el río Santiago, en terrenos del ejido Cantiles a 60 km aguas arriba de la C.H. Aguamilpa, inmediatamente aguas abajo de la confluencia con el arroyo La Palmilla, a 68 km aguas abajo de la confluencia con el río Bolaños.

Las localidades más cercanas al proyecto son los poblados de El Buruato, a 25 km, Rincón de Calimayo, a 31 km, el poblado ubicado en la rivera de la Laguna de Santa María del Oro, a 31 km, y el poblado de Santa María del Oro, a 43 km.

Sus coordenadas geográficas son 21° 25' 41" de latitud norte y 104° 27' 14" de longitud oeste.

En la figura I.17 se muestra el croquis de localización del proyecto.



Fig.I.17.-Localización del PH El Cajón

### I.9.2.- Superficie total requerida

Para la construcción del proyecto es necesario construir el camino de acceso definitivo y establecer un conjunto de obras provisionales que constituyen la infraestructura del proyecto. En ésta se consideran el embalse, las obras principales, los caminos interiores, talleres, almacenes, patios de servicio, trituradoras, plantas de asfalto y concreto, campamentos, oficinas y comedores. La superficie total requerida es la que se indica en la tabla I.9.





**Tabla I.9.-Superficie requerida para la construcción del P.H. El Cajón**

ZONA	SUPERFICIE (ha)
Embalse	3942.2
Obras principales: contención, generación, excedencias y desvíos	67.2
Bancos de préstamo	21.8
Vialidades internas principales	21.0
Patio de almacenamiento	16.5
Uso habitacional y oficinas	53.0
Para servicios y gobierno	22.6
Uso industrial	12.6
Obras sociales (reacomodos, accesos, servicios)	50.0
<b>Total</b>	<b>4,206.9</b>

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

Del total de la superficie requerida, las áreas arboladas libres o a ser desmontadas, se muestran en la tabla I.10

**Tabla I.10.- Tabla porcentual de la superficies con vegetación**

SUPERFICIE TOTAL DEL PROYECTO	Ha	%
Superficies arboladas	3,580.1	85.1
Superficies no arboladas	626.8	14.9
Superficies a ser desmontadas	168.6	6.1
Superficies de áreas libres	0	0

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



### I.9.3.- Acceso Provisional

El acceso provisional al sitio de las obras a partir de la ciudad de Tepic, se logra mediante un recorrido total de 78 km. Éste se inicia por la carretera federal No. 15 o por la autopista Tepic - Guadalajara con un desarrollo de 26 km hasta el entronque “La Lobera”, donde se toma la desviación por la carretera estatal al poblado Laguna de Santa María del Oro con un desarrollo de 20 km. A partir de la Laguna de Santa María del Oro se toma un camino rural de 6 km de terracerías al poblado de El Buruato; de ahí hasta el sitio del proyecto se recorren 26 km por un camino tipo brecha de terracerías en malas condiciones de rodamiento.

Los aeropuertos más importantes de la región son los de Guadalajara, Puerto Vallarta y Tepic, donde operan vuelos comerciales regulares desde distintas ciudades de la República Mexicana.

### I.9.4.- Acceso Definitivo

El diseño del camino se realizó a partir de estudios para la selección de la ruta más adecuada, se complementó con estudios geológicos, trazos preliminares y análisis de costo beneficio. A partir de tres opciones estudiadas, se seleccionó y diseñó un camino de 43 km de largo. Se puede apreciar en las figuras I.18 y I.21, sus etapas constructivas iniciales y finales.

El trazo parte de la carretera estatal a Santa María del Oro, a 6 km del entronque “La Lobera”, en la desviación al poblado Cerro Blanco. En su trayectoria al P. H. El Cajón, comunica los poblados: Cerro Blanco, Rincón de Calimayo y El Buruato.

Por tramos, el diseño del camino se describe en forma breve en la tabla I.11

**Tabla I.11.- Descripción por tramos del camino de acceso definitivo**

Del km Al km	Descripción
0+000 12+000	Tramo: Desviación a Cerro Blanco- Rincón de Calimayo.
12+000 17+000	Tramo: Rincón de Calimayo- El Buruato.
17+000 43+000	Tramo El Buruato- P.H. El Cajón.



**Fig.I.18.- Camino de acceso definitivo en etapa constructiva inicial**

El camino de acceso definitivo al P.H. El Cajón contiene en total 10 puentes, incluyendo el puente sobre el río Santiago que se ubica en el punto final (km 43+000), en figuras I.19 y I.20. Este puente es similar al construido en la Central Hidroeléctrica Aguamilpa; consiste en una superestructura formada por dovelas de concreto de sección cajón con acero de refuerzo y presfuerzo, con un sistema de construcción de doble voladizo sobre dos pilas centrales. La ubicación de este puente dista 1 100 m aproximadamente, aguas abajo del eje de la presa; su construcción permitirá el paso vehicular a la zona serrana del noreste del estado.



**Fig.I.19.- Construcción del Puente Santiago sobre el río Santiago**



**Fig.I.20.-Puente Santiago terminado y en operación**



El punto final del camino de acceso definitivo al proyecto, se ubicó en el estribo de margen izquierda del puente sobre el río Santiago y no al eje de la cortina, por las siguientes razones:

- Evitar que durante la construcción del proyecto se pierda o dañe el tramo de camino que comunica a la cortina con el puente sobre el río Santiago.
- Permitir el tránsito de vehículos particulares ajenos a la construcción del proyecto, ya que es factible el aprovechamiento de esta ruta para comunicar posteriormente a los poblados de El Roble y Huajimic.
- Para la construcción del proyecto es de capital importancia tener acceso permanente a ambos márgenes del río, en un sitio estratégico, de acuerdo con la logística del procedimiento de construcción. El sitio escogido es adecuado para este fin.



Fig.I.21.- Camino de acceso definitivo en etapa constructiva final

### **I.10.- Descripción de obras y actividades principales**

El P.H. El Cajón está constituido por las obras principales que se indican en la tabla I.12; los planos de las obras y de la infraestructura se encuentran en los anexos al final del presente trabajo.



Tabla I.12.-Obras y actividades para la construcción del P.H. El Cajón

NO.	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
a)	Número de unidades	2 Turbinas tipo Francis de eje vertical
b)	Capacidad por unidad	375 MW cada una
c)	Superficie del embalse	3942 ha
d)	Capacidad del embalse	
	al NAME 2369 hm <sup>3</sup>	
	al NAMO 2252 hm <sup>3</sup>	
	al NAMINO 936 hm <sup>3</sup>	
e)	Tipo de cortina	Enrocamiento con cara de concreto
f)	Superficie para estructura	
	Contención	25.7 ha
	Generación	8.6 ha
	Excedencias	10.1 ha
	Desvíos	10.7 ha
g)	Obras de generación	
	Obra de toma	Canal a cielo abierto con 1.5 Mm <sup>3</sup> de excavación.
	Tuberías a presión	Sección circular con camisa metálica de 7.25m de Ø, longitud de 140.9 m y carga neta de diseño de 174.45 m.
	Casa de máquinas	Subterránea de 22.2 x 46.3x93.3 m
	Subestación de potencia	Blindada con dispositivos SF6.
	Galería de oscilación	De 16 m de Ø, 66.6 m de altura y 78.5 de longitud
h)	Excedencias	Canal a cielo abierto diseñado para 15,900 m <sup>3</sup> /s Con 6 compuertas radiales de 10.20 x 22.65 m
i)	Obras de desvío	
	Túneles de desvío	Dos túneles con longitud total de 1,569 m y sección portal de 14x14 m; capacidad de descarga de 5,104 m <sup>3</sup> /s.
	Ataguías	De materiales graduados ambas, aguas arriba y aguas abajo.
j)	Desfogue	Túnel de sección portal de 16 m y 443 m de longitud.
k)	Nuevos poblados	Se tienen previstos 5 sitios para reacomodos, localizados próximos a los actuales asentamientos. Se estima una superficie total de 50 ha, incluyendo vivienda, servicios y accesos.

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



### I.11.- Datos Técnicos del proyecto

A continuación se presenta los datos técnicos del proyecto, estas son resultado de los estudios técnicos que se realizaron y se presentan en los anexos al final del presente trabajo.

**Tabla I.13.- Datos Meteorológicos**

Meteorológicos	
Temperatura máxima/mínima	46/ 6.5 °C
Temperatura de diseño máxima/mínima	46/ 6.5 °C
Temperatura de bulbo seco promedio	37.0 °C
Temperatura de bulbo húmedo promedio	25.2 °C
Humedad relativa verano/invierno	36.4/48.6 %
Humedad relativa promedio	38%
Aceleración horizontal máxima del terreno	0.2g
Presión barométrica	98 kPa
Velocidad del viento	110 km/h
Temperatura promedio del agua	27.18 °C
Temperatura mínima del agua	23.83 °C
Zona climática/Ambiente	Cálida subhúmeda/Rural

**Tabla I.14.- Datos Hidrológicos**

Hidrológicos	
Área de la cuenca	54 198.00 km <sup>2</sup>
Escorrentamiento medio anual	3 326 hm <sup>3</sup>
Avenida máxima registrada	7 029.00 m <sup>3</sup> /s
Gasto medio anual	105.48 m <sup>3</sup> /s
Gasto medio aprovechable	100.40 m <sup>3</sup> /s
Periodo de registro	51 años

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

**Tabla I.15.- Datos de Generación**

Generación	
Factor de planta	0.19
Energía firme	864.39 GWh
Energía secundaria	364.25 GWh
Generación media anual	1 228.64 GWh
Incremento de energía firme en la CH Aguamilpa atribuible al PH El Cajón	69.91 GWh
Generación media anual total	1 298.55 GWh

**Tabla I.16.- Datos Técnicos del Embalse**

Vaso de almacenamiento	
Elevación al NAMINO	346.00 m
Elevación de diseño (corresponde a la carga de diseño de la turbina)	380.07 m
Elevación al NAMO	391.00 m
Elevación al NAME	394.00 m
Capacidad para azolve (EL. 319.50)	482.40 hm <sup>3</sup>
Capacidad útil para generación	1 316.20 hm <sup>3</sup>
Capacidad de control de avenidas	117.50 hm <sup>3</sup>
Área al NAME	3 982.00 ha
Área al NAMO	3 852.00 ha
Área al NAMINO	2 087.00 ha



---

---

## II.- TIPO DE CORTINA

### II.1.- Descripción General

Se entiende por una cortina una estructura que se coloca atravesada en el lecho de un río, como obstáculo al flujo del mismo, con el objeto de formar un almacenamiento o una derivación. Tal estructura debe satisfacer las condiciones normales de estabilidad y ser relativamente impermeables.

Las cortinas se pueden clasificar con referencia a su:

a) Altura

Se clasifican en cortinas Bajas, cuando su carga hidráulica es  $H < 15$  m; o bien en cortinas Altas, cuando su carga hidráulica es  $H > 15$  m.

b) Propósito

Se clasifican en vertedoras y no vertedoras.

c) Tipo de construcción y materiales que la constituyen

Se clasifican en cortinas de tierra y enrocamiento, éstas se pueden sub clasificar en homogéneas; que son las que su material es de tamaño uniforme u homogéneo y existen las de materiales graduados.

También se encuentran las cortinas de Concreto o Mamposteria, que pueden ser de tipo gravedad de arco: simple o de doble curvatura. Existen también las cortinas de machones o contrafuertes.<sup>2</sup>

Para ampliar la información de la variedad de tipos de cortinas y otros detalles se sugiere al lector consultar la referencia abajo indicada.

La cortina del P.H. El Cajón será de enrocamiento compactado con cara de concreto en el frente aguas arriba; tendrá una altura máxima de 186 m y un volumen de terracerías aproximado de  $12.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

La parte impermeable de la cortina se forma con una gran losa de concreto reforzado de  $59766 \text{ m}^3$  en su cara de aguas arriba. La cara de concreto se apoya sobre los materiales de la cortina y tiene su cimentación en las laderas de desplante de la misma, mediante una losa de concreto construida sobre terreno firme a lo largo del perímetro de la cara de concreto. A esta losa de cimentación se le denomina plinto. Para la construcción de las losas de la cara de concreto de la cortina y el plinto se debe aprovechar la experiencia obtenida en la construcción de la presa de la C.H. Aguamilpa en figura II.1, ya que ambos diseños son muy similares.

---

<sup>2</sup> Obras Hidráulicas, Francisco Torres Herrera, Edit. LIMUSA



**Fig.II.1.-Cortina de enrocamiento con cara de concreto, C.H. Aguamilpa, Nayarit**

En el diseño de la cortina se debe incluir la instalación de materiales y aparatos para instrumentación que permitan conocer el comportamiento de la estructura durante su construcción, durante el primer llenado del embalse y durante su vida útil. La instrumentación debe estar diseñada para conocer: puntos de presión hidráulica, asentamientos, deformaciones, desplazamientos y filtraciones.

Para la cara de concreto de la cortina, cobra especial importancia el sistema de sellos y juntas de cobre que se deben colocar en todas las juntas de construcción, tanto de la cara de concreto como del plinto, debido a que estos dispositivos deben evitar filtraciones de agua a través de la presa. Para medir cualquier filtración que pudiera presentarse, se debe construir una galería filtrante al pie de la cortina en la zona aguas abajo, de tal manera diseñada, que por ella se capten todas las filtraciones que ocurran por el cuerpo de la presa, y medir el gasto de filtración en cualquier época del año.

Los niveles de control y capacidades del embalse se indican en la tabla II.1:

**Tabla II.1 Elevación y capacidades del embalse del P.H. El Cajón**

<b>Cota</b>	<b>Descripción</b>	<b>Elevación msnm</b>	<b>Capacidad Hm<sup>3</sup></b>
	Corona de la cortina	394.5	
NAME	Nivel de aguas máximas extraordinarias	394	2 369
NAMO	Nivel de aguas máximas de operación	391	2 252
NAMINO	Nivel de aguas mínimas de operación	346	936





El embalse tendrá una capacidad para regulación de avenidas de  $87 \text{ hm}^3$ . El volumen útil para generación será de  $1127 \text{ hm}^3$ .

## II.2.- Geología del Eje de la Estructura

Hacia aguas arriba el ancho del cauce del río aumenta y la cimentación rocosa presenta un sistema de fracturas tectónicas que, en caso de ubicación de estructuras de carga alta pueden dificultar su diseño y construcción. Por eso el desplazamiento del eje hacia aguas arriba no es conveniente. En dirección aguas abajo, la morfología de la margen derecha nos permite un emplazamiento del eje.

Con base en la información geológica proporcionada se tiene identificado que en el cauce los espesores de aluvión varían de 10 a 24 m, ubicándose los valores máximos a una distancia de 15 m aguas abajo del Eje. En el área comprendida entre el plinto y el eje de presa el espesor promedio de aluvión corresponde a 6.50 m.

El desplante se hará principalmente en ignimbrita de la unidad TicU3 en ambas márgenes y en una zona hacia aguas arriba en la unidad TicU2. En la margen izquierda, cubriendo a estas unidades, se encuentran aluviones litificados, terrazas de basalto y depósitos de talud; será necesario remover estos depósitos.

Entre las estructuras geológicas más importantes de la margen derecha se han identificado: la falla Playón, el contacto litológico entre las unidades U2 y U3, el aglomerado intermedio de la U2 y la pseudoestratificación. En la margen izquierda las estructuras principales son las fallas II-A, II-B, B, III, Puertecitos, el contacto entre las unidades U2-U3 y el aglomerado intermedio presente en la unidad U2.

Asumiendo que con una velocidad de onda de corte ( $V_p$ ) menor que 2000 m/s, la roca puede estar descomprimida, alterada o intensamente fracturada, en la margen derecha el espesor puede alcanzar 10 m desde la superficie, mientras que en la margen izquierda el espesor puede ser todavía mayor.<sup>6</sup>

Se han identificado algunas zonas en donde se observan condiciones de inestabilidad por formación de bloques o cuñas, por lo cual en el proceso de remoción de materiales para el desplante se tendrá especial atención en éstos.

Finalmente, en la margen izquierda se localizó, entre las cotas 320 y 260, un depósito de talud importante, el cual es conocido como la zona del "circo de erosión".

## II.3.- Preparativos

Una vez desviado el río Santiago de la zona de desplantes de la presa (recinto) por medio de las ataguías y los túneles, se procede a efectuar las siguientes actividades principales:

---

<sup>6</sup> Bases de Licitación para la construcción del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, CFE



### **Limpieza del cauce del río**

Esta limpieza se lleva a cabo extrayendo el material hasta llegar a la roca sana y bombeando el agua para dejar la zona seca, limpia y firme para el desplante del pedraplén. En la parte aguas arriba del recinto se ubica el cárcamo de bombeo, el cual funciona durante todo el tiempo que dura la construcción del pedraplén.

La limpieza del cauce del río se realiza con tractores, dragas, retroexcavadoras, camiones de volteo, cargadores, bombas y demás equipos adicionales necesarios. La figura II.2 muestra estas actividades.

### **Limpieza de laderas de la cortina**

Con la finalidad de apoyar el pedraplén en roca sana se retira el material suelto y alterado hasta llegar a la roca sana. Si la configuración del perfil rocoso presenta grandes irregularidades o taludes invertidos, se debe perfilar la roca con uso de explosivos para formar escalonamientos o taludes positivos donde se puedan apoyar los materiales. Las depresiones se llenan utilizando concretos dentales, evitando la formación de grandes masas de concreto. El equipo utilizado son tractores, retroexcavadoras, cargadores, camiones de volteo, track-drill y demás equipo menor complementario. Este procedimiento se aplica igualmente para el desplante del plinto.



**Fig.II.2.- Proceso de construcción del cárcamo de bombeo y limpieza del recinto de la cortina con retroexcavadoras**

### **II.4.- Construcción del plinto**

El Plinto es una estructura de concreto armado, anclada a la roca con una longitud de 1750 m, y tiene como finalidad dar apoyo a la cara de concreto y servir como plataforma para la inyección de la masa de roca subyacente y así formar la continuación del plano de



estanqueidad en esa zona. La unión plinto-cara de concreto se logra con una junta perimetral de cobre; como se observa en la figura II.3.



**Fig.II.3.-Junta perimetral de cobre**

Una vez realizada la limpieza del cauce y laderas se procede al colado del plinto, dejando ahogados en esta estructura los ductos para el posterior inyectado de la masa de roca. El colado del plinto incluye el cimbrado, armado del acero de refuerzo, colocación de la junta perimetral y colocación de los ductos para inyectado. La inyección se efectúa a través de estos ductos, perforando la roca al diámetro y profundidad especificado e inyectando una mezcla de las características fijadas en el Proyecto a las presiones adecuadas. La figura II.4 muestra el proceso de construcción de esta estructura.

El equipo a utilizar consiste en: ollas revolventoras, planta de concreto, bombas de concreto y equipo como vibradores, máquinas soldadoras, cizallas, y otros.

El proceso constructivo de colados en el plinto en laderas se hará mediante el sistema de deslizado, para lo cual la secuencia que deberá seguirse es la siguiente:

- a) Excavación hasta el nivel de desplante del plinto en roca sana
- b) Colocación de concreto dental si fuera necesario.
- c) Anclaje de piso.
- d) Colocación de acero de refuerzo y de la junta de cobre.
- e) Colado del plinto deslizado dejando preparativos para las inyecciones.
- f) Inyecciones desde el plinto, para consolidación e impermeabilización.

En lo que sigue se describen las consideraciones para cada uno de estos puntos.



**Fig. II.4.-** Proceso de construcción de la losa perimetral del plinto. Nótese la colocación del acero de refuerzo en ambas márgenes

### **Excavaciones**

Se habilitará el acceso a la cortina desde la margen izquierda prácticamente al inicio del programa general a efecto de iniciar con la excavación para el plinto.

La secuencia de excavación será desde la cota 392, avanzando hacia el cauce hasta llegar a la cota 210, dejando pendiente la sección de llegada al cauce que será excavada posteriormente al desvío y concluida de forma simultánea con la excavación del plinto en el lecho del río.

Al concluir las excavaciones en la margen izquierda, se iniciará con la excavación para el plinto de la margen derecha, la cual se hará en dos etapas, la primera entre las elevaciones 218 y la 296; la segunda, en la parte superior entre las elevaciones 296 y 392, mostrada en la figura II.5.

En lo referente a tratamientos, anclajes, colocación de acero de refuerzo, junta perimetral, preparación de cimbras así como el colado de concreto, los procedimientos son iguales para ambas márgenes.



**Fig.II.5.-** Excavación del plinto margen izquierda



En el procedimiento de excavación se ha planificado efectuar los banqueos a 6m de altura con el fin de aplicar en forma paralela los tratamientos para la estabilidad de los taludes. Las etapas constructivas para esta excavación serán:

- \* Perforación de precorte en la línea del talud (altura variable máximo 12m)
- \* Perforación de producción (banqueo de 6m)
- \* Voladura.
- \* Remoción del material producto de la voladura y perfilamiento de la rasante.
- \* Saneamiento del talud.
- \* Colocación de tratamientos en taludes.

### **Tratamientos**

Los concretos y tratamientos se harán en una sola etapa en la margen izquierda, comprenden los anclajes, de piso del plinto y de laderas en los cortes; las inyecciones, de consolidación y de pantalla profunda.

También en las laderas se aplicará concreto lanzado con malla electrosoldada o fibra metálica y se habilitarán drenes mediante barrenos de 76.2 mm de diámetro y 6 m de longitud.

Bajo el plinto habrá tres líneas de inyección respecto a la sección transversal. Las externas serán para inyecciones de consolidación, para lo cual se harán barrenos de 20 m de longitud en roca

Si fuera necesario restituir la geometría de algún talud posteriormente a la ocurrencia de algún caído o a la excavación de remoción de material suelto, se colocará concreto de restitución.

Para regularizar el nivel de desplante del plinto se colocará concreto dental en restitución de la roca bajo la línea de excavación de proyecto. Si el espesor de concreto dental fuera mayor al ancho del plinto, se presentará un análisis específico de la restitución.

### **Anclajes**

Con el objeto de integrar el plinto y la cara de concreto de la cortina a la roca subyacente, y para resistir el empuje debido a las inyecciones bajo el plinto, se colocará anclaje mediante varillas de 38.1 mm de diámetro, cuya longitud en roca será de 3.00 m, como se muestra en las figuras II.6 y II.7 y además tendrán una longitud suficiente para el gancho de enlace con el acero de refuerzo del plinto.



**Fig.II.6.- Colocación de anclas en el plinto**



**Fig.II.7.- Vista del plinto anclado y colado**

En las laderas se estabilizarán los taludes mediante anclaje de fricción de longitud máxima de 6 m, con varillas de 25.4 mm de diámetro.

### **Colocación Acero de Refuerzo**

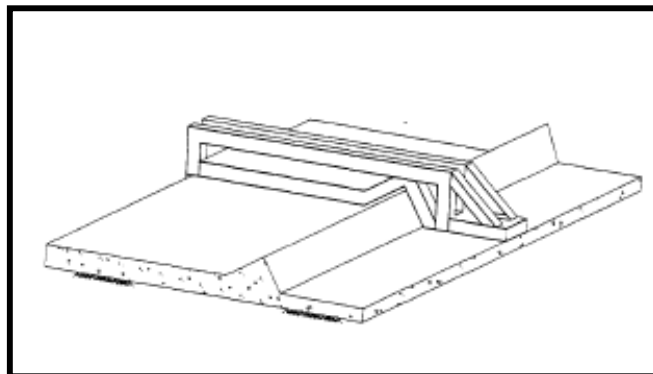
Conforme al proyecto, se distribuirá el acero de refuerzo, para lo cual se colocarán calzas o "pollos" para respetar el recubrimiento establecido en el proyecto, como se aprecia en la figura II.8.



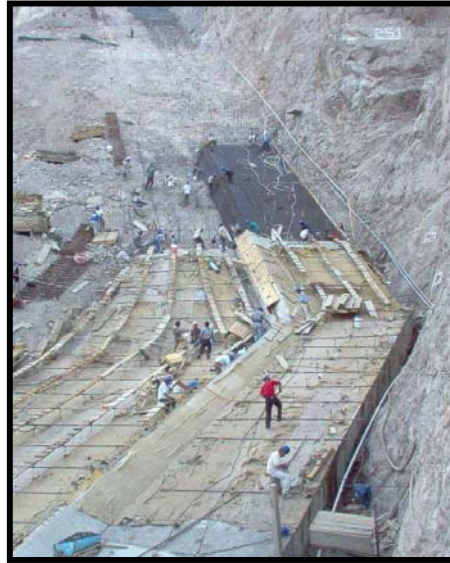
**Fig.II.8.-Armado del plinto**

### **Colocación de Cimbras**

Para el plinto en laderas, se usará cimbra deslizante como se muestra en las figuras II.9 y II.10. A fin de controlar la línea de proyecto y la pendiente del plinto se colocarán por lo menos 4 hiladas de éstas, las cuales tendrá su referencia grabada en el concreto expuesto a un metro de altura, estas referencias serán verificadas por lo menos cada dos horas para llevar un registro de lecturas y en su caso corregir el movimiento de la cimbra.



**Fig.II.9.-Esquema Cimbra Deslizante para Plinto**



**Fig.II.10.-Cimbrado del Plinto**

### **Colocación Tubos Guía de Barrenos para Inyección**

Previo al colado, se fijarán los tubos por donde se harán posteriormente los barrenos para las inyecciones, con lo cual se evitarán afectaciones al acero de refuerzo y retrabajos para pasar la losa. La distribución de los barrenos será en tres líneas, las dos externas para los barrenos de consolidación y la línea central para la pantalla profunda.

### **Colocación del Concreto**

El colado del plinto se hará con cimbra deslizante en los tramos en laderas, con avance a razón de 2 m por hora. En el plinto en la zona del cauce se hará con cimbra convencional, mediante tableros. Esto se aprecia en las figuras II.11 y II.12.



**Fig.II.11.-Primer colado del plinto en tramo recto**





Fig.II.12.-Plinto Márgen Derecha visto de frente

### **Barrenación para Tratamientos de Impermeabilización**

Se perforarán tres líneas de barrenos para los tratamientos mediante inyecciones de consolidación en las líneas externas y para la pantalla impermeable profunda en la línea central.

Los barrenos de la línea central alcanzarán hasta 70 m de profundidad bajo el plinto. Serán de 57.15 mm de diámetro.

Para conocer y verificar la permeabilidad del macizo, se harán pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon.

Se hará la inyección de los barrenos con el método GIN, para lo cual se definirá con las primeras inyecciones el número GIN aplicable. Los tramos de inyección serán de 5 m de longitud o de longitud de ajuste que sea indicada en el diseño de detalle.

### **II.5.- Construcción de la cortina**

La Cortina es la estructura que proporciona la estabilidad necesaria para contener y embalsar el agua, consta de un pedraplén de materiales graduados provenientes de la trituración de roca en sus tipos 2, 2F y 3B del banco “El Vertedor” y roca de explotación del mismo banco en sus tamaños 3C y 4, con las cantidades descritas en la tabla II.2.



**Tabla II.2.-Materiales para la construcción de la cortina**

<b>MATERIAL</b>	<b>VOLUMEN(m<sup>3</sup>)</b>
3B.Enrocamiento	5,581, 093.49
T. Transición(material 3B)	1,613, 136.40
<b>TOTAL MATERIAL 3B</b>	<b>7,194, 229.89</b>
3 C. Enrocamiento	4,832, 695.04
4. Protección	140, 848.50
2F. Apoyo en losa en junta perimetral	7, 960.00
2. Apoyo losa de concreto	282, 936.37
<b>TOTAL</b>	<b>12,458, 669.80</b>

FUENTE : Estudios Geotécnicos, Bases de Licitación El Cajón,CFE

### Extracción y procesamiento de los materiales

La roca necesaria para la construcción de la cortina se obtiene del banco de roca denominado “El Vertedor” y se extrae y procesa para obtener las cantidades y calidad deseadas.

Para la obtención de la roca y sus derivados se emplean equipo track-drill, uso de explosivos, tractores, camiones de volteo y cargadores en la extracción y acarreo del material. Para el procesamiento de materiales se utilizan trituradoras, cribas, banda transportadora y demás equipo complementario.



**Fig.II.13.-Desplante de la Cortina**



## Tipos de Material de la Cortina

Se presenta la zonificación de los materiales que constituyen a la cortina y cuyas características se indican a continuación.

**Tabla II.3.- Zonificación de materiales de la cortina**

MATERIAL	ZONA EN LA ESTRUCTURA	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CARACTERISTICAS
1 B	SOBRE LOSA DE CONCRETO	25 686	Arena fina limosa sin plasticidad
2F	FILTRO BAJO JUNTA PERIMETRAL Y JUNTAS DE TENSION	7 930	Grava arena limosa bien graduada
2	SOPORTE DE LOSA	358 650	Grava arena limosa con contenido de finos 6 y 10% y al menos 35% pasando la malla No. 4
3A	FILTRO/TRANSICION ENTRE ZONA 2 Y 3B	232 495	Enrocamiento bien graduado con 20 cm de tamaño máximo
3B	ENROCAMIENTO PRINCIPAL	3 269 511	Enrocamiento bien graduado con tamaño máximo igual al 80% del espesor de capa.
T	TRANSICION	3 434 422	Enrocamiento bien graduado con tamaño máximo igual al 80% del espesor de capa.
3C	RESPALDO DE AGUAS ABAJO	3 418 465	Enrocamiento bien graduado con tamaño máximo igual al 80% del espesor de capa.
3H	PROTECCION DE MATERIAL 1B	183 593	Rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada, con 40 cm de tamaño máximo
4	ENROCAMIENTO DE PROTECCION	159 955	Fragmentos de roca sana con tamaño mayor que 100 cm.

FUENTE : Estudios Geotécnicos,CFE

## Consideraciones

A continuación se citan algunas de las consideraciones que se deberán respetar para la colocación de estos materiales, con base en las especificaciones de obra civil.

### Material 1 B

Sobre la losa de concreto, en la parte inferior, este material será colocado en capas de 30 cm de espesor y será bandeado con tractor.

**Material 2 F**

Al pie de la losa de concreto, se colocará en capas de 30 cm de espesor con el contenido de agua óptimo, con rodillo liso vibratorio de 104 kN hasta alcanzar una relación de vacíos igual o menor de 0.22.

**Material 2**

Como respaldo para la recepción de la losa de concreto, se colocará en capas de 30 cm de espesor con el contenido de agua óptimo y compactado con rodillo liso vibratorio de 104 kN de peso mínimo estático hasta alcanzar un peso específico seco igual o mayor a 21.06 kN/m<sup>3</sup>.

**Material 3 A**

Como transición entre el material 2 y el 3B, se colocará en capas de 30 cm de espesor con el contenido de agua óptimo, con rodillo liso vibratorio de 104 kN de peso mínimo estático hasta alcanzar una relación de vacíos igual o menor de 0.24.

**Material 3 B**

Este material es el de mayor volumen en la parte aguas arriba de la cortina. Será producto de voladuras y procesamiento proveniente de las excavaciones de las estructuras y/o del banco el vertedor, se colocará en capas de 80 cm, humedecido a razón de 200 l/m<sup>3</sup> de agua como mínimo, compactado con rodillo liso vibratorio de 12 toneladas de peso mínimo estático.

**Material T**

Prácticamente desde el eje y hacia aguas abajo, este material es una transición entre el material 3B y el 3C. Será producto de voladuras de las excavaciones de las estructuras y/o del banco el vertedor, se colocará en capas de 100 cm, humedecido a razón de 200 l/m<sup>3</sup> de agua como mínimo, compactado con rodillo liso vibratorio de 12 toneladas de peso mínimo estático.

**Material 3 C**

Este material es el de mayor volumen en la zona de aguas abajo de la cortina. Se colocará mediante balconeo en capas de 140 cm y compactado con 6 pasadas de rodillo liso vibratorio de 12 toneladas de peso mínimo estático.

**Material 3 H**

Sobre el material 1B se colocará en capas de 40 cm de espesor y será bandeado con tractor.

**Material 4**

Este material será colocado como enrocamiento del talud aguas abajo, será colocado con tractor.



### Sellos de Cobre

Se colocará una junta perimetral entre el plinto y la losa de concreto. Esta junta comprende un sello con lámina de cobre laminada en caliente con la geometría que establece el proyecto y los materiales de acompañamiento como neopreno, banda de PVC y madera. En las juntas de tensión se colocará sello de cobre en la parte superior y en la inferior del peralte de la junta.

### Sellos de PVC

En las juntas de tensión se colocará un sello mediante banda de PVC, ya que las juntas de contracción consistirán básicamente en una discontinuidad del acero de refuerzo y del propio proceso de colado.

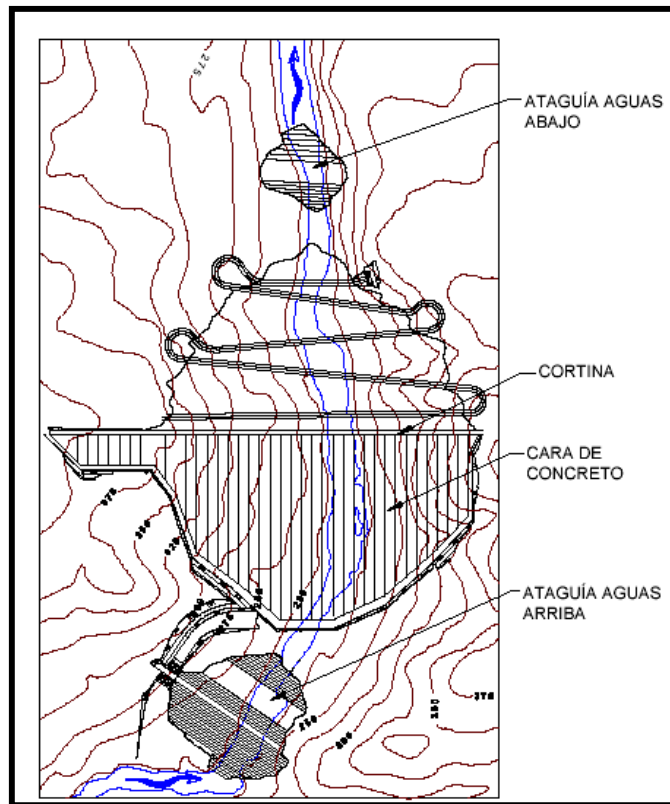
### Colocación de materiales en la cortina

Una vez extraídos y procesados los materiales de enrocamiento necesarios para la construcción de la cortina, se acarrean al sitio de su colocación, extendiéndose y compactándose en las capas, espesores y número de pasadas. En estas actividades se utilizan camiones fuera de carretera, camiones de volteo, cargadores, bandas transportadoras, tractores, motoconformadoras, compactadores y el equipo complementario necesario. El proceso de construcción de la cortina se observa en la figura II.14.



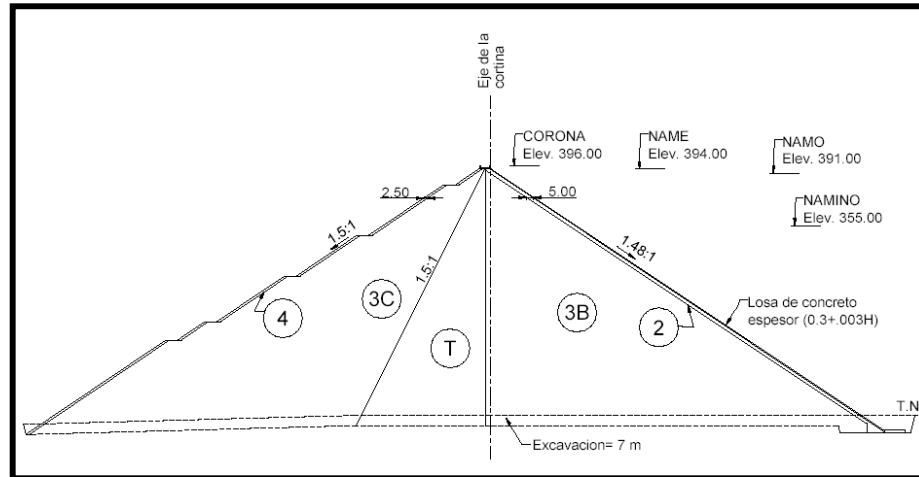
**Fig.II.14.-Formación de terraplenes en la cortina. Nótese el proceso de construcción de la cara de concreto de forma simultánea**

La corona de la cortina está diseñada a la elevación 394.5 m.s.n.m., con una longitud de corona de 640 m y una altura de 178 m. La figura II.15 muestra en planta la disposición de esta estructura.



**Fig.II.15.-Planta de la cortina de enrocamiento con cara de concreto. Nótese la disposición de las estructuras adyacentes**

La distribución de estos materiales se muestra en la figura II.16. Del banco "El Vertedor", además de obtener los materiales graduados, se extraen los agregados para la fabricación del concreto, previa trituración y clasificación según el tipo de material. Antes de colocar los materiales primeramente se limpia el cauce del río en esa zona. En la colocación se debe de observar lo que marca el proyecto en cuanto a las características de los materiales, tales como granulometría y contenido de finos. En la compactación se debe cumplir con el procedimiento especificado en lo referente al tipo de equipo de compactación, número de pasadas, secuencia de colocación de materiales en la frontera de ellos, desnivel máximo autorizado entre un material y el adyacente, taludes de colocación, taludes definitivos, y en general con la geometría indicada en el proyecto.



**Fig.II.16 Esquema Colocación de Materiales en la cortina**

El terraplén se construye en varias etapas con la finalidad de dar condiciones para el colado de la cara de concreto.

Dentro del proceso de conformación del cuerpo de la cortina, se colocará en el extremo de aguas arriba un bordo de concreto extrusado de 30 cm, de forma trapezoidal con el lado externo inclinado con la pendiente de la presa, presentando así una superficie de concreto a la losa deslizada. Este concreto tiene también la función de permitir la compactación de la esquina del material 2F y sirve para calzar el acero de refuerzo de la losa y hace las veces de base para la misma.

### **Construcción de la cara de concreto**

#### **Cara de concreto**

Es una estructura de concreto armado, de espesor variable, apoyada en el plinto y en la cortina, tiene un área aproximada de  $110\,000\text{ m}^2$  y un volumen de concreto de  $63\,030\text{ m}^3$ . Por su magnitud se cuela por etapas, en tramos de 15 m de ancho, la continuidad se logra por medio de juntas de construcción de cobre y PVC.

La figura II.17, también presenta el arreglo de esta estructura.

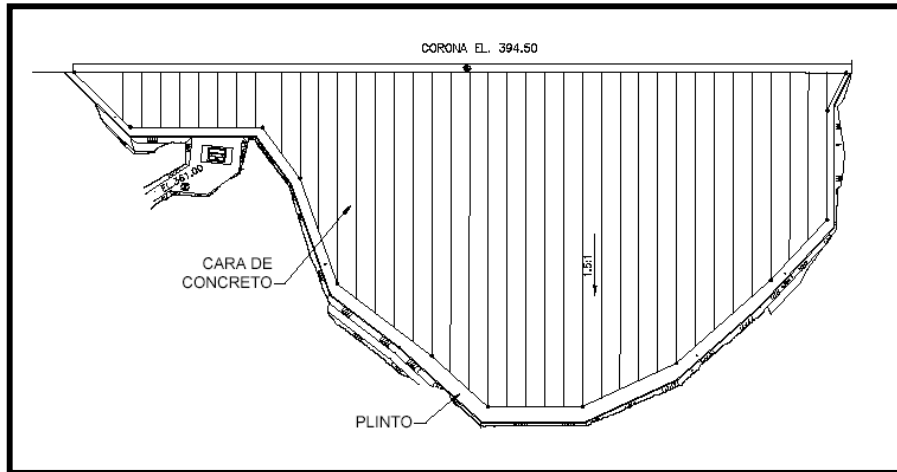


Fig.II.17.-Vista frontal del plinto y de la cara de concreto de la cortina

### Colocación de Cimbras

El colado de la cara de concreto se realiza utilizando una cimbra deslizante de madera forrada de lámina galvanizada de calibre 22, con estructura de rigidez (armadura) en secciones de 15 m de ancho que soporta los equipos de izaje, una bomba hidráulica, mangueras de alta presión y gatos hidráulicos. La velocidad de deslizamiento de la cimbra es del orden de 3 m por hora. Obsérvese en el esquema figura II.18.

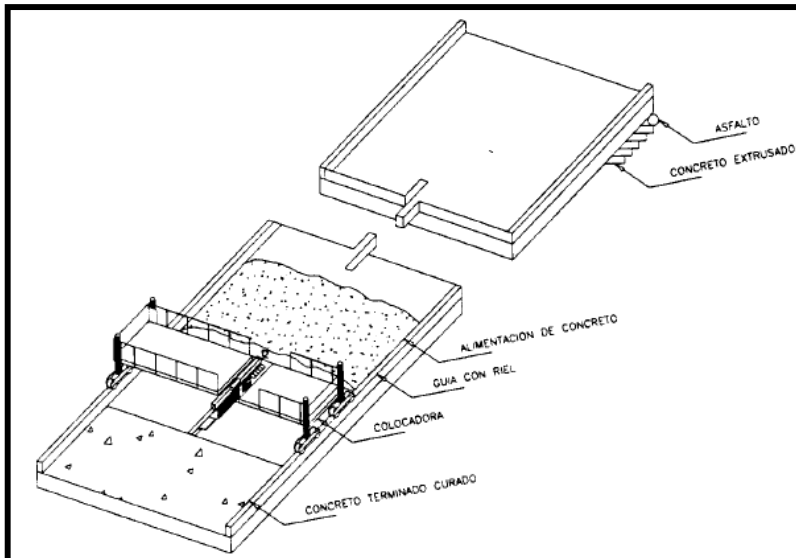


Fig.II.18.-Esquema de colocación de cimbras

Se fijarán referencias topográficas para establecer los ejes o puntos principales de la cimbra.





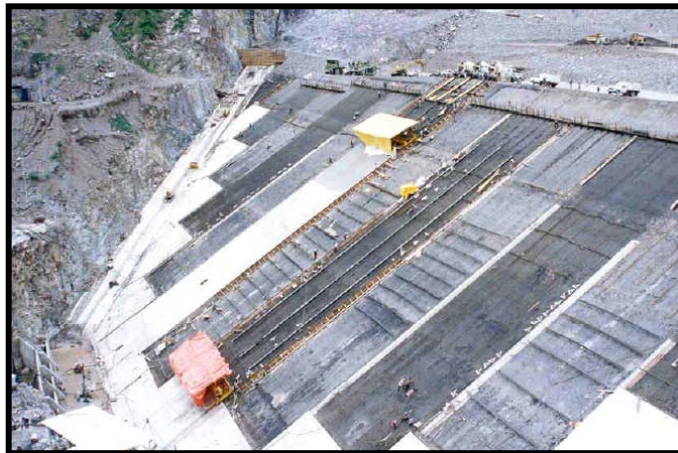
Se procede al armado de la cimbra iniciando con la colocación de cargadores de acuerdo a las dimensiones establecidas en el proyecto. Se colocarán franjas de largueros en todo el perímetro interior y de ser necesario, se colocarán tornillos de ensamble (cimbra-armadura).

Para la colocación del sistema hidráulico primeramente se pondrán los gatos hidráulicos previendo que no tengan algún desplazamiento, una vez colocados éstos se procede a la instalación de las mangueras de alta presión que forman una red para el suministro del aceite hidráulico proveniente de la bomba hidráulica. Las barras de trepa se ubican en los gatos de la cimbra.



**Fig.II.19.- Cimbra de madera**

Será necesario que se cuente con las varillas que servirán de guía, las cuales deberán estar libres para permitir el recorrido de la cimbra. Esta cimbra va montada sobre rieles y funciona utilizando los gatos hidráulicos y castañas, las cuales permiten el movimiento y sujetan la cimbra cuando se retraen dichos gatos. Las figuras II.20 y II.21 ilustran el proceso de construcción de esta estructura.



**Fig.II.20.- Proceso de construcción de la cara de concreto con uso de cimbras deslizantes, ollas revoledoras para el suministro del concreto y canalones para el llenado de la cimbra**

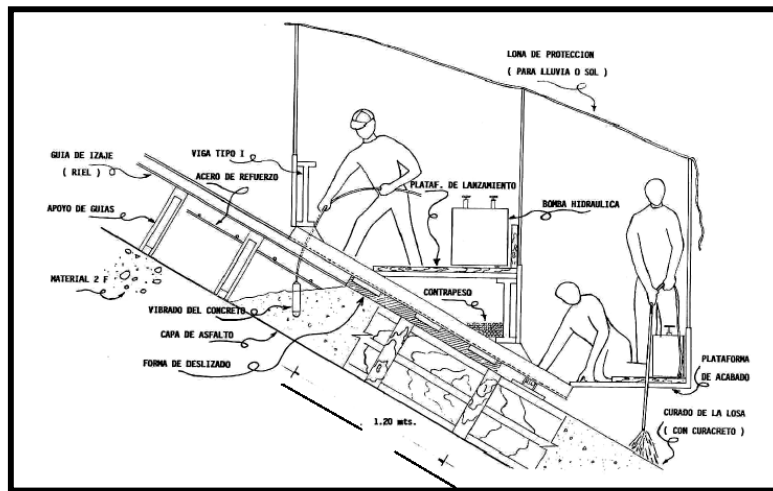


Fig.II.21.-Cimbra deslizante utilizada en la construcción de la cara de concreto

Conforme la cimbra se va colocando se procede a la ubicación de armaduras de rigidización las cuales tienen como función garantizar la geometría del elemento durante todo el deslizado. Se colocarán accesos, andamios o lo que sea necesario para que el personal pueda laborar en forma confiable en cualquier posición que tenga la cimbra.

### Colocacion del concreto en losas

Previo al inicio de un colado con cimbra deslizante, se verificará el adecuado funcionamiento del mecanismo de movilización de la cimbra. El vaciado de concreto se hará con canalones (igual que el proyecto de Aguamilpa). El concreto de la losa será de 21 MPa. El deslizado de la losa de concreto se hará en tres etapas acordes con el crecimiento de la cortina, es decir, una primera etapa a la elevación 296, la segunda etapa comprende hasta la elevación 388 y la final hasta el parapeto.

El procedimiento de construcción establece colar en un inicio las losas de arranque para posteriormente construir en colado continuo las franjas mediante cimbra deslizante alternándose entre ellas.



Fig.II.22.-Vaciado de concreto sobre canalones en el colado de la cortina



Se tendrán 34 franjas de 15 metros de ancho y el espesor variará de 78 cm en la parte inferior, hasta 30 cm al llegar al parapeto. Esto se logrará modificando la pendiente de la cara exterior de la losa, manteniendo la inclinación de la cara inferior.



**Fig.II.23.-Cara de concreto de la cortina**

El acabado se preparará del mismo modo como se indicó para el caso del plinto. En todo el proceso se mantendrán dos frentes de trabajo, en cada uno se usará un juego de cimbra y se tendrá un tercer juego de respaldo.

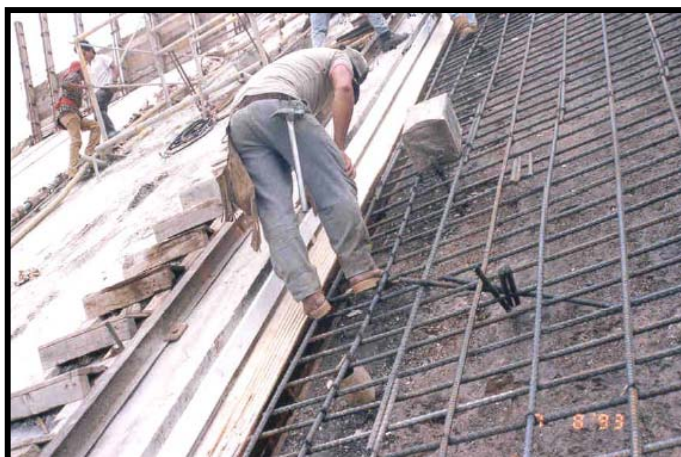
Por la modulación de la cara de concreto, tanto en ancho como en elevaciones, se forma una retícula de juntas de construcción; éstas constituyen un aspecto importante en este tipo de presas, ya que garantizan la impermeabilidad de la cara de concreto.

Dichas juntas se describen a continuación:

**Junta perimetral tipo 1.-** Se localiza entre el plinto y la cara de concreto en figura II.24. El diseño de la junta es el resultado del análisis del comportamiento de estructuras similares y de ensayos efectuados en laboratorio, la componen: un sello de cobre, una banda de PVC, un sello PVC y un material fino que puede ser ceniza volante (producto de la combustión de carbón).

**Juntas verticales.-** Se localizan en cada una de las losas de 15 m de ancho. Las juntas tipo 2 y 3 son las centrales o de compresión (figura II.25), localizadas en la parte media de la losa, con un sello de cobre inferior. La junta tipo 4 se denomina lateral o de tensión (figura II.26), se localiza próxima a los estribos, con un sello de cobre y PVC con ceniza volante.

La junta tipo 5 o de transición se localiza entre las laterales y las centrales, contiene un sello de cobre y ceniza volante. La junta tipo 6 es para absorber las dilataciones térmicas de la cara de concreto durante el período previo al llenado del embalse y tiene una pequeña separación rellena con madera entre las losas. Las juntas tipo 7 y 10 se denominan horizontales o de conexión (figura II.27).



**Fig.II.24 .-Junta perimetral tipo 1 entre el plinto y la cara de concreto, constituida por madera de encino y roble, y banda de PVC de 0.30 m**



**Fig.II.25.- Junta vertical tipo 3 central en la cara de concreto de la cortina. Nótese la plantilla para el asiento de los sellos de cobre y PVC**



**Fig.II.26.-Junta vertical tipo 4 lateral de la cara de concreto de la cortina. Nótase la protección con PVC moldeados al sello de cobre para proteger la junta durante el tráfico de armados y cimbrado de la losa adyacente**



**Fig.II.27.-Junta tipo 10 en la cara de concreto. Se aprecia el dispositivo de unión del cobre y PVC**

El equipo que se emplea para la construcción de la cara de concreto es el siguiente: planta de concreto, ollas revolvedoras, motobombas de concreto, cimbra deslizante y equipo complementario, como vibradores, canalones, máquinas soldadoras, equipo de oxicorte, y otros.

### **Construcción Parapeto**

Al término de la construcción de la losa de concreto se procederá a la construcción del parapeto y de la losa del talud aguas abajo de la presa. Estos elementos se prepararán con



cimbra convencional para la colocación del concreto en esa etapa final de la conformación de la cortina.

En la figura II.28 se presenta el esquema tipo de la sección del parapeto.

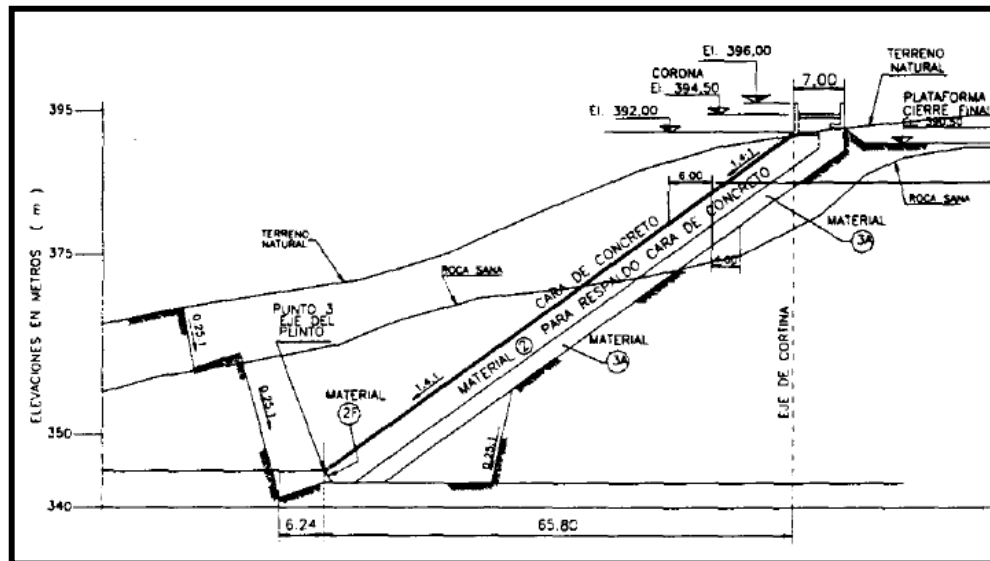


Fig.II.28.- Esquema Sección 3 Unión de Parapeto con cara de concreto A-A

En el propio parapeto se colocarán los tubos tipo armco para conformar los accesos y resguardos de los brocales de los inclinómetros y estaciones de instrumentación.

## II.6.- Instrumentación

Se colocarán en la etapa de desplante los piezómetros ubicados en la zona próxima al plinto en el cauce. En las juntas de las losas que conectan el plinto con la pared moldeada se colocarán extensómetros tridireccionales y bidireccionales localizados principalmente en las zonas de transición de apoyo del plinto en roca y en aluvión.

La medición de los movimientos de estas juntas será de abertura-cierre y de asentamiento-bufamiento y en el caso de junta entre el plinto y la primera losa que se localizará dentro de cauce saliendo de la ladera se instalará un grupo de extensómetros en arreglo tridimensional.

Se habilitarán tres secciones correspondientes a las losas 14, 19 y 24, instalando celdas hidráulicas de asentamiento, piezómetros eléctricos e inclinómetros, estos últimos únicamente en las secciones localizadas en el cauce del río.

Además, se habilitarán dos líneas de referencias topográficas a lo largo de la corona, y sobre el talud de aguas abajo en las tres secciones transversales establecidas. Para el control topográfico de estas referencias se construirán bases de centraje forzoso en las laderas que dominarán todas las referencias instaladas sobre el terraplén.

También se instalarán piezómetros abiertos en ambas laderas aguas abajo del plano de estanqueidad y un par de dispositivos de aforo en las galerías de drenaje.



Finalmente, se propone instalar acelerógrafos, indispensables para conocer la respuesta dinámica de la cortina. Al respecto de la estabilidad de taludes, se colocarán en éstos extensómetros de barra, con registro para 3, 9 y 18 m de profundidad. La cantidad estará determinada en función de la definición específica que establezcan los responsables del proyecto. En principio se anticipa que serán 18 extensómetros entre los taludes del desvío y los de la obra de contención.

## II.7.- Control de Filtraciones

Las filtraciones bajo la ataguía aguas arriba estarán controladas mediante un sistema de bombeo con capacidad de 1 m<sup>3</sup>/s y se dejará en la elevación 242 de la ataguía un tubo para expulsar las filtraciones hacia el cauce. En el propio cárcamo de bombeo que se habilite al pie de la ataguía, se dispondrá una toma para aprovechamiento de dicha agua que por ser filtrada tendrá características favorables para su uso en riego, lavado y diversos usos.

Las bombas descargarán a través de mangueras hacia aguas arriba en tanto no se haya instalado un tubo metálico por el cual se expulsarán las filtraciones a través de la ataguía hacia aguas arriba. Una vez colocado el tubo se conectarán las mangueras al tubo por medio de válvulas y conexiones rápidas para su ágil acoplamiento.

Las filtraciones que se presenten desde el recinto serán canalizadas oportunamente ya sea hacia aguas arriba o hacia aguas abajo en función de la ubicación de su afloramiento. En la ataguía aguas abajo también se colocará un cárcamo de bombeo para expulsar del recinto a las filtraciones que se acumulen en dicha zona. Se considera que una capacidad de bombeo de 200 litros por segundo en esta ataguía sea suficiente

## Galerías para inyección y drenaje

Las galerías serán de sección tipo portal o baúl, de 3.20 m de ancho de excavación, alojadas en las dos márgenes sobre el eje de la cortina para un total de 6 ubicadas en las elevaciones que se indican en la siguiente tabla.

**Tabla II.4.-Ubicación de Galerías para inyección y drenaje**

MARGEN	GALERÍA	ELEVACIÓN msnm
Izquierda	GI-1	355,00
Izquierda	GI-2	295,00
Izquierda	GI-3	225,00
Derecha	GD-1	365,00
Derecha	GD-2	310,00
Derecha	GD-3	260,00



## Excavación de las Galerías

Antes de iniciar la excavación de cada galería será necesario colocar un sistema de anclas en todo el perímetro de la galería con lo cual se evitarán desprendimientos de roca cuando se esté "emboquillando". Las longitudes de avance serán de acuerdo a las condiciones que presente la roca.

En la siguiente figura se presenta una sección transversal con la ubicación de las galerías

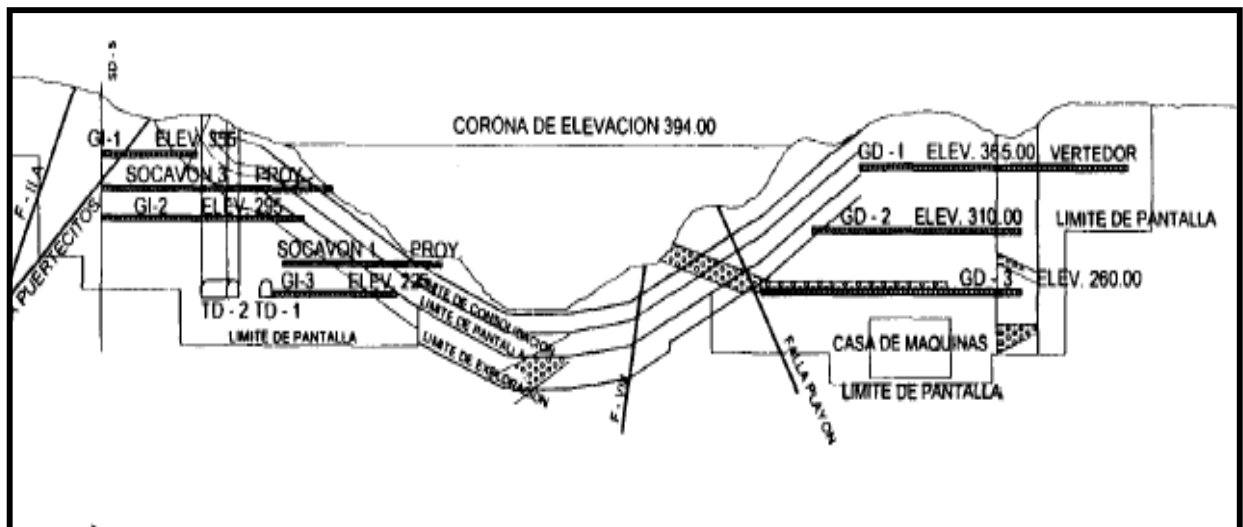


Fig.II.29.-Ubicación de las galerías en el proyecto

Para la perforación del frente y para la colocación de anclas se utilizarán perforadoras de pierna las cuales se alimentarán con aire comprimido el cual se suministrará al frente por medio de una tubería y un repartidor donde se conectarán las perforadoras. Se utilizará equipo acorde a las dimensiones.

Para retirar el material producto de las voladuras se utilizará un cargador de bajo perfil el cual sacará el material producto de la voladura hasta el exterior donde se cargará a camiones volteo los cuales llevarán el material a la cortina o bancos de almacenamiento designados para este fin.

Conforme se avance en la excavación se colocará el sistema de soporte requerido, ya sea concreto lanzado o anclaje. El concreto lanzado se colocará por medio de una lanzadora con sistema de vía húmeda. En el caso de que se presentara algún caído, se hará el retiro del material y se preparará una cimbra para realizar un colado de restitución.





---

---

### **Revestimiento de la Galerías**

Terminadas las excavaciones se procederá a colocar el concreto de revestimiento en las zonas indicadas en los planos de proyecto.

En los sitios indicados por el proyecto, se colocará una losa de concreto como plantilla espesor que sea establecido en el diseño de detalle.

En el caso de que el proyecto establezca revestimiento mediante concreto hidráulico, se procederá en forma similar a lo indicado para el revestimiento del túnel de desvío con las adecuaciones pertinentes por cuestión de espacio.

### **Tratamientos de Inyección**

Se tiene considerado ejecutar tres tipos de inyecciones desde las galerías. Las de tratamiento de fallas, de la pantalla impermeable, las de consolidación y enlace o conexión con la pantalla. Los barrenos para inyecciones de tratamientos de fallas serán hasta de 40 m de longitud en roca conforme a las condiciones específicas de cada falla encontrada. Los barrenos para la pantalla impermeable serán de 75 m de longitud máxima.

Finalmente, los barrenos para consolidación y conexión con la pantalla impermeable serán de 15 m de longitud.

La inyección en estos barrenos será con el método GIN y también se harán pruebas de permeabilidad del tipo Lugeon conforme sea establecido con la CFE.

### **Perforación Drenajes**

En las mismas galerías se perforarán drenes de 75 m de longitud que servirán como drenes. Serán de 76.2 mm de diámetro en los primeros 40 m y el resto de 57.15 mm.

### **Losa de la cara aguas abajo**

Conforme a lo indicado en los planos de proyecto, se construirá sobre el talud aguas abajo una losa de concreto para confinar la parte cercana al parapeto. Esta losa se hará con cimbra deslizante también.



### III.- OBRAS CIVILES

#### III.1.- OBRAS DE DESVIO

##### III.1.1.- Descripción General

Las Obras de Desvío tienen por objeto dejar en seco el sitio de una cortina y las obras auxiliares durante el periodo de construcción, para lo cual es necesario desviar temporalmente el escurrimiento del río.<sup>2</sup>

Para El PH “El Cajón”, las obras de desvío consisten en la construcción de dos túneles excavados en roca en la margen izquierda del río. La longitud aproximada de ambos túneles será de 1,569 m, con una sección portal de 14 m de ancho y 14 m de alto. Se han diseñado con una capacidad para descargar un caudal de agua de 5,104 m<sup>3</sup> /s, cuando exista una avenida de 5 400 m<sup>3</sup>/s, avenida del río que corresponde a un periodo de retorno de 35 años.



Fig.III.1.-Obra de Desvío El Cajón a Noviembre 2004

Las obras de desvío se complementan con dos ataguías, que se deben diseñar y construir con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas ataguías (una a cada lado de la cortina) debe estar ligado a una pantalla impermeable construida a través del aluvión, hasta la roca sana del fondo del cauce del río para evitar filtraciones hacia la zona de construcción de la cortina. Se debe garantizar la correcta construcción del núcleo impermeable y la pantalla impermeable, para tener las condiciones necesarias para el desplante de la cortina. Dichas condiciones consisten básicamente en tener seca la zona de desplante de la cortina, por lo que se deben construir las ataguías antes del período de lluvias para poder iniciar la construcción de la cortina y los tratamientos de la roca en su desplante.

<sup>2</sup> Obras Hidráulicas, Francisco Torres Herrera, Edit. LIMUSA



### III.1.2.- Túneles de desvío

#### III.1.2.1.- Excavaciones y/o cortes

Los túneles de desvío, son dos túneles subterráneos en un macizo rocoso, por lo cual el método de excavación usado es a base de explosivos.

De acuerdo con el programa general de construcción, los túneles de desvío deben excavarse en 19 meses, lo que implica efectuar su excavación a través de 9 frentes de manera simultánea, tal como se muestra en la figura III.2. El procedimiento de ataque es el siguiente: cuatro frentes por sus extremos; dos por la entrada y dos por la salida, un túnel crucero interceptando de manera diagonal a los dos túneles y desprendiéndose de esta intersección los restantes frentes; dos atacando en dirección de la entrada y dos hacia la salida de dichos túneles.

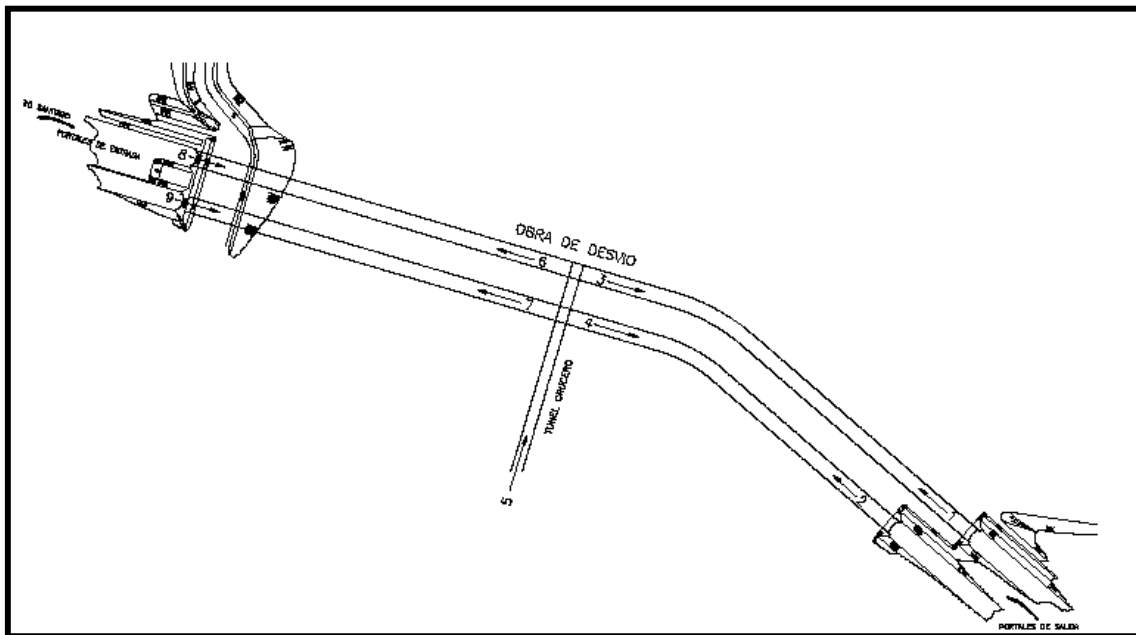


Fig.III.2.-Frentes de ataque para la excavación de los túneles de desvío

La barrenación para excavación se realiza con jumbos electrohidráulicos de tres perforadoras, distribuidos de la siguiente manera: dos atacando por los dos frentes de acceso, tres distribuidos en el túnel crucero y ramificaciones de éste hacia los extremos (entrada y salida), y dos jumbos atacando por la salida de los túneles. La figura III.3 muestra la intersección de uno de los túneles de desvío con el túnel crucero.

Debido a las condiciones de fracturamiento de la roca del macizo rocoso y a la dimensión de los túneles, estos se excavan en tres etapas:



- 1) Excavación de una sección piloto de la bóveda por la mitad izquierda o derecha de cada uno de los túneles.
- 2) Excavación de la sección ampliación de dicha bóveda (estas dos secciones se ejecutan de manera alternada con un desfase entre una etapa y otra de 30-35 m).
- 3) Excavación de banqueo.



**Fig.III.3.-Media sección superior del túnel de desvío y bifurcación hacia el túnel crucero**

En las voladuras efectuadas se utiliza el sistema de postcorte, realizando las perforaciones de 48 mm de diámetro con una profundidad de 3 m, y limitando la carga de explosivos a 15 kg, detonados en un sólo tiempo. Los explosivos a emplear son ANFO e hidrogel.

Una vez concluida la excavación de la bóveda, se ejecuta la excavación del banqueo, simultáneamente con las últimas actividades de los tratamientos de la roca de la bóveda. La barrenación de los frentes de excavación es horizontal en su totalidad. El sistema de postcorte es obligatorio tanto en la clave de la bóveda como en las paredes del túnel.

### **III.I.2.2.- Tunel 1**

De acuerdo a lo indicado, los portales de los túneles estarán excavados hasta la elevación 235.50 y así se iniciará inmediatamente la excavación de la media sección superior de los túneles. En el exterior de cada portal se colocarán las instalaciones provisionales de servicio.



En el portal de entrada, el túnel 1 tiene la cota de su piso 4 m abajo del túnel 2, además de que será concluido antes que el segundo túnel, por lo que el desvío del Río Santiago se hará inicialmente por el túnel 1 y posteriormente operarán ambos túneles.

La excavación del túnel se hará con dos frentes de trabajo, uno en cada portal.

Se presentará en su momento un planteamiento para la apertura de dos frentes más por medio de una ventana de acceso intermedia o túnel crucero. En este caso, se deberá hacer un levantamiento topográfico y geológico de detalle para la ubicación del túnel.

Los equipos de apoyo como son los compresores, la subestación eléctrica, el suministro de agua, oficinas y taller de soldadura, se instalarán en el exterior de cada portal, en un sitio estratégico que no interfiera en todo el período de construcción. Desde estas instalaciones se alimentará y apoyará a cada uno de los frentes de trabajo y se habilitarán las instalaciones del sistema de ventilación, iluminación, sistema de bombeo, telecomunicación y cualquier otro que sea requerido, dejando el paso para los vehículos hacia la ataguía en el caso del portal aguas arriba.

El proceso de excavación consiste en trazo topográfico, barrenación, carga de explosivo, voladura, ventilación, amacice, inspección geotécnica, rezaga y tratamientos a la roca.

El equipo por emplear en estos trabajos incluye jumbos de barrenación de 3 brazos, como el que se ve en la figura III.4, perforadoras hidráulicas o track drill, compresores, cargadores de tipo frontal, camiones de volteo fuera de carretera, bombas para inyección Hanny, Grúa Lift, perforadoras de pierna, planta de soldar y equipo menor de apoyo.



**Fig.III.4.-Jumbo de barrenación de 3 brazos**

La excavación se iniciará con la sección media superior y 250 metros atrás se llevará la excavación de la sección media inferior, dejando una rampa de acceso a la sección superior la cual se moverá conforme se vaya avanzando.

En la bóveda se hará barrenación horizontal y en el banqueo se hará explotación con barrenación vertical. El perfilamiento de la sección se favorecerá por medio de técnicas de precorte o post-corte y mediante el uso adecuado de retardadores para minimizar el daño a la roca circundante.

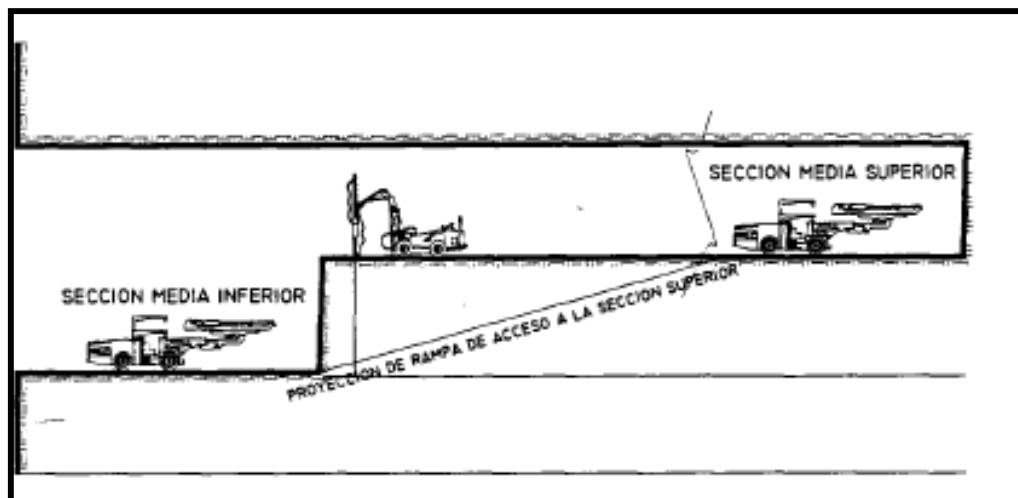


Las longitudes de avance en la excavación serán de acuerdo a la calidad de la roca. En principio se ha tomado en cuenta lo indicado en los planos geológicos, determinando avances por ciclo que variarán de 1.00 a 3.20 metros de longitud en la media sección superior.

La geología en ambos túneles es prácticamente similar. En el túnel 1 la roca desde el portal de entrada está considerada como de regular a mala calidad en cerca de 150 m que corresponden a la unidad TicU2 que tiene inmerso un manto de aglomerado. Continuando en el sentido del flujo, la roca es considerada como de regular a buena calidad en el resto del túnel, que pasará por una transición entre las unidades TicU2 y TicU3 a lo largo de cerca de 140 m, luego volverá a estar comprendido en la unidad TicU2 en 160 m y finalmente hasta el portal de salida será excavado en la unidad TicU3.

Cuando la excavación llegue a la zona de cierre final se hará la excavación de acuerdo a lo indicado en los planos autorizados para construcción y se dejará la sección lista para recibir el concreto cuando se realice la actividad del cierre definitivo.

Si la calidad de la roca no permite excavar la media sección superior completa, ésta se dividirá en dos etapas, llevando un desfaseamiento entre ellas de 20 metros tomando en cuenta las condiciones del terreno.



**Fig.III.5.-Esquema de Excavación Túneles de Desvío**

Conforme se vaya avanzando en la excavación, a una cierta distancia del frente se instalarán a lo largo de los túneles las líneas de aire comprimido, bombeo, ventilación, energía eléctrica e iluminación y agua.

Si se presentara algún caído se hará la remoción del material y se procederá a la restitución mediante concreto.

Durante la excavación de este túnel se hará la bifurcación para la excavación de una galería.



### **Soporte Temporal**

Se hará la marcación topográfica de la ubicación precisa en la cual se colocará el soporte. En los sitios donde sea indicado por el proyecto, se colocarán anclas de 25.4 o 38.1 mm de diámetro de 3 a 9 m de longitud. Se hará la perforación de los barrenos mediante perforadoras de piso. El relleno del barreno se hará mediante mortero de  $f_c = 17.66$  MPa ( $180 \text{ kg/cm}^2$ ). El concreto lanzado, se colocará después de cada voladura con el espesor indicado en el proyecto en el contorno de las excavaciones, su resistencia será de  $f_c = 19.62$  MPa ( $200 \text{ kg/cm}^2$ ) e incluirá fibras. El concreto se elaborará en planta y será transportado al sitio en camiones revolvedora, será aplicado por vía húmeda, con equipo automatizado y se contará con muestras para verificación de espesores.

Los marcos metálicos se habilitarán en módulos en el exterior y se colocarán en zonas donde la roca sea de muy mala calidad, para ello se colocará una primera capa de concreto lanzado de 3 centímetros de espesor en toda la zona excavada y a continuación se colocará cada marco con grúa y se fijará con anclas de 38.1 mm de diámetro, de 6.00 m de longitud y se entibará con madera, tal y como se observa en la figura III.6.



**Fig.III.6.- Vista de túnel con marcos metálicos de soporte**

La perforación de drenes se llevará a cabo fuera del ciclo de excavación. Se utilizará el jumbo electrohidráulico de tres brazos o el Hidrotrack COMANDO 300, el diámetro y longitud de cada una de las perforaciones serán indicados en los planos de construcción.

En todos los tratamientos se aplicarán el muestreo y pruebas conforme al Plan de Inspección y Pruebas.

### **Revestimiento**

Con el objeto de no provocar interferencias y por cuestiones de seguridad, el grupo de trabajo de concreto inicia sus labores toda vez que la excavación haya concluido.

Previo a todo colado se hará la limpieza de la roca, concreto lanzado o la cimbra si fuera el caso. Se colocará el acero de refuerzo conforme a los planos del proyecto.

Donde el proyecto lo indique, se deberán colocar las partes fijas que serán embebidas por el colado.

Se procederá a cimbrar con elementos y refuerzos ordinarios o especiales si la geometría del elemento estructural así lo requiere y se verificará el alineamiento y la nivelación de la cimbra. La cimbra será del tipo convencional para el piso y del tipo autocolapsable para los muros. Ésta consiste en un sistema soportado mediante gatos que permiten hacer el descimbrado mediante la retracción de los gatos como se aprecia en la figura III.7.

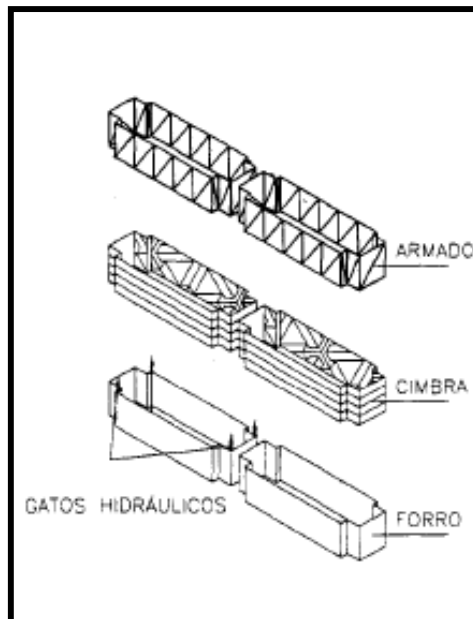
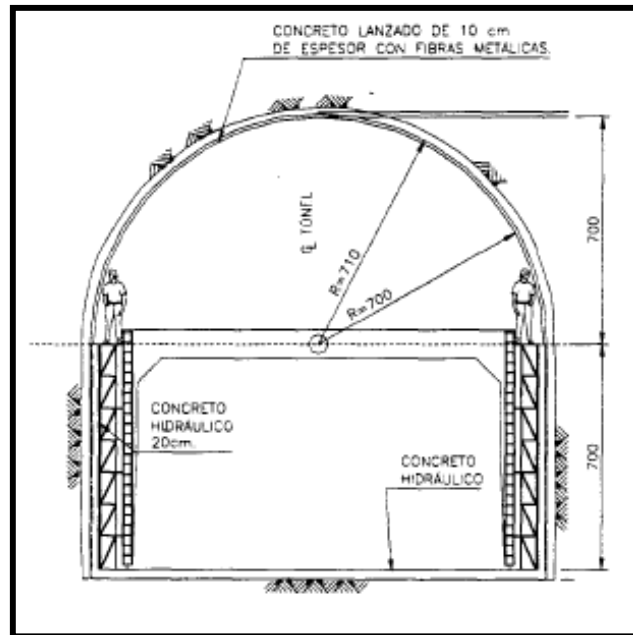


Fig.III.7.-Esquema de Secuencia de Armado de la Cimbra

La cimbra será integrada de manera que servirá para colar en forma simultánea tanto la bóveda como ambos muros. Para posicionar la cimbra en el sitio del siguiente colado, será movilizada mediante un motor y correrá la cimbra retraída a lo largo de los rieles instalados en el túnel. En el sitio indicado se accionarán los gatos y se fijará la cimbra en su lugar correspondiente. Esta cimbra contará con ventanas para la colocación y el vibrado del concreto, ésta se esquematiza en la figura III.8.

El espesor de la losa será de 30 cm y los muros de 20 cm sólo revestidos en el tramo de la pared vertical en la sección transversal, excepto en la cercanía de los portales en que se colocará revestimiento perimetral.





**Fig.III.8.-Esquema Cimbra Túnel Portal**

Todos los concretos recién colados deberán de curarse y protegerse contra secado rápido y contra cambios violentos de temperatura, mediante la aplicación de un riego u otro método si el caso lo requiriera, cuando esté dentro del periodo establecido por las especificaciones.

En función del tipo de mezcla y de las condiciones específicas de cada colado, se deberá acotar junto con el Laboratorio de Control de Calidad el tiempo para proceder a retirar la cimbra.

En los sitios donde sea requerido o indicado por el proyecto, se habilitarán juntas de contracción mediante un aserrado en corte continuo.

En el caso de suspensión de los trabajos de un colado por más de 90 minutos, se deberá aplicar un corte en el concreto anterior con chorro de agua o aire.

Luego de haber descimbrado, todas las combaduras y pequeñas salientes se pueden retirar cinceland o labrando. Los pernos, clavos, amarres u otros metales insertados no deseados pueden retirarse. Los agujeros, defectos y capas superpuestas deben cincelarse y rellenarse con un mortero empacado en seco (dry pack).

Si el proyecto considerara concreto hidráulico en la zona de marcos se colocará conforme se vaya avanzando en la excavación del frente sin interferir en el ciclo de excavación. Para cimbrar las zonas a colar, se aprovecharán los marcos, además se utilizarán tablonces de madera de 5 x 20 x 240 cm, los cuales se colocarán de una manera que se puedan retirar fácilmente una vez fraguado el concreto y así se reutilizará en el próximo vaciado.



**Fig.III.9.-Excavación Túnel de desvío. Nótese el concreto hidráulico aplicado**

Con el objeto de no afectar el programa del revestimiento del túnel con los colados requeridos en las galerías, los de éstas se harán en forma independiente respecto a los del túnel de desvío.



**Fig.III.10.-Túnel 1 Obra de Desvío terminado**

### **III.1.2.3.- Túnel 2**

Lo descrito para el túnel 1 aplica para el túnel 2 en cuanto a la excavación, el soporte temporal y el revestimiento, así como lo referente a la lumbrera del obturador, excavación, soporte y revestimiento, con la salvedad de que el túnel 2 comprende un tramo desde el portal de entrada hasta la estación 0+340.842 con revestimiento de espesor de 50 cm en toda la sección transversal.

### Excavación Lumbreira Obturador

Simultáneamente a la excavación de los túneles se realizarán los trabajos de construcción de las lumbreras de obturadores, desde una plataforma en la elevación 268.50 que deberá estar conformada previamente al inicio del proyecto. Las lumbreras serán de 27 y 35 metros en el túnel 1 y 2, respectivamente. En la plataforma se construirán y colocarán las instalaciones de apoyo para la construcción de éstas.

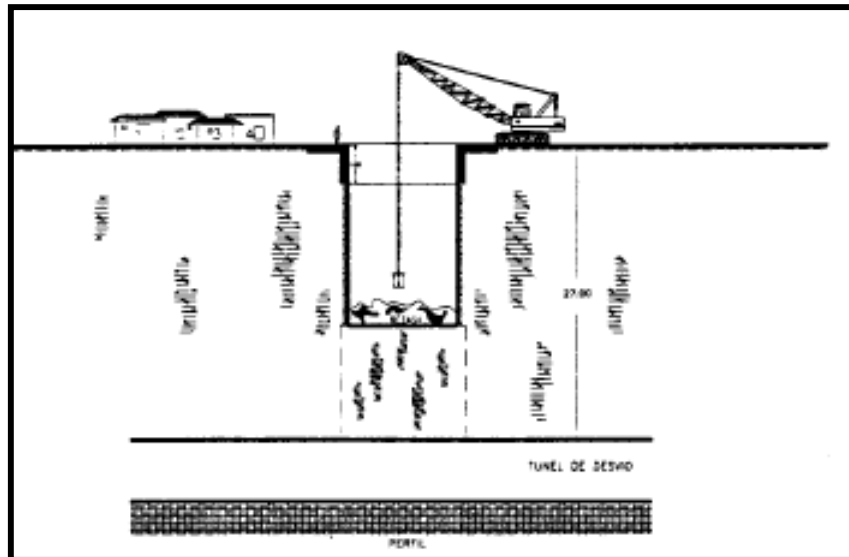


Fig.III.11.-Esquema Excavación Lumbreira Obturador

La sección transversal de la lumbreira del túnel 1 será de 15.00 x 3.03 m y la del túnel 2 será de 16.83 x 3.46 m, serán excavadas utilizando el método barrenación-voladura.

Se hará un brocal, para excavar un primer tramo de 1.50 m, en toda la sección de la lumbreira donde se colará un muro de protección de 50 cm de espesor, el cual servirá para evitar desprendimientos del borde de la lumbreira hacia el interior de la excavación.

En general el ciclo de excavación de la lumbreira es similar a lo descrito en el caso de los túneles de desvío, adecuando otros equipos de acuerdo a las condiciones específicas

Para la excavación de las lumbreras se utilizará una grúa sobre orugas Link Belt, perforadora hidráulica o track drill, compresor, cargador frontal, camiones volteo fuera de carretera, lanzadora de concreto, bomba para inyección Hanny, perforadora de pierna y retrocargador CAT 416.



#### III.1.2.4.- Soporte Temporal de la Lumbra

El soporte temporal comprende concreto lanzado, anclaje y drenes y en general serán colocados de igual manera a lo descrito en el caso del túnel de desvío, con la salvedad de que el equipo es seleccionado para operar en las dimensiones disponibles.



Fig.III.12.-Soporte temporal en la Lumbra

#### Revestimiento de la Lumbra

Se preparará el acero de refuerzo en patios o en la plataforma de trabajo a efecto de que en el interior de la lumbra se minimicen los trabajos pues el espacio es restringido y sea colocado con una grúa hidráulica.

De igual manera, se ubicarán en su posición las partes fijas previamente al colado.

Para el revestimiento definitivo se colocará siguiendo las actividades comunes que se describieron en lo referente al túnel de desvío, con la particularidad de que la cimbra será del tipo deslizante, las cuales se modularán en tramos de 1.20 metros de alto para ser movilizadas a razón de 30 cm por hora empujadas por gatos hidráulicos que se apoyarán en el mismo concreto que va fraguando.

El concreto será elaborado conforme a la mezcla establecida por el Laboratorio de Control de Calidad y será suministrado desde la plataforma de compuertas mediante una bomba estacionaria con codos de reducción de velocidad o con bachas movilizadas por medio de una grúa.

#### Excavación de la Lumbra de Cierre Final

Los trabajos en la lumbra de cierre final iniciarán con la excavación para conformar la plataforma de acceso en la elevación 361. Los taludes serán tratados en general mediante concreto lanzado con malla electrosoldada.

La lumbra se alojará sobre el trazo del túnel 2 y tendrá un desarrollo de cerca de 115 m para alcanzar la clave del túnel.



La sección transversal de la lumbrera será de geometría compuesta por un polígono de cinco lados.

La excavación de la lumbrera se hará en dos etapas; en la primera se utilizará una contrapocera con la cual se excavará a un diámetro de 2.40 metros, para lo cual los trabajos de excavación de la media sección superior en el túnel No. 2 deberán estar terminados, ya que por ahí se colocará la rima con la que se excavará en esta primera etapa.

El material producto de su excavación será llevado a los bancos de acopio o desperdicio. El equipo para la construcción de la lumbrera es el mismo indicado para las lumbreras de obturadores. En superficie se contará con el suministro suficiente de energía eléctrica, así como con el depósito de agua que abastecerá la contrapocera durante la excavación.

El material producto de la excavación caerá directamente dentro del túnel por lo que se hará una protección dentro de él para evitar la derrama sin control.

La segunda etapa de excavación será para ampliar la lumbrera a su sección definitiva para esto se utilizará el método barrenación-- voladura, desbordando el material producto de cada una de las voladuras por el barreno hecho con la contrapocera.

Al haber ampliado a la sección definitiva en la parte superior, se colará un brocal, de 1.50 m de altura y 50 cm de espesor, en toda la sección de la-lumbrera, para evitar desprendimientos del borde de la lumbrera hacia el interior de la excavación.

### **Soporte Temporal de la Lumbrera de Cierre Final**

El soporte temporal, comprende concreto lanzado de 10 cm de espesor, anclas de fricción de 3.81 cm de diámetro, de 3 y 4.5 m de longitud, drenes cortos de 20 cm de longitud en roca, drenes largos de 3 y 4 m de longitud.

La metodología de colocación del soporte es como se ha descrito para el túnel de desvío, con la salvedad de que el equipo es seleccionado para operar en las dimensiones disponibles.

### **Revestimiento de la Lumbrera de Cierre Final**

Concluida la excavación se procederá a revestir la lumbrera con concreto hidráulico mediante el sistema de cimbra deslizante.

Si existieran caídos, se hará restitución mediante concreto previamente, para que en el proceso de deslizado el colado sea lo más uniforme posible en cuanto a la velocidad de avance en el deslizado. El proceso de avance del colado es el indicado para la lumbrera del obturador.

Al término del colado, se harán inyecciones de consolidación con la longitud indicada en el proyecto, se hará el contacto roca-concreto y también se consideran inyecciones de liga con la pantalla impermeable.



Finalmente, se perforarán drenes para integrar una pantalla de drenaje conforme a lo previsto en el proyecto.

En la lumbrera estará alojado un tubo para aireación, de 120 cm de diámetro y adicionalmente un tubo inmerso en el revestimiento en toda la longitud de la lumbrera, de 30.48 cm (12") de diámetro.



**Fig.III.13.-Lumbrera cierre Final**

### **III.1.3.- Ataguías**

Como parte de las obras de desvío se construyen las ataguías aguas arriba y aguas abajo. Son terraplenes formados con materiales graduados con un corazón o núcleo impermeable según se aprecia en la figura III.14. La ataguía de aguas abajo se conforma, además, de una pantalla flexoimpermeable de 60 cm de ancho para ligar dicho núcleo con la roca bajo el material permeable existente en el lecho del río. La construcción de ambas ataguías permite el encauzamiento del río por los túneles de desvío; el espacio entre ambas estructuras queda aislado, permitiendo la construcción de la cortina.



**Fig.III.14 Ataguía de aguas arriba en proceso de construcción, formada con materiales graduados y corazón impermeable de arcilla**

Previamente a la colocación de los materiales, se efectúa la limpieza de las laderas retirando la vegetación y el material suelto hasta encontrar la roca sana, que sirve de apoyo para el confinamiento de los materiales. En el cauce del río sólo se retira una capa de



material superficial, ya que el manto aluvial existente sirve para el desplante de los materiales que conforman el cuerpo de las ataguías. Paralelamente a estas actividades se construyen los caminos de acceso a las diferentes elevaciones hasta el coronamiento, partiendo de un camino principal.

Con suficiente anticipación a la colocación de los materiales, se cuenta con ciertos volúmenes de los distintos materiales almacenados y tratados; quiere decir que para esto ya fueron acondicionados los bancos de préstamo y que están en condiciones de producción continua. En la figura III.15 muestra el inicio de la colocación de los materiales de acuerdo a la zonificación marcada en el proyecto, controladas y verificadas mediante trazos topográficos.



**Fig.III.15.- Colocación de material para ataguía**

Los materiales son cargados y transportados de los almacenes o bancos de préstamos mediante equipo de carga y acarreo hasta el sitio de colocación en las ataguías, son extendidos y compactados de acuerdo con los espesores de capa y pesos volumétricos especificados, mediante el uso de maquinaria pesada, tal como tractores, motoconformadoras, compactador de rodillo liso vibratorio y otros para su correcta colocación, evitando que en el proceso de construcción existan desniveles considerables entre los materiales, ya que esto dificulta los accesos al coronamiento de las estructuras. Como se muestra en las figura III.16 y III.17.



**Fig.III.16.- Distribución y compactación de material en ataguía aguas arriba**

Para algunos materiales en particular (arcilla y filtros) se efectúa un tratamiento especial a base de concreto dental en la cimentación de estos materiales en zonas donde existen irregularidades, taludes invertidos o cambios bruscos en la topografía del terreno natural, con la finalidad de regularizar las superficies para que los materiales sean colocados y compactados uniformemente.

Para la construcción de la ataguía de aguas arriba se tienen consideradas dos etapas, la primera a la elevación 254 y la final hasta la elevación 275; la ataguía de aguas abajo se construirá en una sola etapa hasta la elevación 245 msnm.



**Fig.III.17.- Conformación de la ataguía aguas arriba**





En las figuras III.18 y III.19 se presentan esquemáticamente las ataguías de aguas arriba y aguas abajo. Asimismo, en las tablas III.1. y III.2 se presentan las características, origen, tipo y volúmenes de materiales para la formación de las ataguías.

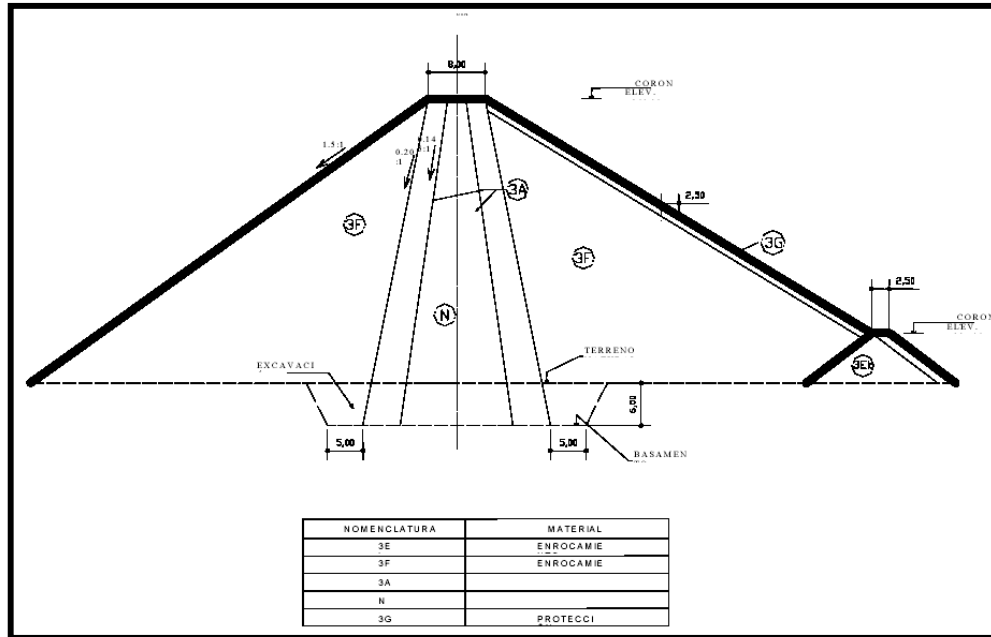


Fig.III.18.-Sección tipo de la ataguía aguas arriba

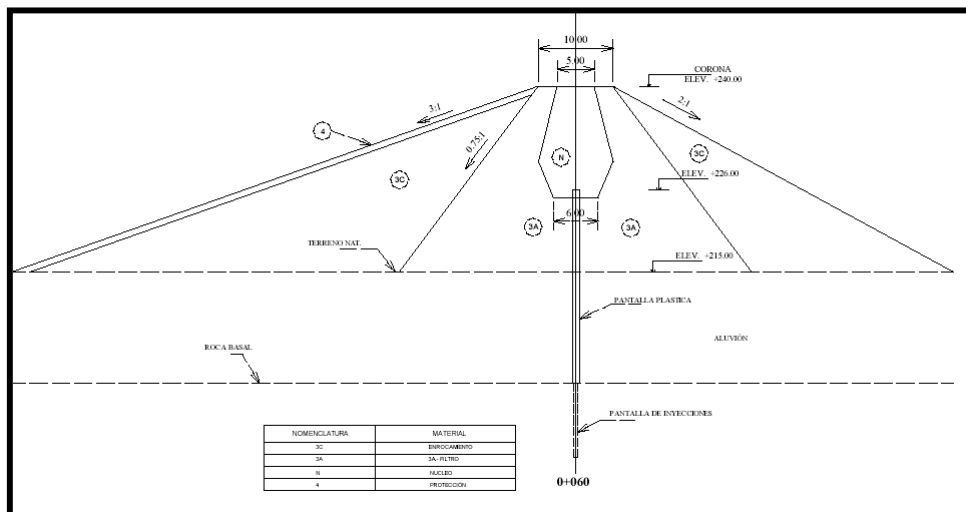


Fig.III.19.-Sección tipo de la ataguía aguas abajo



Tabla III.1 Materiales de las ataguías

Mat.	Zona	Origen	Características	Observaciones
N	Núcleo impermeable	Bancos de arcilla de margen izquierda	Arcilla de baja y alta plasticidad	Compactado con $w_{op} \pm 2\%$ , con 6 pasadas de rodillo de almohadillas en capas de 25 cm.
2	Filtros	Bancos de aluvión	Aluvión cribado de diám.<3"	Colocado y compactado en capas de 25 cm. con 2 pasadas de RLV de 5 t
3 A	Respaldos	Excavaciones y banco de roca	Rezaga diám.<40 cm.	Colocado y compactado en capas de 60 cm. con RLV de 10 t
3 B	Preataguía aguas arriba	Excavaciones y banco de roca	Rezaga diám.<40 cm. y diám.>40 cm. al cierre	Colocado a fondo perdido hasta el nivel del agua, posteriormente compactado en capas de 60 cm con 6 pasadas de RLV de 10 t
3 C	Preataguías aguas abajo y contra-ataguías	Excavaciones y banco de roca	Rezaga diám.<40 cm.	Colocado a fondo perdido hasta el nivel del agua, posteriormente compactado en capas de 60 cm con 6 pasadas de RLV de 10 t
3 D	Relleno entre preataguías y contra-ataguías	Bancos de aluvión	Aluvión en greña diám.< 15" o igual	Colocado a fondo perdido hasta el nivel del agua, posteriormente compactado en capas de 60 cm con 6 pasadas de RLV de 10 t
4	Enrocamiento de protección	Excavaciones y banco de roca	Fragmentos de diám.>40 cm.	Colocado y bandeado en capas de 1.2 m con tractor D-8 o similar

FUENTE: Estudios Geotécnicos, CFE



Tabla III.2 Volúmenes de materiales en ataguías

Material	Características	Volumen		
		Ataguía		Total
		Aguas arriba	Aguas abajo	
3 A	Zona de filtro	50,308.25	48,062.40	98,370.65
3 C	Enrocamiento		72,347.15	72,347.15
3 Eb	Enrocamiento	3,993.72		3,993.72
3F	Enrocamiento	265,048.40		265,048.40
4	Protección		5,413.30	5,413.30
3 G	Protección	16,391.35		16,391.35
1 A	N.- Núcleo impermeable	47,788.40	13,286.80	61,075.20
	<b>Total</b>	383,530.12	139,109.65	522,639.77
<hr/>				
<b>Excavación</b>		<b>107,491.90</b>	<b>34,660.05</b>	<b>142,151.95</b>

FUENTE: Estudios Geotécnicos, CFE

### III.1.3.1.- Pantallas impermeables en las ataguías

La pantalla impermeable de la ataguía de aguas abajo, tiene como finalidad construir una barrera que evite las filtraciones procedentes del río Santiago a través del aluvión localizado bajo el cuerpo de la ataguía durante la operación de los túneles de desvío. Esta se muestra en las figuras III.20 y III.21.

La pantalla debe ser impermeable, continua y empotrada en la roca. Para reducir las filtraciones a través de la misma se aplicará un tratamiento mediante inyecciones en la roca bajo la pantalla de concreto.



**Fig.III.20.-Construcción de la ataguía aguas abajo, Nótese el material impermeable**



**Fig.III.21.-Ataguía aguas abajo**

### **III.1.3.2.- Alineación de la pantalla**

Se trabaja a partir de una plataforma localizada en la elevación 226 m.s.n.m., nivelada para lograr el alineamiento de la pantalla durante su construcción, y garantizar la continuidad y uniformidad de la misma.

Se construyen brocales de concreto armado a todo lo largo de la pantalla, que sirven de guía al equipo de excavación. Los brocales se colocan hasta una profundidad de 1.0 m con la separación adecuada para introducir el equipo de excavación, como se puede observar en la figura III.22. Sobre los brocales de concreto se marca topográficamente la posición geométrica de los paneles de la pantalla, barrenos de inyección, barrenos adicionales, etcétera.



Concluyendo con la construcción de la pantalla se remueven los brocales de concreto.



Fig.III.22.-Remoción de material para construir brocales de concreto

### **Excavación**

El proceso de la excavación es por paneles alternados, utilizando equipo adecuado en cuanto a peso y posible control para lograr una pantalla continua lateralmente, hasta apoyarse en roca basal. Se cuenta con un trépano de punta con peso suficiente para romper boleos que no sea posible retirar con el equipo de excavación. La excavación se mantiene estable utilizando una mezcla autofraguante con una viscosidad y densidad adecuada evitando caídos dentro de la excavación.

La verticalidad de la excavación se verifica con una plomada, tanto longitudinal como transversalmente en los extremos de cada tablero.

### **Colado**

#### Preparativos.

Previamente a las operaciones propias del colado debe verificarse que, inmediatamente después de concluir la excavación de un tablero, se proceda a colocar tubos-guías de PVC de 6" de diámetro espaciados a cada 3 m o menos, si se requiere, por la naturaleza del fondo de la excavación (zona de terreno irregular, mala calidad, y otros).

#### Mezcla autofraguante.

Se utiliza mezcla autofraguante con las siguientes características: Resistencia a la compresión simple a 28 días de  $10 \text{ kg/cm}^2$ , no erosionable, y cuya permeabilidad sea menor a  $10 \text{ cm/s}$ . Se inyectará la roca basal después de que el tablero respectivo tenga 10 días de edad.



Se realizarán ensayos Lefranc antes y después de la inyección. Los ensayos de permeabilidad Lugeon se harán en los mismos barrenos que se utilicen para pruebas Lefranc; se harán únicamente después de la inyección.

La figura III.23 muestra el proceso de construcción de la pantalla flexoimpermeable.



**Fig.III.23.-Construcción de la pantalla flexoimpermeable con grúa almeja**



**Fig.III.24.- Vista de ataguía aguas abajo, terminada**



## III.2.- OBRA DE TOMA

### III.2.1.- Descripción General.

Las Obras de Toma en presas son pasajes o conductos a través de los cuales se extrae agua. Forman un conjunto de estructuras y sus auxiliares permiten condiciones satisfactorias de flujo, eficiente control y regulación de las extracciones en cualquier circunstancia.

En general una obra de toma consiste en una estructura de entrada, conductos, mecanismos de regulación y emergencia con su equipo de operación y dispositivos para la disipación de energía.<sup>2</sup>

En particular, ésta obra de toma consiste en un canal a cielo abierto excavado en roca en la margen derecha del río. El volumen de excavación de este canal se estima en 1,518, 560 m<sup>3</sup>. Para la estabilización de las paredes del canal, que tendrán alturas de 46 m, se va a colocar anclaje y concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada. Por la obra de toma se suministra agua a dos turbinas, por lo cual su estructura de control incluye dos compuertas deslizantes de servicio; una para cada turbina; estas compuertas deben ser accionadas por servomotores. Adicionalmente se debe instalar una compuerta auxiliar, accionada con una grúa pórtico que le permita colocarse en cualquiera de las dos unidades para efectuar los servicios de mantenimiento a las compuertas de servicio.

En la toma de agua se deben colocar rejillas metálicas para impedir el paso de cuerpos extraños cuando exista flujo de agua. La obra de toma está diseñada para un gasto de 236.8 m<sup>3</sup>/s para cada turbina.



**Fig.III.25.-Estructura de Toma en C.H. Aguamilpa, Nayarit**

<sup>2</sup> Obras Hidráulicas, Francisco Torres Herrera, Edit. LIMUSA



### III.2.2.-Excavaciones y/o cortes

La obra de toma se compone de un canal de llamada de 69 m de ancho y 159 m de longitud, ubicado en la margen derecha del río Santiago, aledaño a las obras de excedencias, tal y como se ilustra en la figura III.26. Esta obra se construye mediante excavación a cielo abierto, en su mayoría con uso de explosivos.

La excavación tiene cortes de 76.5 m de altura máxima en el talud frontal del canal (zona de control y bocatomas de las tuberías a presión), de la elevación 396 a la 319.5 (piso de proyecto del canal), con una berma de 14 m de ancho ubicada en la elevación 336.5, y taludes de 0.5:1.

Adicionalmente, esta obra se conforma por otros dos taludes: uno que parte del canal de llamada de la obra de excedencias (elevación 365.4) con altura de corte de 46 m, contiene una berma de 6 m de ancho en la elevación 336.5 y taludes de 0.5:1. El otro talud, aledaño a la cortina, se inicia en la elevación 380, con altura de corte de 60.5 m, contiene dos bermas, ambas de 6 m de ancho ubicadas en las elevaciones 365 y 336.5, y taludes de 0.5:1 y 0.25:1. La figura III.27 muestra una panorámica de la excavación de la obra de toma conformada con las bermas mencionadas.

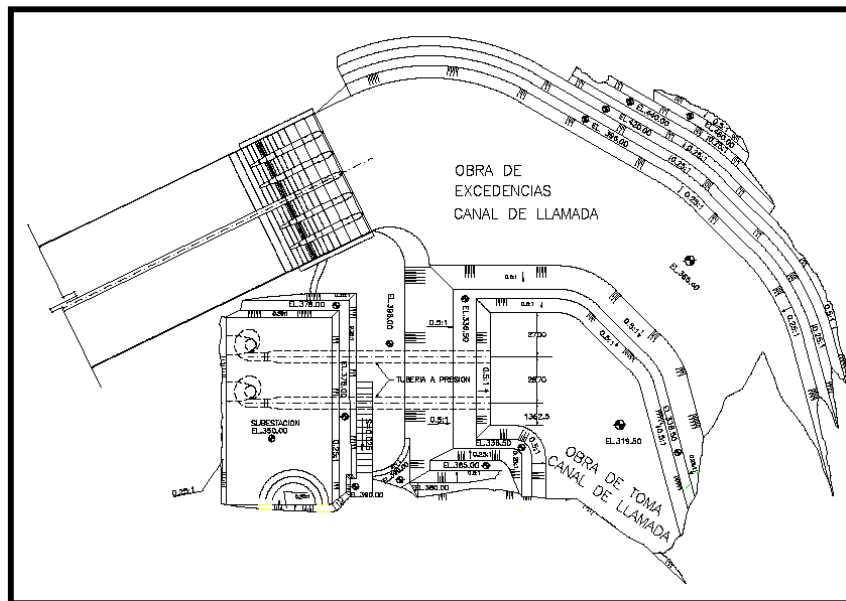


Fig. III.26.-Planta del canal de llamada a la obra de toma. Nótese el canal de llamada de la obra de excedencias aledaño





**Fig. III.27.-Excavación de la obra de toma**

Para poder dar inicio a las excavaciones de la obra de toma es imprescindible que estén concluidas las propias del canal de llamada de las obras de excedencias (estructuras aledañas), debido a que las excavaciones en esta estructura se ejecutan en niveles superiores a dicha obra de toma.

Las primeras actividades por ejecutar antes de iniciar la excavación propiamente dicha, son los trabajos de desmote y despilme en las zonas donde se ubica la obra. Para la remoción se usa tractor D8N y se transporta el desperdicio al banco ubicado aproximadamente a 500 m aguas arriba en la misma margen derecha.

La excavación se inicia en la parte más alta de la obra (elevación 396, talud frontal). Para ello es necesario unir el piso del canal de llamada de la obra de excedencias con la mencionada zona más alta mediante una brecha de penetración, y proceder a subir el equipo de barrenación y los tractores.

En general, la excavación se lleva a cabo por banqueos, ejecutándose los trabajos hasta terminar la excavación a piso de proyecto del canal de llamada en la elevación 319.5, realizando la barrenación entre éste y las bermas mencionadas.

La secuencia de las actividades consiste en lo siguiente:

Primeramente se realiza la barrenación en bancos de 10 m, se procede a la carga de los barrenos con la cantidad de explosivos calculados de acuerdo a la plantilla de diseño, y se ejecuta la voladura.

Para lograr la correcta definición de las caras en los cortes o delimitación de líneas de las banquetas o bermas, la excavación se ejecuta utilizando el sistema de precorte, el cual se



realiza mediante una barrenación con separación entre barrenos de 70 cm y cargados de tal manera que únicamente se obtenga un fracturamiento a lo largo de las paredes que delimitan la excavación de la obra de toma. La voladura de precorte se ejecuta antes de la voladura de banqueo, para lo cual es conveniente que el banco esté a no menos de 10 m de la cara definitiva.

Para ejecutar el precorte se emplea equipo de perforación track-drill con un diámetro de barrenación de 76.2 mm y 25 m de profundidad máxima. Para el caso de los banqueos, se realiza barrenación abierta con track-drill equipado con martillo de fondo, 92.4 a 114.3 mm de diámetro y 10 m de profundidad, de acuerdo al patrón de la plantilla de excavación, y para obtener materiales con diferentes tamaños según el requerimiento de la cortina. Los explosivos utilizados son una combinación de ANFO e hidrogel, lo cual presenta la mejor alternativa para una buena voladura. Las cargas máximas de explosivos por tiempo se limitan, de acuerdo con la proximidad de los sitios de detonación con los taludes definitivos y las estructuras principales.

Una vez efectuadas las voladuras, la roca fragmentada se apila con el uso de tractores, se carga en camiones de volteo pesados y se transporta a los sitios destinados. Durante el proceso de excavación, simultáneamente se atacan dos o tres bancos, ya que al irse reduciendo el espacio se comienza a abrir el otro para aprovechar al máximo el equipo y no disminuir los rendimientos del mismo en áreas reducidas. La figura III.28 ilustra el procedimiento de excavación en la elevación 336.5 del canal de llamada de la obra de toma.



Fig. III.28.- Excavación del canal de llamada de la obra de toma



### **III.2.3.- Estabilidad de taludes**

#### ***Soporte***

##### **Anclaje de fricción**

El sistema de soporte de los taludes del canal de llamada es a base de anclas de acero de  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ , inyectadas con lechada, con longitudes de 6 y 9 m, de 38 mm de diámetro en barrenos de 76 mm y ubicadas en tresbolillo en patrones de 2 x 2 m y 3 x 3 m.

La barrenación para el anclaje se realiza conforme se excavan los banqueos, utilizando track-drill como equipo de perforación. Al ejecutarse las voladuras para descubrir la pared definitiva, se mete el tractor para formar plantillas sobre la rezaga y hacer rampas para el fácil acceso y movimiento del equipo de barrenación. La barrenación se ejecuta con dirección normal al talud y con inclinaciones diferentes ( $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  y  $15^\circ$ ) de acuerdo a lo especificado.

La metodología utilizada para realizar este soporte (lavado de barrenos, preparativos y colocación de anclas, tipo y preparación de la mezcla, e inyección), es similar a la utilizada para el anclaje de las paredes de la caverna de casa de máquinas, descrita en el apartado anterior.

##### **Drenaje profundo**

Con la finalidad de evitar presiones hidrostáticas, liberar estas presiones ejercidas en el terreno y poder drenar el agua infiltrada, se ejecutan barrenos de 10, 15 y 30 m de longitud. El proceso de barrenación es similar al del anclaje.

##### **Concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada**

El concreto lanzado se define como la aplicación neumática de una mezcla de agregados, cemento, agua y aditivos, proyectada a alta velocidad contra una superficie.

La fuerza con que es despedido produce un impacto sobre la superficie y queda el material compactado. Normalmente, el material fresco colocado se sostiene por sí mismo, éste se refuerza con malla electrosoldada.

En la obra de toma, este revestimiento consiste en la aplicación de dos capas de concreto lanzado con una capa intermedia de malla electrosoldada en todos los taludes, ejecutado en forma conjunta con la excavación, anclaje y drenaje.

El concreto lanzado que se aplica en los taludes se ejecuta mediante el método de mezcla seca, logrando una resistencia a la compresión simple a los 28 días de aproximadamente  $200 \text{ kg/cm}^2$ .



La grava y la arena empleadas para el lanzamiento del concreto se suministran razonablemente secas y limpias. El módulo de finura está comprendido entre 2.4 y 3.2 y la granulometría se ajusta a lo especificado. El cemento utilizado para este tratamiento es puzolánico tipo I. El aditivo empleado es del tipo acelerante instantáneo. La dosificación se efectúa en seco, adicionando el agua a la mezcla en el momento de lanzar.

Como ya se mencionó, este tratamiento está complementado con malla electrosoldada de 15 cm x 15 cm y 3.2 mm de diámetro, cuya fijación es con grapas a base de varilla de 6.4 mm de diámetro y 30 cm de longitud.

Concluidos los trabajos de excavación, anclaje y drenaje en cada uno de los taludes, y previamente a los trabajos de lanzamiento del concreto, se efectúan labores de limpieza exhaustiva; amacize y sopleado con chiflón de aire, así como instalaciones diversas, como parte de los preparativos para la realización de este tratamiento.

La colocación del concreto se hace de la parte baja del talud hacia arriba. Para ir ascendiendo en el lanzamiento se emplea una canastilla cargada con un malacate suspendido y anclado en varillas hincadas en la berma superior.

La aplicación del concreto lanzado se realiza mediante máquina lanzadora del tipo “tambor rotatorio” o máquina Aliva. El concreto es conducido neumáticamente con una presión controlada por tubería o manguera y proyectada a través de una boquilla sobre la superficie de aplicación.

Para la transportación del concreto en seco se utilizan trixer o carro tolva, el cual es un carro mezclador que cuenta con dos tolvas; una para el cemento y otra para la mezcla de los agregados, previamente dosificada. La descarga y mezcla final se lleva a cabo por un gusano que pasa por debajo de ambas tolvas, al mismo tiempo que se le agrega aditivo en forma manual, descargando finalmente en la máquina lanzadora.

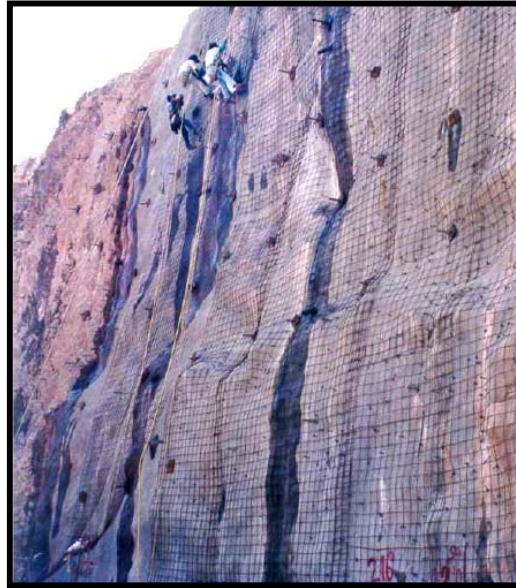
Otro equipo que se utiliza es el camión volqueta, con capacidad de 3 m<sup>3</sup>, cuya mezcla, previamente dosificada, se traslada de la planta dosificadora al sitio de su utilización, en el cual se descarga en forma manual a la máquina lanzadora.

Inicialmente, se efectúa un lanzamiento primario, cuya capa de 3 cm de espesor permite regularizar la superficie. Sobre esta capa se coloca la malla electrosoldada y se fija con el tipo de grapas mencionadas, esto se muestra en la figura III.29. Después de colocada la malla, se lanza otra capa de concreto hasta obtener el espesor total especificado, esto en la figura III.30.

El concreto lanzado se aplica sobre superficies limpias y húmedas, lo cual garantiza una buena adherencia y compactación del concreto. El curado se efectúa por espacio de cuatro a siete días.



Los tratamientos de la roca que se ejecutan en la construcción de esta estructura son prácticamente los mismos que se realizan para la estabilización de los taludes de la obra de excedencias, por esta razón, se omite la descripción de los mismos para la obra de excedencias.



**Fig. III.29.-Tratamiento de taludes con mortero y malla electrosoldada**



**Fig.III.30.-Revestimiento de mortero lanzado y soporte por medio de anclaje**



## Revestimiento con concreto hidráulico

### Zona de compuertas y transición

La zona de compuertas y transición de la obra de toma comprende de la elevación 319.5 a la 324.6, y se ubica entre la estructura de rejillas y el inicio del blindaje de las tuberías a presión. Se inicia a partir de los paramentos elípticos de las bocatomas, de aquí se mantiene con una sección rectangular en forma constante hasta su término, donde se alojan los espacios para las compuertas de servicio y de emergencia, y pasa a la transición de 17.76 m de longitud, de sección rectangular de 10.05 x 10.05 m a sección circular de 7.25 m de diámetro.

El acero que se coloca en estas estructuras es de diámetros  $\frac{3}{4}$ ", 1" y 1½" con  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>.

La cimbra que se utiliza para la formación de los paramentos elípticos de las bocatomas es habilitada especialmente, dadas las curvaturas requeridas y el acabado aparente de todas las caras de estos. Se fabrica a base de tableros de triplay de 1.22 x 2.44 m y 3 mm de espesor, con bastidores de polines de 2"x 4", y se troquela por medio de "shebolts". Para el cimbrado de los muros y caras frontales de las tomas, se utilizan cimbras metálicas tipo cantilever o cimbra-mex autosoportables a base de "shebolts".

La cimbra que se coloca para la formación de los muros laterales y losa de techo en la zona de compuertas (zona rectangular), así como donde se alojan los espacios para las compuertas, se habilita mediante tableros de triplay de  $\frac{3}{4}$ " de dimensiones diferentes y estructurada con bastidores de madera de 2"x 4" y barrotes intermedios de la misma sección. Inicialmente se cimbran los muros laterales, se efectúa el troquelamiento completo por medio de andamios industriales de seguridad y se forman torres de trabajo adecuadas para este tipo de cimbrado, lo cual facilita las actividades de apuntalamiento y resuelve los problemas de cargas. Posteriormente se procede a colocar la cimbra para la losa superior de la zona de compuertas, en la misma forma por medio de los andamios ya descritos.

La cimbra que se construye para la transición es de madera cepillada de doble duela, unida a una doble cercha de tablón y cubierta con un forro adicional de triplay de 3 mm, que es el que está en contacto con el concreto para darle el acabado especificado. La doble cercha se soporta con una estructura interna de madera hecha a base de barrotes de 2" x 8" colocada en el centro de la cimbra.

Una vez efectuadas las actividades de colocación de acero de refuerzo y cimbras, se procede a realizar la colocación de concreto para la construcción de estas estructuras.

El concreto que se emplea es de resistencia  $f'_c=250$  kg/cm<sup>2</sup> con tamaño máximo de agregados de 1½" y  $\frac{3}{4}$ ".



Los colados para estas estructuras se ejecutan mediante el uso de motobomba y vibradores eléctricos y neumáticos. La motobomba, por sus características, permite reducir maniobras y realizar una fácil colocación del concreto.

### **Torre de compuertas**

Esta estructura se construye a base de muros laterales de sección constante para las guías de compuertas; su desplante se ubica en la elevación 334 y finaliza en la 393 (piso de la cámara de mantenimiento).

El acero de refuerzo utilizado para esta estructura considera armados de 19 mm ( $\frac{3}{4}$ " en sentido vertical y 38.1 mm ( $1\frac{1}{2}$ " en sentido transversal. El proceso de secuencia del armado consiste en llevar el acero de refuerzo 15 a 20 m arriba del nivel del colado en ambas tomas, lo que permite darle celeridad a estas actividades. Asimismo, se colocan las placas y perfiles de la instalación de las guías de las compuertas para su embebido en los segundos colados.

Para la formación de los muros de esta estructura se utiliza el sistema de cimbras deslizantes, para lo cual se programan deslizados en tramos de 12 m de altura y de forma alterna en la toma No. 2 y la toma No. 1. La figura III.32 presenta la disposición y detalles de este sistema de cimbra deslizante.

El concreto para los colados en esta estructura es de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ; se colecta con bomba estacionaria mediante tubería de 6" extendida desde la plataforma de la elevación 319.5 (piso de la obra de toma), lugar donde se instala el equipo de bombeo.

La colocación del concreto se efectúa en capas de 20 cm como máximo, distribuyéndose en forma uniforme en toda la superficie. El acomodo y liga de las capas es con vibradores de inmersión de  $2\frac{1}{2}$ ". La velocidad del deslizado es de 0.25 m/h.

La figura III.31 muestra el proceso de revestimiento de la zona de compuertas.



**Fig.III.31.-Revestimiento en bocatomas y torres de compuertas**

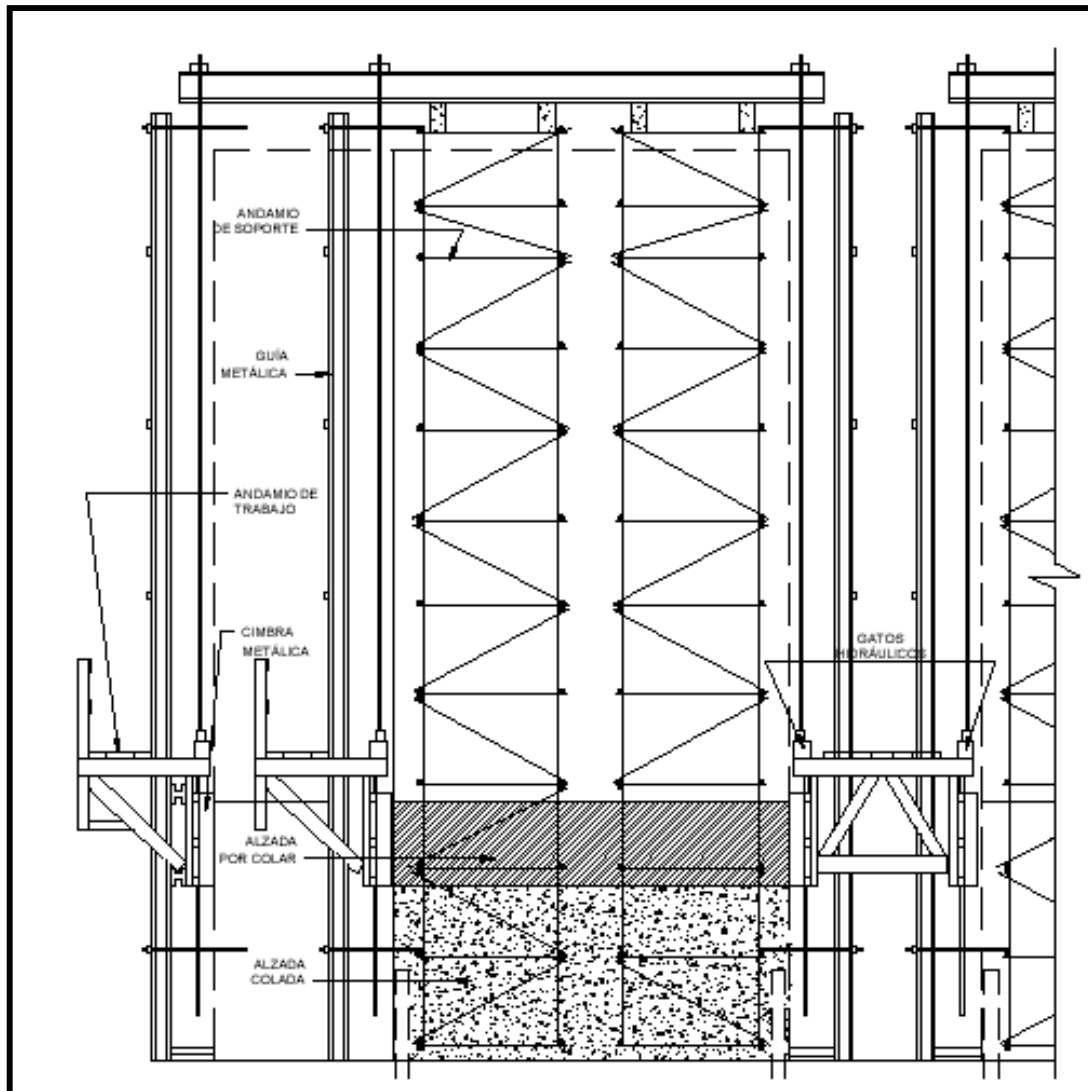


Fig.III.32.-Zona de ubicación y disposición de la cimbra deslizando

### Edificio de control

El acero colocado en esta estructura es de  $\frac{3}{4}$ ", 1" y  $1\frac{1}{4}$ " de diámetro.

La cimbra utilizada para la formación de esta estructura es habilitada a base de tableros de triplay de  $\frac{3}{4}$ " de diferentes dimensiones, y estructurada con bastidores de madera de 2"x 4" y barotes de la misma sección. El troquelamiento se realiza por medio de sheabolds.

El concreto colocado es de  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ . La colocación se efectúa mediante bomba estacionaria.





En general, para la construcción de esta estructura se aplica el mismo procedimiento empleado para colar las pantallas y muros de las compuertas.

Finalmente, para concluir la obra de toma, se construyen las ménsulas o losas superiores donde se reciben los rieles para el tránsito de la grúa viajera, así como las casetas de operación de ambas unidades.

### III.2.4.- Tuberías a presión

#### Excavaciones y/o cortes

Las dos tuberías a presión conectan la obra de toma con la casa de máquinas. La figura III.33 presenta en un corte longitudinal y el arreglo general de las mismas.

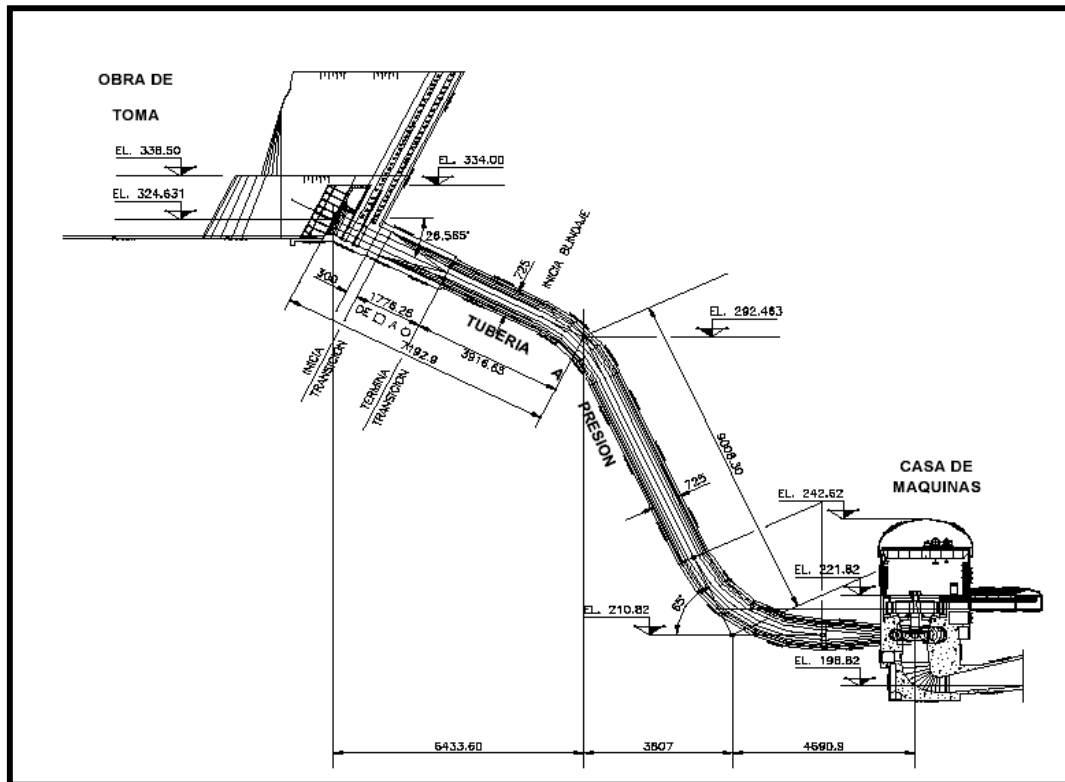


Fig.III.33.-Corte longitudinal por el eje de la conducción de las tuberías a presión

Construido el túnel de acceso a la bóveda de la caverna de casa de máquinas y a los codos inferiores de las tuberías a presión, a partir de éste se excavan ramales de manera que permitan el acceso a la parte baja de las tuberías y hagan posible las excavaciones de los tramos horizontales, para independizarse totalmente de las excavaciones de casa de máquinas como se ilustra en la figura III.34.



**Fig.III.34.-Túnel de acceso auxiliar a tuberías a presión**

Por otra parte, concluidas las excavaciones en el canal de llamada de la obra de toma a la elevación 319.5, se está en condiciones de excavar las tuberías a presión iniciando con el tramo bocatoma-transición-codo superior a partir del talud frontal de la obra de toma, tal como se muestra en la figura III.35.



**Fig.III.35.- Proceso inicial de excavación de las bocatomas**

Una vez establecidos los dos frentes de ataque para la excavación de cada una de las tuberías a presión, la construcción de éstas se lleva a cabo de la siguiente manera:



### **Excavación del tramo horizontal y de la parte baja del codo inferior**

La excavación del túnel ramal auxiliar de acceso a la parte baja de cada una de las tuberías a presión, consiste en una sección tipo portal de 8 m de ancho por 7 m de altura y una longitud de 46 m.

A partir de la intersección del ramal auxiliar con el codo inferior, la altura del túnel aumenta gradualmente, cambiando la sección de excavación de portal a circular (8.55m de diámetro).

En la zona horizontal del túnel (elevación 207), la excavación se efectúa a sección completa, utilizando para la barrenación del frente un jumbo electrohidráulico de tres brazos. La barrenación consiste en una plantilla que tiene un promedio de 100 perforaciones de 47.6 mm de diámetro cada una, además dos barrenos quemados de 76.2 mm de diámetro que funcionan como cuña. La longitud de barrenación en toda la sección es de 3.2 m. Los barrenos que conforman la cuña y los que delimitan el contorno de la sección se cargan con explosivo hidrogel, el resto de los barrenos que componen la plantilla se cargan mediante una combinación de explosivos ANFO e hidrogel; usando el hidrogel como carga de fondo y el ANFO como carga de columna.

La densidad de carga es de 1.26 kg/m<sup>3</sup> de roca. La excavación se efectúa empleando el método de postcorte, mediante voladuras controladas con detonadores no eléctricos que activan las cargas.

### **Excavación del tramo bocatoma-transición-codo superior**

Los túneles inclinados a 26.5° de las tuberías a presión arrancan a partir del talud frontal de la obra de toma y terminan en los codos superiores; comprenden las zonas de sección rectangular, de transición y una parte del codo superior, como se observa en la figura III.36.

La barrenación en este tramo se realiza con diámetros 38.1 mm, 47.6 mm y 76.2 mm, utilizando como equipos de perforación jumbo electrohidráulico de dos brazos, track-drill y perforadoras de piso. En el proceso de excavación únicamente se emplea explosivo hidrogel en bombillos de 1" Ø x 8" con peso de 0.118 kg, 1" Ø x 40" con peso de 0.4 kg (baja densidad) y de 1 ½" Ø x 16" con peso de 0.5 kg. Para lograr mayores avances, dadas las características de túnel inclinado, se utiliza al máximo posible el jumbo electrohidráulico como equipo de perforación. Lo anterior, permite excavaciones con el 18% de pendiente máxima para permitir el acceso o retiro del jumbo al frente de excavación. Cuando no es posible tener pendientes mayores del 18%, la excavación se realiza utilizando track-drill. Las perforadoras de piso se emplean cuando el acceso es imposible para el track-drill.



**Fig.III.36.-Excavación del tramo bocatoma – transición – codo superior**

La excavación del tramo inclinado a  $26.5^\circ$  se realiza en cinco etapas que comprenden un total de seis fases:

**Etapa A: Excavación sección superior del túnel con jumbo electrohidráulico**

Fase 1. Excavación del túnel piloto

Fase 2. Ampliación del túnel piloto

**Etapa B: Excavación sección superior del túnel con jumbo electrohidráulico**

Fase 3. Excavación del piso provisional

Fase 4. Excavación de la sección superior del túnel

**Etapa C: Excavación superior del túnel con track-drill**

Fase 5. Excavación del pozo piloto

Fase 6. Ampliación del pozo piloto

**Etapa D: Excavación del banqueo con track-drill**

**Etapa E: Excavación del piso con perforadoras de piso**

La figura III.37 muestra dichas etapas de excavación de este tramo inclinado  $26.5^\circ$ .

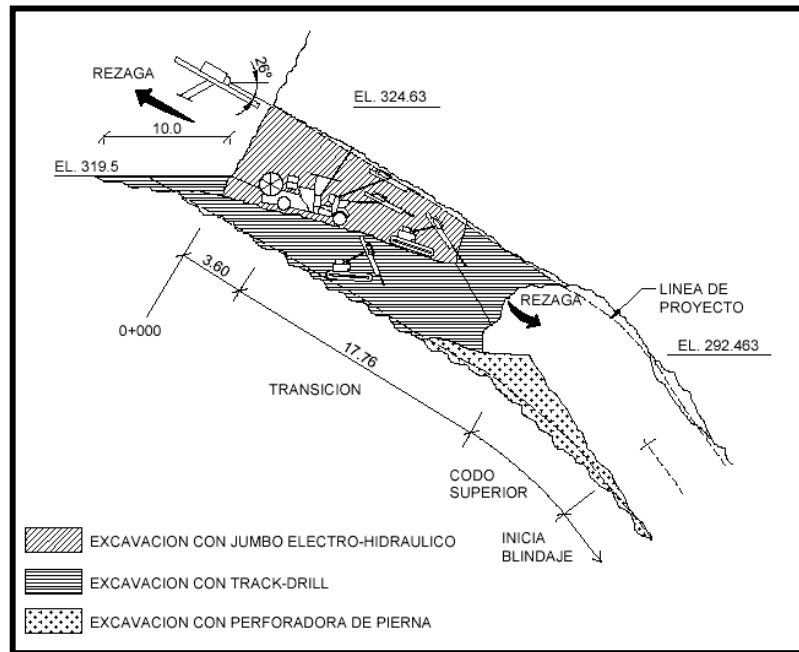


Fig.III.37-Etapas de excavación del tramo bocatoma – transición – codo superior

### Excavación del tramo inclinado a 65°

Concluida la excavación del codo superior y el túnel de acceso a la parte baja de cada una de las tuberías a presión, se procede a la excavación del tramo inclinado comprendido entre las elevaciones 292.46 y 217.82. Este tramo descendente e inclinado 65° respecto a la horizontal, tiene una longitud de 90.0 m y comprende: una parte del codo superior, la zona de reducción, la rama inclinada y una parte del codo inferior.

Las excavaciones de estos tramos inclinados de las tuberías a presión se realizan en tres etapas cada uno:

#### Etapa 1. Perforación del barreno piloto y excavación del pozo piloto.

Estos trabajos se realizan utilizando una máquina contrapocera, la cual perfora un barreno de 279 mm de diámetro en toda la longitud. Primeramente se coloca una broca especial que rompe la roca al inicio de la perforación, posteriormente esta broca rompedora se cambia por una broca-guía y se continúa con la perforación utilizando tubería que se acopla conforme se profundiza en el barreno. El recorte producto de la barrenación y el enfriamiento de la misma broca se controlan mediante la inyección de agua a la tubería de perforación. Una vez que la broca guía sale a la parte baja se concluye la perforación del barreno piloto, se procede a desacoplar la broca y en sustitución se acopla una cabeza rimadora (rima) de 2.4 m de diámetro. La máquina contrapocera, mediante rotación, jala la



rima hacia arriba efectuándose de esta manera el proceso de rimado o excavación del pozo piloto. El material producto del rimado cae al fondo del contrapozo y se retira fuera de las obras subterráneas. La conclusión de este proceso se aprecia en la figura III.38.



**Fig.III.38.-Excavación del pozo piloto de las tuberías a presión con uso de máquina contrapocera. Nótese la rotación de la rima**

## **Etapa 2. Ampliación del pozo piloto**

Una vez concluido el rimado del pozo piloto, se realiza primero una ampliación a dicho pozo en toda su longitud, para posteriormente realizar la ampliación a sección completa.

Este procedimiento tiene como propósito evitar que el pozo piloto se obstruya con la roca fragmentada producto de las excavaciones a sección completa y que consecuentemente, provoque trabajos extraordinarios para destapar el pozo, representando posibles atrasos en el programa de obra, pérdidas económicas y riesgos para el personal de trabajo.

La excavación para la ampliación del pozo piloto en cada uno de los tramos inclinados a  $65^\circ$  se lleva a cabo mediante el sistema de banqueos. La barrenación se realiza utilizando máquinas perforadoras de piso y pierna neumáticas, equipadas con barras de acero integral de longitudes 0.8 m, 1.6 m y 2.4 m; y pastillas de tungsteno de 38.1 mm.

El sentido de ataque de la excavación es de arriba hacia abajo; a partir de la parte superior del tramo inclinado hacia la clave del túnel horizontal en la parte baja de la tubería, aprovechándose de esta manera el pozo piloto para la rezaga del material producto de las excavaciones. En cada banqueo, la carga con explosivos se realiza únicamente con hidrogel. Una vez efectuada la detonación, y dada la ventilación adecuada en el área de trabajo, se procede a la rezaga del material producto de la voladura en forma manual y mediante sopleteo con aire a presión, arrojando dicho material a través del pozo piloto hacia la parte baja de la tubería a presión para su posterior retiro. En la figura III.39 se aprecia la ampliación del pozo piloto.



Fig. III.39.-Ampliación del pozo piloto de las tuberías a presión

### Etapa 3. Ampliación a sección completa

Las excavaciones en esta etapa en los tramos inclinados a 65°, se inician después de haberse concluido las excavaciones de los tramos bocatoma-transición-codo superior en cada unidad. De igual forma que en la segunda etapa, la ampliación a sección completa se realiza de arriba hacia abajo mediante el sistema de banqueos con uso de explosivos.

Para llevar a cabo estas excavaciones, se hace primero una barrenación profunda utilizando como equipo de perforación un tunnel-track neumático con martillo de fondo, y posteriormente para finalizar la excavación, se utilizan perforadoras de piso o pierna neumáticas.

La barrenación profunda con tunnel-track se realiza en una longitud de 50.5 m con un diámetro de 88.9 mm. Esta longitud de barrenación se logra mediante el uso de un martillo de fondo de 1 m y 33 barras de 1.5 m cada una. Conforme se concluye la perforación de una serie de barrenos, éstos se rellenan con arena para evitar que se obstruyan. Concluida la barrenación, todos los barrenos se sopletean con aire a presión hasta una profundidad de 3 m con la finalidad de realizar banqueos de esta longitud.

Las excavaciones se ejecutan empleando el método de post-corte. Para la barrenación se utiliza hidrogel; en interiores se usan bombillos de 2" Ø x 16" con peso de 1 kg cada uno y en el post-corte se utilizan de 1" Ø x 8" con peso de 0.118 kg. Efectuada la detonación y rezaga, nuevamente se procede al sopleteo de barrenos para reiniciar el ciclo de excavación.

El acceso al frente de trabajo se logra mediante escaleras marinas que se instalan conforme avanzan las excavaciones. En esta etapa, a partir del arranque en el talud frontal de la obra de toma, se realiza la colocación y empaque de riel en cada tubería a presión, necesario para



la transportación y colocación de los canutos o tubos que conforman el blindaje de las tuberías y para trasladar plataforma de trabajo para llevar el equipo de perforación y tratamientos de la roca (track-drill), como se observa en la figura III.40.



**Fig. III.40.-Excavación a sección completa en tuberías a presión**

En las excavaciones restantes, la barrenación se realiza con perforadoras de piso o pierna neumáticas; consiste en perforaciones de 38.1 mm de diámetro y longitud promedio de 2.4 m. La carga de explosivos se realiza empleando únicamente bombillos de hidrogel de 1" Ø x 8" con peso de 0.118 kg cada uno, cordón detonante Primacord, estopines de iniciación no eléctricos (noneles) y un estopín eléctrico como dispositivo de iniciación principal.

#### **Estabilidad. Tratamientos de la roca**

Los tratamientos que se realizan en estas estructuras consisten en: anclaje de fricción colocado con resina epóxica, drenaje selectivo y concreto lanzado selectivo, se observa en figura III.41.



**Fig.III.41.-Tratamientos de la roca en tuberías a presión, mediante uso de trackdrill montado en plataforma**





Como ya se mencionó en la descripción de las excavaciones de estas estructuras, a partir del arranque de las tuberías en el talud frontal de la obra de toma, se realiza la colocación y empaque de rieles en cada tubería a presión; necesarios, mediante el auxilio de malacates, para trasladar plataforma de trabajo para llevar equipos utilizados en los tratamientos de la roca (jumbo electrohidráulico y track-drill), así como para la transportación y colocación de los canutos o tubos que conforman el blindaje de las tuberías.

Los tratamientos se ejecutan alternadamente con las excavaciones definitivas de cada una de las etapas que conforman la construcción de las tuberías; de tal forma que es prioritaria la ejecución de los tratamientos sobre las excavaciones.

La determinación, ubicación y distribución de los tratamientos necesarios para el soporte de la roca y la estabilidad propia de las tuberías a presión se definen con base en las condiciones geológicas que resulten, el tipo de excavación y los recursos que se emplean. Asimismo, la metodología utilizada para la ejecución de estos trabajos es similar a la descrita para la casa de máquinas y obra de toma.

De manera general, estos tratamientos son similares a los que se ejecutan en los pozos de oscilación, por lo que para estos pozos se omite su descripción.

#### **III.2.4.1.-Montaje de tuberías**

Una vez concluidos los trabajos de fabricación, transporte y almacenamiento del blindaje (canutos) de las tuberías a presión, y habiéndose ejecutado los cortes, rolado, conformado, soldadura, pruebas y aplicación del recubrimiento anticorrosivo a dicho blindaje, se procede a realizar el montaje del mismo en las siguientes etapas:

Las tuberías se transportan a dos zonas: la primera, a zona de almacenamiento del canal de llamada de la obra de toma y bocatomas, para formar los ramales horizontal superior y vertical; y la segunda, a la casa de máquinas para formar los ramales horizontales inferiores.

Se posiciona el carro de montaje al blindaje, colocándose sobre una vía fabricada con rieles, anclada en el piso de las ramas horizontales y verticales de la tubería a presión.

En el caso de los ramales horizontales, los tubos son trasladados manualmente o jalados con un malacate hasta su lugar de posición final.

En el caso del ramal vertical, se procede a efectuar el bajado y lanzamiento de los tubos auxiliándose con malacate de 70 t de capacidad, instalado en el canal de llamada de la obra de toma, cuyos cables bajarán entre dicho canal de llamada (elevación 319.5) y el túnel horizontal (elevación 207), esto se ilustra en la figura III.42.

Se efectúa el posicionamiento, alineamiento y conformado del blindaje.



Posteriormente al conformado, se realizan los trabajos de soldadura de campo y pruebas al blindaje.

Finalmente, se efectúa el atraque de la tubería en el piso y paredes del túnel de la tubería a presión, para concluir con los trabajos de montaje de estas estructuras.



Fig.III.42.-Proceso de lanzamiento de tubos para conformar el blindaje de las tuberías a presión

### **Empaque de tuberías con concreto hidráulico**

El procedimiento de colocación de concreto hidráulico para el empaque de las ramas inclinadas en las dos tuberías a presión se realiza utilizando concreto bombeado, para lo cual se contará con dos bombas estacionarias para concreto, ubicadas; una en la zona de bocatomas, y otra en la plataforma del canal de llamada de la obra de toma.

El concreto elaborado en planta dosificadora es transportado y descargado en dichos centros de bombeo por camiones ollas revolventoras de 5 m<sup>3</sup> de capacidad. El tiro de concreto para el empaque de estas estructuras se realiza por medio de una línea de tubería de 6" de diámetro, dispuesta mediante apoyos y troqueles de tramos de varilla de 1" de diámetro, ancladas en la roca a todo lo largo de los ramales horizontales y verticales entre el blindaje en proceso de montaje y la roca, en el sentido de flujo.

Dicha tubería de 6" de diámetro es colocada en tramos de 3.05 m de longitud con ranura en los extremos para la colocación de abrazaderas tipo rápido (juntas gibault), sin colocarles el empaque de hule para facilitar en cada tramo la expulsión de aire concentrado en todo lo largo de la tubería de colocación, evitando de esta manera la formación de vacío y un posible taponamiento de la tubería que pueda ocasionar la suspensión parcial o total del colado.



El procedimiento que se emplea para el empaque del blindaje en los codos es como se muestra en la figura III.43



Fig. III.43.-Colocación de cimbra para el colado del codo de la tubería a presión

Los concretos son colocados en capas horizontales, asegurándose la distribución y colocación de concreto tierno sobre concreto aún no fraguado, acomodando y ligando las capas con vibradores de inmersión de 3" de diámetro accionados neumáticamente, evitando posibles huecos en la estructura y logrando una adecuada compactación.

Los colados para empaque son ejecutados de tal forma que entre concretos masivos contiguos (con espesores mayores a 100 cm), se dejará transcurrir un lapso de 72 h como mínimo antes de realizar el siguiente colado.

Posteriormente a la ejecución del colado, se procede a preparar la junta del mismo para dar continuidad al siguiente tramo. Para ello se realiza el escarificado en toda la superficie mediante el uso de martillo neumático, quitando la película de mortero y dejando el agregado expuesto, libre de polvo y partículas extrañas.

Por último, se ejecutan los trabajos de inyección de contacto concreto-roca y concretolamina, consistiendo estos tratamientos en introducir unas zonas huecas, mezclas a base de cemento y aditivo superfluidizante, de manera controlada, teniendo como finalidad rellenar los espacios entre la roca y el concreto de empaque y entre éste y la tubería.

### III.2.5.-Pozos de oscilación

#### Excavaciones y/o cortes

Debido a que estas estructuras consisten en dos pozos cuyos frentes de excavación son subterráneos en un macizo rocoso, se usa el método de excavación a base de explosivos.



La excavación de los pozos se ataca en su primera fase a través de un túnel de acceso definitivo a galerías, de sección portal de 8 m x 8 m y 277 m de largo. Este túnel conduce al piso de la galería para izaje de compuertas (nivel 250 m.s.n.m.).

La figura III.44 muestra un resumen de las etapas de excavación de la galería para izaje de compuertas y de los pozos de oscilación.

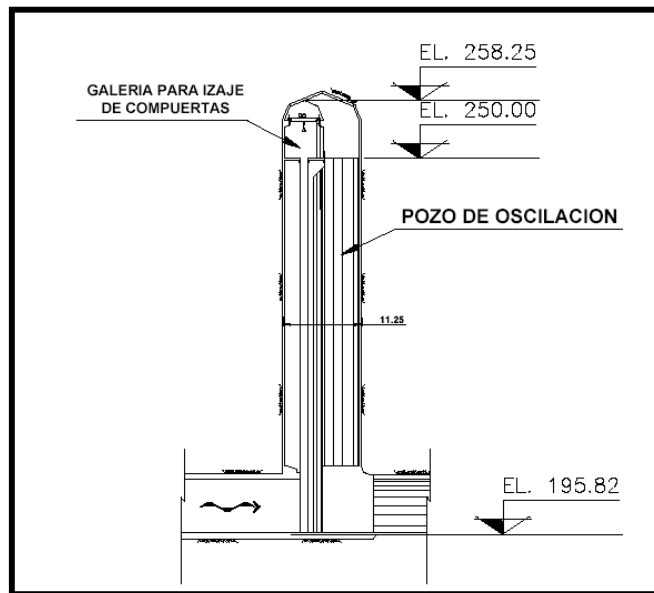


Fig. III.44.-Corte longitudinal de la galería para izaje de compuertas y pozos de oscilación

### Excavación de la galería para izaje de compuertas

Esta estructura, con dimensiones 73 m de largo en sección portal de 10.6 m por 9.6 m, comunica a los dos pozos de oscilación. Las técnicas empleadas en la excavación de esta galería, relacionadas con la barrenación, plantillas de voladuras, cargas con explosivos y tipo de explosivos utilizados, son similares a las que se emplean para la excavación de la bóveda de casa de máquinas, descritas anteriormente. En la figura III.45 se observa la conclusión de la excavación de esta estructura.



Figura III.45.-Excavación de la galería para izaje de compuertas



### Pozos de oscilación

Los dos pozos tienen una altura de 54.18 m y un diámetro de 11.25 m. Debido a que la excavación de estas estructuras se realiza utilizando una máquina contrapocera, su ejecución se realiza por dos frentes de ataque: el primero por la parte superior, a partir de la conclusión de la galería para izaje, iniciando en el piso de la misma (nivel 250 m.s.n.m.); el otro frente de ataque, cuyo ingreso es por el túnel que cruza los pozos de oscilación en su parte baja, el cual se deriva del túnel de acceso a la parte inferior del tímpano norte de la caverna de casa de máquinas, sirve para la instalación de la rima de la contrapocera y para la extracción de la rezaga producto de la excavación, ilustrado en la figura III.46.

El procedimiento que se utiliza para la excavación de estas estructuras es idéntico al que se emplea en la excavación de los tramos inclinados de las tuberías a presión, en sus tres etapas: perforación del barreno piloto y excavación del pozo piloto con contrapocera a sección 2.44 m de diámetro, ampliación del pozo piloto, y ampliación a sección completa; ambas ampliaciones de 11.25 m de diámetro excavadas con uso de explosivos. De igual forma, la excavación de las lumbreras de ventilación y cables se realiza de forma idéntica a la empleada en estas estructuras en sus primeras dos etapas: perforación del barreno piloto y excavación del pozo piloto con contrapocera a sección 2.44 m de diámetro.

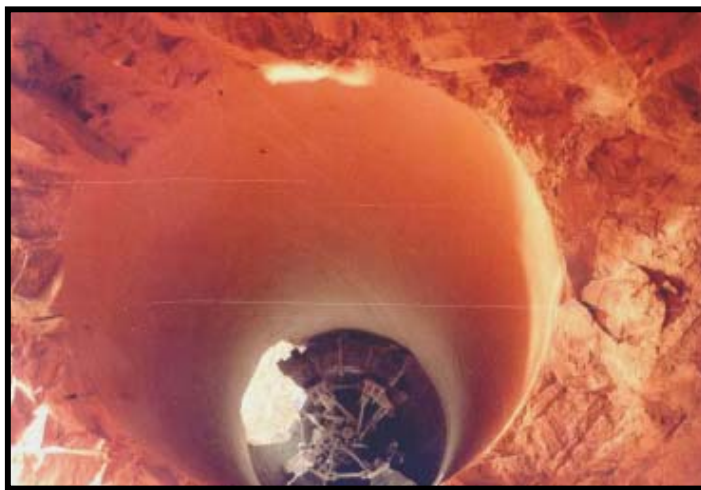


Fig.III.46.-Acabado en el rimado para la construcción de los pozos de oscilación

### Revestimiento con concreto hidráulico

El revestimiento con concreto de estas estructuras se realiza utilizando el sistema de cimbra deslizante, para lo cual es necesario tener armadas las parrillas de acero de refuerzo, tanto longitudinal como transversalmente, en una altura promedio de 40 m arriba de los niveles de colado, ya que la misma estructura de los pozos dificulta esta actividad mientras se efectúa el deslizado.



El procedimiento utilizado para el revestimiento de estas estructuras es similar al que se emplea en la construcción de las torres de compuertas de la obra de toma, descrito anteriormente. La colocación del concreto se realiza con dos bombas estacionarias; una de ellas ubicada en parte baja de los pozos (elevación 195.82), cuya excavación se deriva de la construcción del túnel de acceso a la parte inferior del tímpano norte de la caverna de casa de máquinas; la otra bomba se instala en el piso de la galería para izaje de compuertas de los pozos (elevación 250). El concreto se conduce mediante tubería de 6" extendida desde los frentes de bombeo señalados.

La colocación del concreto se efectúa en capas de 20 cm como máximo distribuyéndose en forma uniforme en toda la superficie. El acomodo y liga de las capas es con vibradores de inmersión de 2½". La velocidad del deslizado es de 0.25 m/h. En la figura III.47 se aprecia el proceso de armado y colado de estas estructuras.



**Fig.III.47.-Colocación de acero de refuerzo y colado en las guías de compuertas en pozos. Nótese el proceso de deslizado**

### **III.2.6.-Túnel de desfogue**

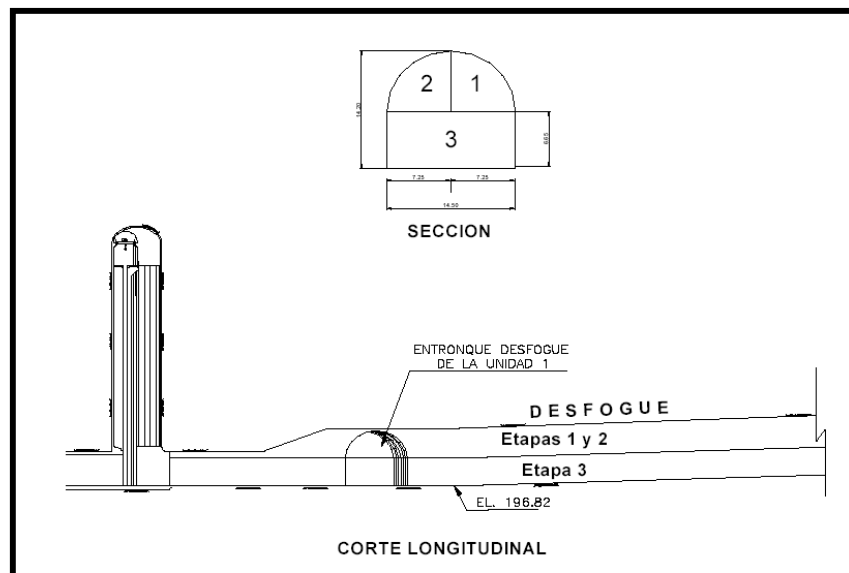
#### **Excavaciones y/o cortes**

Dadas las dimensiones de este túnel (366 m de largo en sección portal de 13.3x13.3 m), la excavación se realiza básicamente en tres etapas, como se aprecia en la figura III.48: etapa 1: piloto bóveda, etapa 2: ampliación bóveda, y etapa 3: banqueo.



El procedimiento inicial para la excavación consiste en atacar el canal de salida y al concluir este paso, entrar al túnel con un cuarto de sección por medio de voladuras cortas y controladas, excavando sólo  $\frac{1}{2}$  sección izquierda de la bóveda hacia aguas arriba (etapa 1).

Posteriormente se ejecuta la excavación de la  $\frac{1}{2}$  sección derecha de la bóveda (etapa 2), con un desfaseamiento entre éstas de 30 m, tal como se muestra en la figura III.49. La excavación en bóveda se continúa de esta manera hacia aguas arriba hasta llegar a los pozos de oscilación. Concluida esta excavación se procede a ejecutar los banqueos a sección completa.



**Fig.III.48.-Etapas de excavación del túnel de desfogue**



**Fig. III.49.-Excavación de la bóveda del túnel de desfogue**

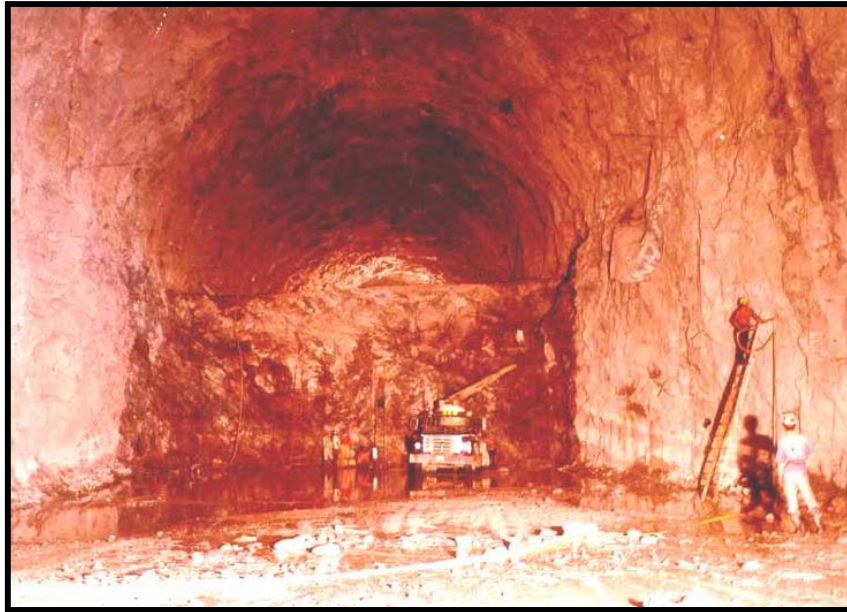
Toda la excavación (bóveda y banqueos) del túnel de desfogue se ejecuta por medio de voladuras controladas. La barrenación del frente de excavación en su totalidad es horizontal y se realiza utilizando jumbo electrohidráulico de tres brazos. El sistema de postcorte es obligatorio tanto en la clave de la bóveda como en las paredes del túnel.

La longitud de barrenación en toda la sección es de 3.2 m con diámetros de 47.6 mm y 76.2 mm.

La plantilla de voladura para la sección correspondiente al piloto de la bóveda se diseña con cuña al centro. En dicha cuña se utiliza sólo explosivo hidrogel, mientras que en el resto de los barrenos, incluyendo aquellos de los banqueos, se utiliza una combinación de ANFO e hidrogel. En los barrenos del contorno (postcorte) se utilizan cargas espaciadas de hidrogel.

Toda la excavación de este túnel se realiza de manera alternada con los tratamientos de la roca, siendo éstos condicionantes, en situaciones específicas, para poder continuar la excavación en sus distintos ciclos, tal como se observa en la figura III.50.





**Fig. III.50.-Inyección de anclaje en muros y carga de explosivos en banquetes del túnel de desfogue**

En general, las técnicas empleadas en la excavación del túnel de desfogue, relacionadas con la barrenación, plantillas de voladuras, cargas con explosivos y tipo de explosivos utilizados, son semejantes a las que se emplean para la excavación de la bóveda de casa de máquinas, descritas anteriormente.

### **Revestimiento con concreto hidráulico**

Antes de iniciar los trabajos del revestimiento de muros y bóveda, se realiza el colado de las losas de piso en dos partes (por mitad del túnel) en el sentido longitudinal, dejando expuesto una guarnición de 70 cm de altura para el apoyo y apañamiento de la cimbra deslizante “jumbo”, obligando a un claro efectivo entre ambos muros de 16 m. Ya instalada la cimbra, el suministro del concreto a la estructura se realiza con una o dos bombas, teniendo dos líneas de tubería independiente una de otra, o casi sólo se utiliza una bomba conectada a una válvula de paso; además, codos y válvulas para continuar las descargas o vaciados por ventanas (ubicadas estratégicamente a tresbolillo) que presenta la cimbra; continuando la tubería por la parte externa del “jumbo” hasta llegar a la parte baja de la clave y “cañonear” el concreto (empujar el concreto con aire presurizado), logrando así el empaque y llenado total entre la cimbra y la roca.

El desarrollo de la transición en la curva se realiza con cuerdas de 6 m, más un alerón adecuado para suavizar los puntos en tangente entre cuerdas.

### **Colado de losas de piso y guarniciones**

Los colados se desarrollan por etapas para dar paso al tráfico vehicular. Se preparan tramos entre 25 y 40 m lineales a media sección transversal de 8 m, dejando cimbrada la llave o



junta que une ambas secciones. En los costados se cimbra una guarnición de 70 cm para dar apoyo a la cimbra con la cual se ejecuta el colado de muros y bóveda.

Los andamios se apoyan en medias cañas; éstas se atornillan en tuercas soldadas al acero de refuerzo dando así el recubrimiento especificado. El tipo de acabado en las losas de piso solicitado en el proyecto es el F4, el cual se da iniciándolo con llana metálica y terminándolo con una pulidora de gasolina. Los curados se prevén con oportunidad colocando papel húmedo encima de la membrana de curado, e inmediatamente después arena; 7 días son suficientes para dar paso al tránsito sobre la estructura; la decisión se toma con base en pruebas de resistencia realizadas en el laboratorio.

### Muros y bóveda del túnel

La cimbra metálica deslizante utilizada recibe el nombre de “jumbo”; se compone principalmente de una estructura o esqueleto que soporta la lámina dando así la forma de muros y bóveda en tres partes: una vertical para el muro, otra en transición y la última que da a la mitad o centro de la clave, ilustrada en la figura III.51. Estas piezas, previamente soldadas entre sí, tienen seis gatos hidráulicos por lado, los cuales proporcionan movimiento y extensión a la cimbra. Cuñas metálicas la rigidizan impidiendo cualquier movimiento.



Fig. III.51.-Montaje de piezas centrales para colado de la clave del túnel

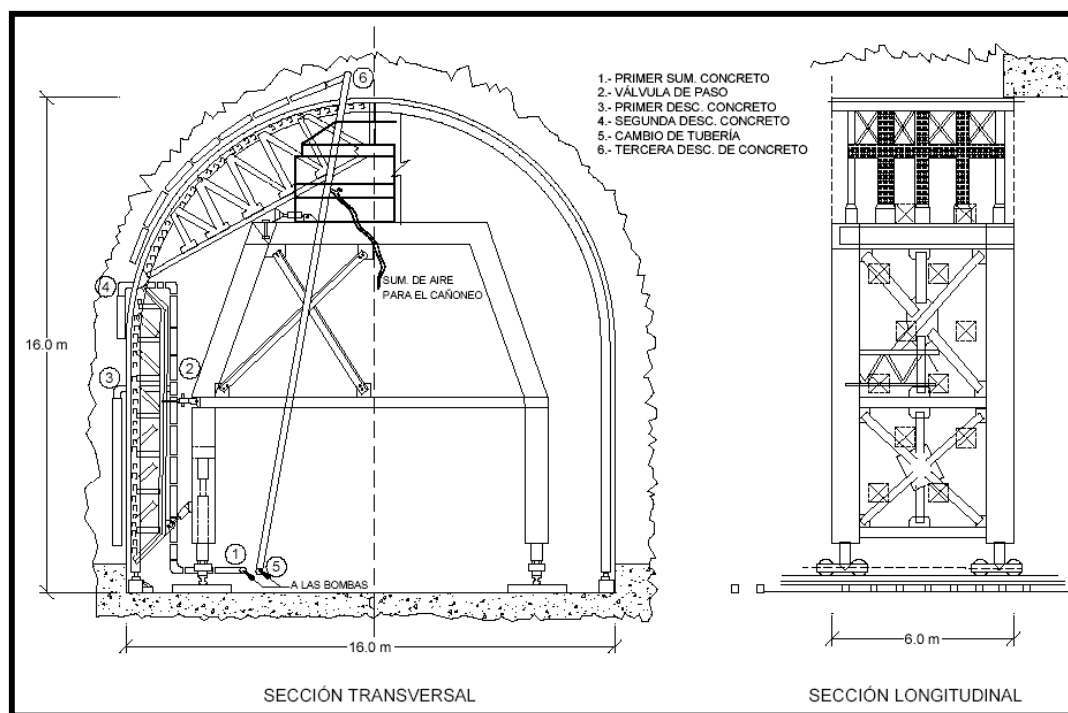
El tener dimensiones de 16 m de alto, 6 m de ancho y un claro de 16 m entre muros, exige la necesidad de no solamente usar los gatos sino también apuntalar con otro tipo de accesorios la parte inferior de la estructura; ya que el empuje del concreto fresco abre y



desapaña la cimbra. La utilización de los gatos hidráulicos facilita la ubicación de la cimbra a los ejes y niveles de proyecto.

El suministro del concreto a la estructura se efectúa con dos bombas estacionarias funcionando con pistones hidráulicos, con tuberías independientes y tres tiros o caídas, cada una debidamente ubicada para la descarga del concreto dentro de la cimbra.

Primeramente se llenan los muros (ambos lados), compactando el concreto con vibradores de 3" de diámetro accionados con aire a presión de 8000 rpm; una válvula de paso a la tubería y a la subida del concreto hasta llegar a la transición entre muro y bóveda; posteriormente, se realiza un cambio de tubería conectándose a otra línea cada bomba, y por el frente llega a la parte alta del tapón de madera entre el acero de refuerzo y la roca, facilitando así el empaque y vibrado del concreto, aún cuando se "cañonea" (empujar el concreto con aire presurizado), pues el uso de vibradores de pared o de contacto accionados con aire, da un mejor acomodo de la mezcla y apariencia al acabado. La figura III.52 muestra este proceso de revestimiento.



**Fig. III.52.-Proceso de colado de muros y bóveda**

Para mejorar el empaque de la clave entre cimbra y roca se diseña una mezcla más fluida y de igual resistencia, con  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$ , revenimiento 16+2 cm y agregado máximo  $\frac{3}{4}$ ", capaz de facilitar el acomodo en las zonas de difícil acceso.

En el laboratorio se determina, mediante pruebas, que siete horas son suficientes para iniciar el descimbrado del tapón aguas abajo, procediendo al escarificado en fresco pero sin



alcanzar el nivel bajo del concreto sin fraguar. Asimismo, 18 horas después de terminado el colado, pueden aflojarse los gatos y mover la cimbra para preparar el siguiente tramo. El movimiento se realiza de la siguiente manera:

Toda la estructura se apoya en ruedas de acero y éstas sobre rieles, un cargador frontal lo jala con un estrobo de acero, ubicando la cimbra donde previamente se marca topográficamente, quedando apoyada aproximadamente 15 cm en el colado anterior.

Los tramos colados comprenden 6 m de longitud.

En los traslapes entre cimbra y concreto generalmente aparecen desapañamientos o aberturas que el calafateo con papel no cubre, y se presentan bordos y topes en la junta de construcción entre el concreto viejo con el nuevo. Igualmente ocurre en el traslape de la cimbra con la guarnición en la transición de la curva, ya que las cuerdas de éstas no coinciden con las que se exigen para la colocación de la cimbra provocando el mismo problema.

La solución para corregir esta anomalía es primeramente soldar una lámina al perímetro de la cimbra y forzar una transición incrustando cuñas de madera entre la lámina y la cimbra hasta topar con el concreto viejo. Otra forma que ayuda a reducirlo es bajar la velocidad de colado a 20 m<sup>3</sup> por hora hasta una altura suficiente donde el empuje del concreto no perjudique.

El tiempo que transcurre entre colado y colado en tramos normales es de aproximadamente 50 horas, ya que en las zonas de transición de la curva y en los marcos a la salida del túnel, el grado de dificultad en la preparación es mayor.

### **III.2.7.-Entronque en galería de oscilación y túnel de desfogue**

#### **Transición en muros**

El uso de una cimbra curva es la solución para dar la forma al entronque de las dos estructuras (túnel de desfogue y galería de oscilación). En todas las alzadas se utiliza motobomba para la colocación del concreto en pequeños volúmenes. A las 12 horas se aflojan los sheabolds y a las 24 horas la cimbra, realizando el curado primeramente con agua y después con membrana (curacreto). La compactación se efectúa con vibradores eléctricos, cuidando la colocación y sujeción de la banda de PVC. La resistencia del concreto es de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ , igual que en la galería de oscilación.

#### **Transición de bóveda**

Para la realización de este colado es necesario utilizar una cimbra exclusiva capaz de complementar las transiciones, tanto en el sentido vertical como en el horizontal (clave).

Es necesario apoyar la cimbra arriba del “jumbo” utilizado para el colado de muros y bóveda del túnel de desfogue. El troquelamiento dentro de la estructura se logra a base de



sheabolds. El concreto se suministra por una motobomba, y ya en el interior, una válvula de paso permite dos descargas; una para cada lado (muro) hasta llegar a la parte central de la clave, donde se procede al retiro de la válvula. La ubicación y entrada por una ventana, localizada lo más arriba posible de la cimbra, facilita el cañoneo y el empaque, dificultándose el llenado solamente en la zona de la banda de PVC, la cual se localiza muy cercana al perímetro superior de la cimbra. La mezcla utilizada se diseña con revenimientos de 10+2 cm y de 12+2 cm, al inicio y al cierre, respectivamente.

### III.2.8.-Lumbreras

#### Revestimiento con concreto hidráulico

En general, el procedimiento utilizado para el revestimiento de las lumbreras de ventilación y cables es similar al usado en los pozos de oscilación, mediante la utilización del sistema de cimbra deslizante.

La cimbra utilizada es duela machimbrada, con dimensiones de 1.2 m de altura y diámetro de proyecto. En la parte inferior se dispone de una plataforma de acabado y reparación, comunicada con otra plataforma de trabajo por medio de escalera marina.

El armado con acero de refuerzo se coloca tal como se muestra en la figura III.53

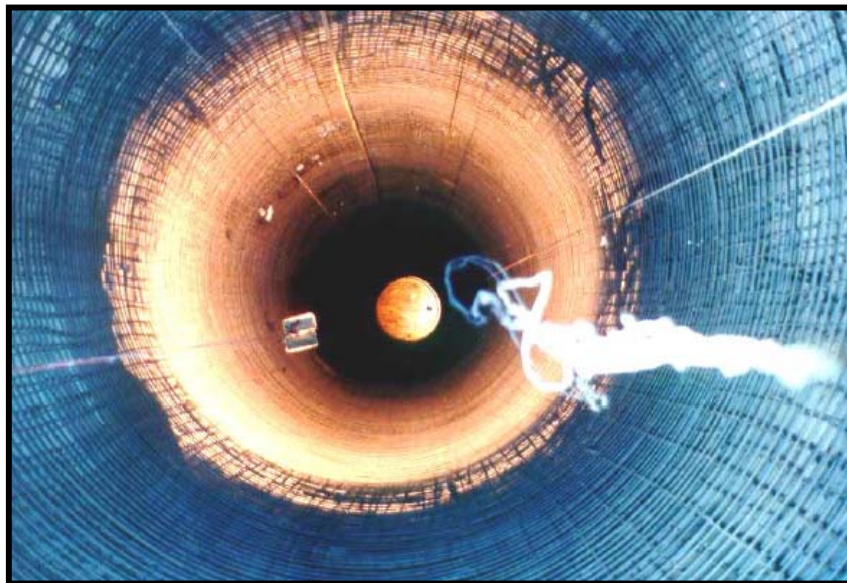


Fig.III.53.-Colocación de acero de refuerzo para el revestimiento con concreto en lumbreras

La colocación del concreto se realiza por medio de bacha de 1 m<sup>3</sup> de capacidad, auxiliándose con un malacate de 10 t. El desarrollo de este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: la olla revoladora llega a la parte superior de las lumbreras, descargando el concreto por medio de tolva y canalón a la bacha, la cual se ubica en una plataforma de



maniobras. Enseguida, por medio de un cable guía, se baja la bacha descendiendo por el centro del pozo. Dadas las dimensiones de las lumbreras (2.4 m), no es posible contar con un dispositivo para repartir el material acarreado con la bacha, por lo que se utiliza la misma cimbra para depositar el concreto de la bacha y colocarlo a pala en su sitio. El concreto se vacía en todos los lados de la cimbra con el mínimo de maniobras y se compacta con vibrador. El control de la bacha para subir, bajar y parar se lleva a cabo mediante un timbre. En estas estructuras se obtienen deslizados de 0.26 m/h. El deslizado de la cimbra se realiza con gatos hidráulicos del tipo 501.

### **III.2.9.-Subestación elevadora**

#### **Construcción**

La subestación se conforma de dos edificios compuestos; uno que comprende a la subestación de 400 kV y servicios auxiliares con dimensiones de 60 m de longitud, 15 m de ancho y 11.5 m de altura, y el segundo para las subestaciones de 115 kV y 13.8 kV con dimensiones de 25 m de longitud, 15 m de ancho y 11.5 m de altura.

Ambos edificios son construidos a base de estructura metálica, con columnas y trabes de perfiles IR e IPR, y contraventeos de perfiles LI unidos por medio de soldadura con electrodos de la serie E-70, fijándose por medio de la tornillería a los apoyos establecidos según proyecto, esto se observa en la figura III.54. La cubierta o techumbre empleada es a base de cubierta losacero ROMSA o similar, con terminado galvanizado.

El equipo para la colocación de la techumbre losacero comprende: grúa hidráulica de 20 t, máquinas de soldar, equipos de oxicorte, taladros, herramientas neumáticas y llaves. Durante su colocación se verifica que la cubierta tenga sus superficies libres de torceduras, alabeos y daños; ésta se fija a la estructura metálica por medio de pernos de cortante que se fijan a la estructura con soldadura usando electrodos E-70.

Se verifican los traslapes de la cubierta de losacero y se ejecutan pruebas de soldadura no destructivas utilizando gamagrafía o ultrasonido. Posteriormente, sobre esta cubierta se coloca malla electrosoldada o acero de refuerzo, para colar el firme de concreto.

En general, el procedimiento de montaje de estas estructuras se ejecuta de manera similar al realizado para la casa de máquinas.

Respecto a los concretos colocados en las estructuras que componen a la subestación elevadora, son ejecutados siguiendo el procedimiento empleado en el resto de las estructuras de las obras de generación ya mencionadas.

### Zapatas aisladas

Para realizar el colado en estas estructuras se requiere escarificar la reposición de roca que sirve para el desplante. El colado se realiza con motobomba, usando cimbra convencional con acabado común.

### Columnas

Estas estructuras son coladas con motobomba, utilizando un concreto con revenimiento alto (16+2 cm) debido al exceso de acero de refuerzo. Para la descarga del concreto se utiliza manguera flexible, teniendo el tiro lo más cerca posible del sitio de colocación para evitar la segregación en las juntas. El acabado en las columnas es aparente.



Fig.III.54.-Estructura metálica en edificio de 400 kV de la subestación

### Muros de concreto

Estas estructuras, con un ancho de 15 cm, se constituyen de un armado de doble parrilla de acero de refuerzo. El colado del concreto se realiza con motobomba con descarga mediante mangueras flexibles y uso de vibradores para su compactación. El concreto se coloca en capas con espesores de 30 a 40 cm, realizando la compactación lo mejor posible para evitar segregaciones y cacarizos del concreto.

### Losas

Las losas de piso se construyen sobre el terreno natural, utilizando malla como tapón, lo cual facilita la preparación de los tramos. El colado se realiza con uso de motobomba.



Para esto se preparan los tramos por colar con apoyo de medias cañas para las guías y andamios, descargando el concreto en la parte más alejada con recorrido hacia la motobomba. La compactación del concreto se realiza con vibradores. El material en exceso se retira al momento de pasar la regla por las guías, dando así el primer aplanado, para posteriormente darle el acabado pulido definitivo. Las losas de entepiso se cuelan de la misma manera.

En la losa de azotea se emplea un procedimiento diferente debido al sistema utilizado; los edificios 13.8/115 y 400 kV se conforman de estructuras metálicas a base de losacero. Las juntas de expansión se preparan a cada 5.0 m, de tal forma que el concreto se coloca intercaladamente. En este colado se utiliza motobomba, sin usar andamios ni guías para la colocación del concreto, dado el espesor establecido de 10 cm. Para dar los niveles se usa escantillón.





### III.3.- OBRAS DE EXCEDENCIAS

#### III.3.1- Descripción General

Las Obras de Excedencias son estructuras que forman parte intrínseca de una presa, sea de almacenamiento o derivación y cuya función es la de permitir la salida de volúmenes de aguas excedentes a los de aprovechamiento. Es frecuente que los volúmenes de agua excedente de una presa se devuelvan al cauce del propio río a través de estructuras de descarga proyectadas de manera conveniente.<sup>2</sup>

La obra de excedencias de El Cajón consiste en un canal a cielo abierto excavado en roca en la margen derecha del río, diseñado para un gasto máximo de  $12,300 \text{ m}^3/\text{s}$ . Esta avenida está asociada a un periodo de retorno de 10,000 años y representa un volumen total de  $6,294 \text{ hm}^3$ . El vertedor tendrá una zona de control con 6 compuertas radiales de servicio  $10.20 \times 22.65 \text{ m}$  para alcanzar el gasto de diseño. Las compuertas serán accionadas por servomotores.

La zona de control tendrá, además, una compuerta deslizante compuesta por módulos iguales para formar un tablero que debe funcionar como compuerta auxiliar para efectuar trabajos de mantenimiento de las compuertas radiales. La compuerta auxiliar se deslizará sobre guías verticales y será accionada por una grúa tipo pórtico colocada sobre rieles a lo largo de la zona de control. Esta será muy parecida a la de la C.H. Aguamilpa ilustrada en la figura III.55.

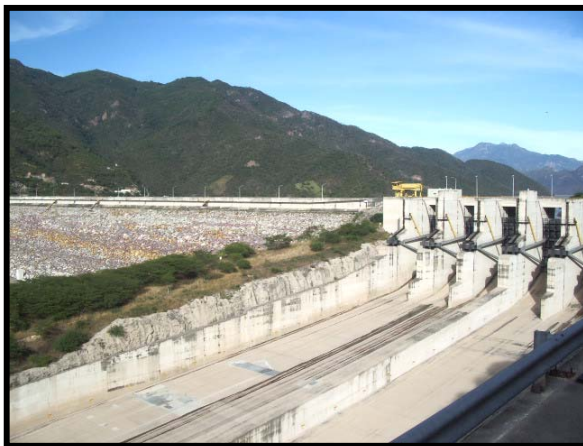


Fig.III.55.-Obra de Excedencias, C.H. Aguamilpa, Nayarit

Dadas las características de operación del vertedor para casos de emergencia, en la zona de estructuras se va a incluir una planta generadora de energía eléctrica de emergencia de combustión interna cuya capacidad esta por determinarse.

El canal de descarga, dada su longitud, debe tener aireadores en el piso y contar con un muro separador a lo largo del canal para dividirlo en dos secciones iguales, para que cada

<sup>2</sup> Obras Hidráulicas, Francisco Torres Herrera, Edit. LIMUSA

sección de canal sea alimentada con tres compuertas radiales, con el fin de optimizar el funcionamiento de la estructura. Por la altura de desplante del vertedor en su punto de salida, el flujo de agua debe ser alejado de la ladera por medio de una estructura deflectora de concreto reforzado.

### III.3.2.-Obras de Excedencias

Las obras de excedencias, ubicadas en la margen derecha del río Santiago, se construyen mediante excavación a cielo abierto, en su mayoría con uso de explosivos, y están divididas en las siguientes estructuras como se observa en la figura III.56:

- Canal de llamada
- Zona de control
- Canal de descarga
- Cubeta deflectora
- Canal de salida

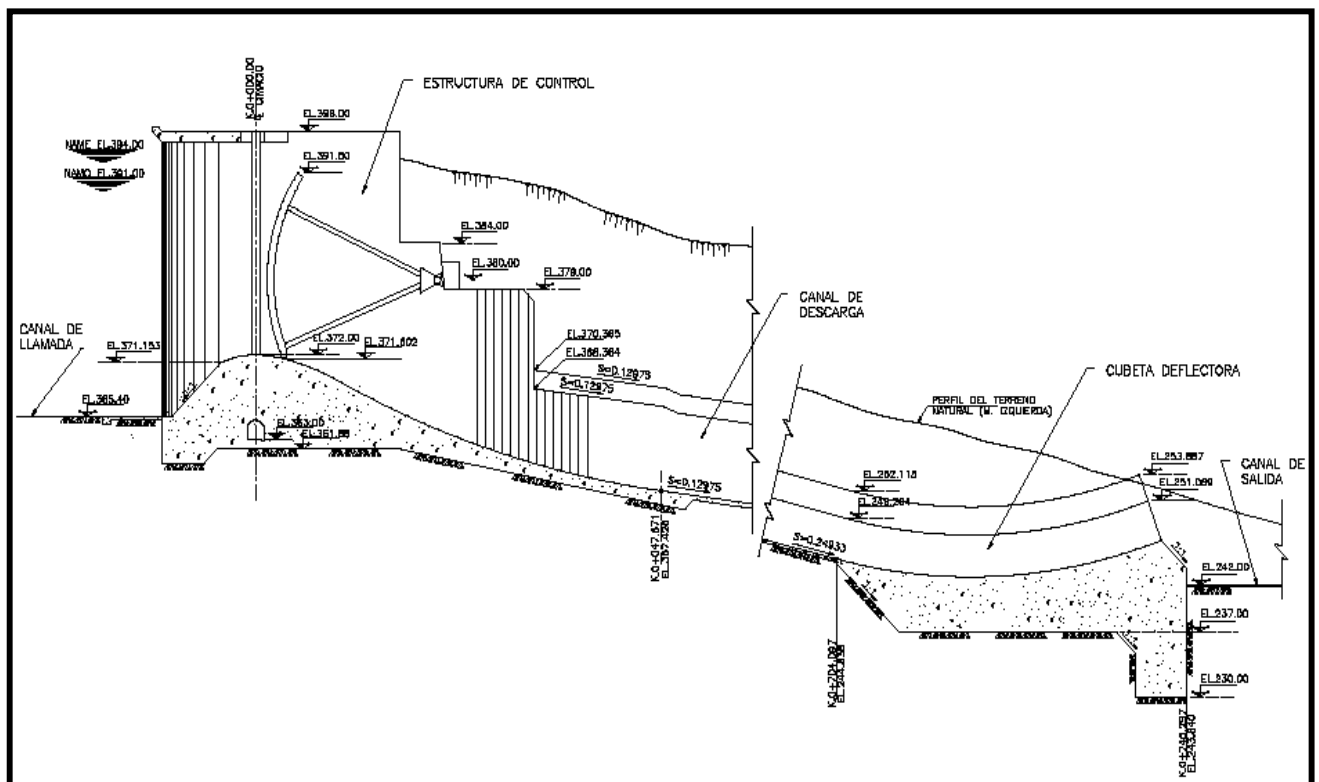


Fig. III.56.-Estructuras que conforman las obras de excedencias

### Excavaciones y/o cortes

La excavación tendrá cortes de 113 m de altura máxima en el talud derecho, con bermas de 6 m de ancho a cada 20 m de altura aproximadamente, y taludes con pendientes de 0.25:1



---

---

del terreno natural a la elevación 365.4 msnm en la zona del canal de llamada, y un corte vertical de 31 m en la zona de control.

La excavación se realiza teniendo como prioridad llegar hasta el nivel de desplante de las estructuras de concreto en la zona de control, con avances en la excavación de los banquetes en forma de pirámide invertida, con rampas de acceso a las diferentes banquetas o plataformas para el acarreo del material a los sitios destinados. El material aprovechable (rezaga y sobretamaño) producto de la excavación es enviado para su colocación a la cortina, y el no aprovechable se envía al banco de desperdicio ubicado aproximadamente a 500 m aguas arriba en la margen derecha.

### **Excavación sin uso de explosivos**

Esta excavación consiste en la remoción del material suelto e intemperizado y de la roca alterada por medio de tractores D8N, hasta dejar expuesta la superficie de la roca sana. El proceso se efectúa a partir de la elevación 478 hacia los niveles de desplante de las estructuras; el material producto del corte se balconea hacia la parte baja y se acumula en plataformas del terreno natural que se acondicionan para la carga y acarreo por medio de cargadores y camiones fuera de carretera. Previamente se forman caminos provisionales de acceso por la ladera de la margen derecha desde aguas abajo y se comunican con caminos para construcción para el transporte del material hacia el banco de desperdicio mencionado anteriormente.

El objetivo de esta actividad es dejar expuesta la superficie de la roca para que a partir del perfil resultante la excavación continúe con uso de explosivos hasta cumplir con las líneas de proyecto.

### **Excavación con uso de explosivos**

El procedimiento de barrenación para la excavación se lleva a cabo utilizando el sistema de precorte para la delimitación de líneas de las banquetas o bermas, ubicadas en las diferentes elevaciones de acuerdo al proyecto. Para ello, se emplea equipo de perforación track-drill con un diámetro de barrenación de 76.2 mm y 10 m de profundidad. Para el caso de los banquetes se realiza barrenación abierta con track-drill equipado con martillo de fondo, 92.4 a 114.3 mm de diámetro, de acuerdo al patrón de la plantilla de excavación y con el objeto de obtener materiales con diferentes tamaños según el requerimiento de la cortina. Los explosivos usados son una combinación de ANFO e hidrogel. Las cargas máximas de explosivos por tiempo se limitan de acuerdo con la proximidad de los sitios de detonación con los taludes definitivos y las estructuras principales. Los banquetes se ejecutan de 10 m de altura sin retirar de inmediato el material, ya que éste sirve de apoyo para la colocación del equipo que se utiliza en los tratamientos de la roca en los taludes. En la figura III.57 se observa el proceso de excavación de estas estructuras.



En general, el procedimiento utilizado para la excavación de estas estructuras es idéntico al usado en la obra de toma. Asimismo, las excavaciones en la zona de la subestación de las obras de generación se efectúan utilizando este procedimiento de construcción.



Fig.III.57- Excavación a cielo abierto de las obras de excedencias

### Revestimiento con concreto hidráulico

El revestimiento de la obras de excedencias se inicia cuando las excavaciones lo permitan, se encuentren en los niveles de proyecto y a una distancia suficiente que permita trabajar sin riesgos.

Para tal efecto, se plantea instalar una planta de producción de concreto, con una capacidad de 30 m<sup>3</sup>/h, para los colados en la zona de control y contar con el área necesaria para almacenamiento de los agregados, mismos que son sometidos a proceso de trituración, cribado y lavado, de tal forma que cumplan con los requerimientos especificados.

El transporte del concreto de la planta al sitio de colocación se efectúa en olla revolvedora montada sobre camión con capacidad de 5 m<sup>3</sup>, con un acarreo promedio no mayor de 1 km.

Antes de iniciar cualquier actividad relacionada con el revestimiento de concreto de todas y cada una de las estructuras de la obra de excedencias, se checan niveles, se retira todo el material suelto por medio de equipo neumático y posteriormente se procede al armado del acero de refuerzo.

En lo que se refiere a las formas o cimbras para las diferentes estructuras por colar, se emplean las siguientes:

\* Cimbra convencional formada por cerchas y tableros de triplay de 1.22 x 2.44 m, con bastidores de barrote de 2" x 4".



---

---

\* Cimbra tubular dalmine o similar, o cimbramex, formada por marcos metálicos y tableros de madera ajustados con tornillería y/o mariposas.

\* Cimbra deslizante de gran movilidad para superficies masivas repetitivas, que por su geometría permitan su uso para lograr ahorro en tiempo.

En los dos primeros casos se aplica a la superficie de contacto de la cimbra una membrana lubricante que evite la adherencia de ésta con el concreto. En el caso de las deslizantes, pueden ser estructuradas de madera con forro metálico sobre bastidores guía móviles, con el objeto de poder garantizar un acabado que cumpla con las especificaciones.

En todos los casos se realiza un troquelado de cimbras por el método más conveniente, con lo cual se evitan deformaciones en los perfiles de las estructuras. Teniendo listos los moldes, se procede a la limpieza final antes de la colocación del concreto, la cual se efectúa con agua y chorro de aire comprimido, lo que permite retirar de la superficie por colar alambres sueltos, pedazos de madera, y todos aquellos objetos extraños que pudieran restar calidad al concreto.

Para la colocación del concreto se utilizan los diferentes métodos. A continuación se describe uno de ellos:

**Tiro directo efectuado por las mismas ollas revolventoras, con uso de canalones y/o bachas para su distribución.**

Por medio de bandas transportadoras, bombeando el concreto a través de tuberías de aluminio de 5" de diámetro, conectadas entre sí por medio de abrazaderas o conexiones rápidas y un tramo de manguera flexible al final de dicha tubería para permitir su fácil colocación.

Para la compactación de concreto se utilizan vibradores de inmersión del tipo neumático, eléctrico y/o combustión, de diámetro acorde al tipo de armado para tener acceso libre entre éste. Se utilizan también vibradores de contacto para las zonas de difícil acceso y para los acabados aparentes.

Cuando el concreto adquiera el mínimo de resistencia requerido, se procede a realizar el descimbrado e inmediatamente después, se aplica la membrana de curado designada para la protección de dichas estructuras de concreto. También se procede a la preparación de la junta de construcción para el siguiente colado. Esta preparación consiste en retirar todos los restos de lechada (con cualquiera de los métodos conocidos) para dejar el agregado expuesto (vivo), para cuando se inicie el siguiente colado. En dicha junta de construcción, se aplica un aditivo que permita la liga o adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo.



### III.3.3.- Canal de Llamada

El piso del canal estará en la elevación 367.00 y tiene un ancho de 50 metros en su parte más angosta en la entrada, abriéndose conforme se acerca a la estructura de control, alcanza en su parte más ancha 120 metros. Cuenta con muros de encauce hacia la estructura de control.

En esta zona se ha identificado la presencia de fallas geológicas, que hacen de este sitio, uno geológicamente complejo.

#### Excavación

En la cota 475 se iniciará la excavación del canal de llamada, para lo cual a los inicios de los taludes de proyecto, se construirá el primer camino auxiliar, para hacer llegar la maquinaria de perforación, de movimiento de suelos y tratamientos de taludes.

Los equipos a utilizar consistirán básicamente en tractores de hoja topadora para realizar las excavaciones de suelo y de pie de talud. Para la excavación de roca se utilizarán perforadoras y agentes explosivos según se aprecia en la figura III.58. La barrenación será realizada con equipo tipo Hidrotrack con barrenación de 76.2 mm (3"). El material producto de la excavación será cargado a camiones para el acarreo al sitio destinado como almacén o colocación en alguna estructura..



Fig.III.58.-Excavación canal de llamada

La secuencia de excavación será tal que se dará prioridad a la obra de toma, luego el canal de llamada del vertedor, la estructura de control, la subestación y finalmente los canales de descarga del vertedor.

Para esto se dividirá la excavación en tres grandes etapas:

- 1) Excavación hasta la berma 396.
- 2) Rampa de acceso a la berma 342 de la obra de toma.
- 3) Terminación de excavación del canal de llamada del vertedor y resto de las estructuras

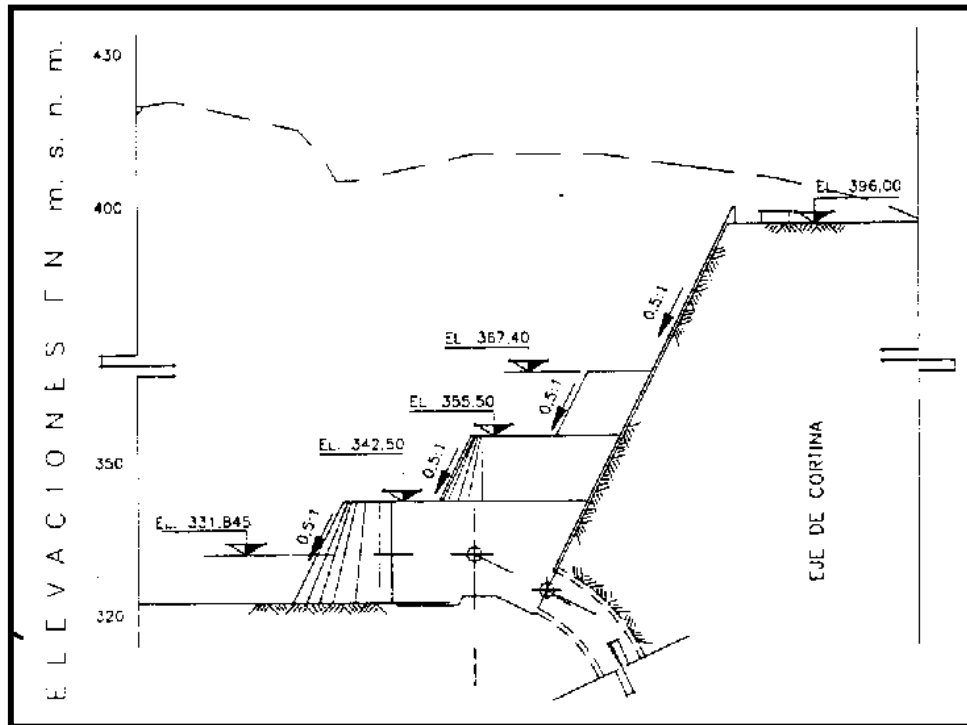


Fig.III.59.-Esquema Etapas de excavación

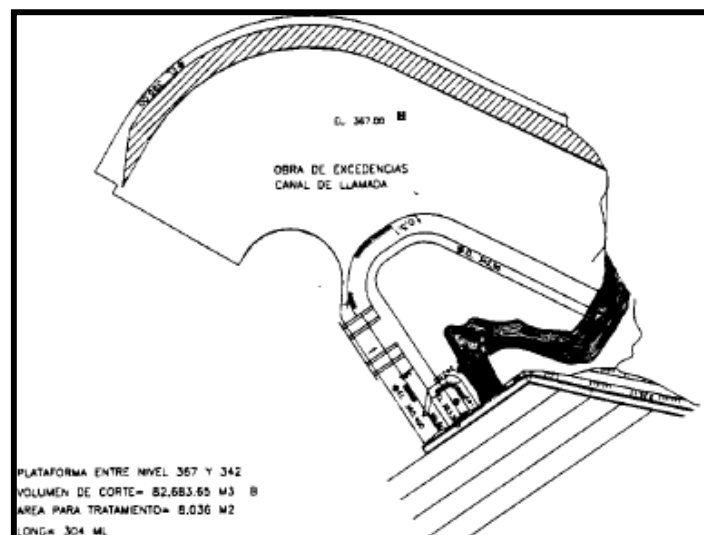
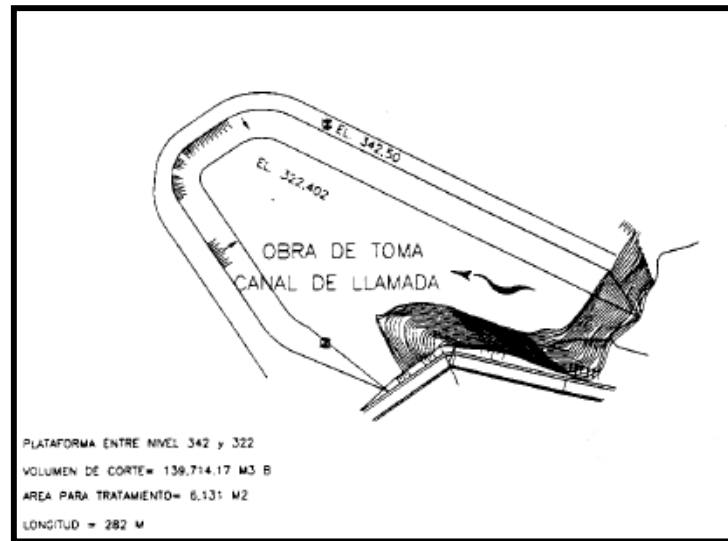


Fig.III.60.-Esquema Rampa de acceso a la berma de la obra de toma



**Fig.III.61.-Esquema de Excavación Canal de Llamada Obra de Toma**

Se realizarán banqueos de producción de 10 metros a lo largo de toda la extensión de las plataformas que se van formando a cada nivel, como se ve en la figura III.62, a excepción de la zona de 12 metros aledaños a los taludes de la excavación, en la cual, el material se barrena y vuela en banqueos de 5 metros manteniendo esta área como acceso para los equipos de tratamientos de taludes.



**Fig.III.62.-Formación de plataformas, Obras de Control**

El sentido de ataque del banqueo será de Oeste a Este, es decir, de la zona de la estructura de control hacia aguas arriba, para aprovechar la topografía y la facilidad de los caminos de acceso a cada una de las bermas.

En la primera fase de la excavación, no se ejecutará la carga y acarreo, debido al área tan reducida, por lo que el producto de las excavaciones será balconado con tractor a niveles





inferiores para su posterior carga. Esto se hará hasta que se pueda conformar una plataforma de trabajo más amplia como la de la figura III.63, de tal manera que los equipos de carga y acarreos puedan trabajar sin interferencias.



**Fig.III.63.-Banqueros en canal de llamada**

Se considera la primera etapa a la excavación sobre la elevación 436. La segunda llega a la cota 396 con lo cual se tendrá un acceso franco a la corona de la presa y a la estructura de control.

A partir de la elevación 396, se incorporará un segundo grupo de trabajo para atacar en forma simultánea dos frentes, el canal de llamada y la estructura de control.

Para llegar a la obra de toma se construirá una rampa de acceso del nivel 396 al nivel 367. En la figura III.64, se observa la disposición de las bermas en etapas definitivas de excavación.



**Fig.III.64.- Etapas definitivas excavación en canal de llamada**

### **Tratamientos de Taludes**

Todos los tratamientos se ejecutarán de acuerdo con el avance de las excavaciones para garantizar la estabilidad de los taludes. Se obtendrá el perfil definitivo de los taludes,



mediante técnicas de voladura de precorte, lo cual disminuirá en lo posible la formación y dislocación de cuñas. Además, los taludes serán protegidos conforme al proyecto.

Se harán barrenos de 5 metros, aplicando todos los tratamientos indicados por el proyecto. Es decir, 2 etapas de tratamiento por cada uno de los cuatro banqueros que se harán entre cada berma.

Se tiene considerado realizar excavación en zanja en las bermas para captar y canalizar escurrimientos en los taludes.

Se colocarán las anclas con la distribución y características que indiquen los planos de proyecto. Serán de fricción y de tensión. Las primeras serán de 38.1 o 25.4 mm de diámetro, de 4.50 a 15.00 m de longitud. Las de tensión serán de 38.1 mm de diámetro en longitudes de 6 a 15 m.

Se colocará concreto lanzado con fibra metálica o malla electrosoldada, incluyendo la delimitación de las áreas por tratar y los espesores aplicables, como se observa en la figura III.65.



**Fig.III.65.-Anclaje en talud canal de llamada. Nótese la capa de concreto lanzado**

En los taludes cubiertos con concreto lanzado, se harán drenes cortos de 38.1 mm, de 20 cm de longitud en roca.

Si fuera requerido, se perfilarán los taludes para remover bloques potencialmente inestables y si el perfil de proyecto fuera estrictamente requerido, se hará restitución mediante concreto.

Finalmente se harán barrenos para habilitar drenes largos, de 6 a 9 m de longitud.

La efectividad del sistema de tratamiento será verificada mediante un sistema de instrumentación, que comprende la colocación de 12 extensómetros de barra, con registro para 3, 9 y 18 m. de profundidad.

### **Concretos**

Se procederá a colocar el concreto hidráulico conforme a lo indicado en el proyecto. Si fuera el caso se hará la restitución de la geometría de proyecto de las excavaciones mediante concreto dental.



En esta zona se usarán cimbras trepantes para la construcción de los muros y el concreto será vaciado con Creter crane.

Para la losa de piso se usará cimbra convencional y se hará en tableros.

### III.3.4.- Estructura de Control

#### Estructura de Control.

La estructura de control comprende 6 compuertas de 12 m de ancho y 20.70 m de altura, sobre un cimacio, de 60 m de longitud y 90 m de ancho con cresta en la elevación 372, como la que se observa en la figura III.66. Los muros de cada vano son de concreto reforzado con altura máxima de 29.00 m.



Fig.III.66.-Compuertas radiales, C.H. Aguamilpa

En esta zona se presenta una concentración de fallas geológicas, especialmente hacia la pared izquierda de la estructura de control, lo cual ha favorecido a que el macizo presente un fracturamiento intenso.

Como se describió en el proceso de excavación del canal de llamada, a partir de la excavación en la elevación 396, se inicia la excavación simultánea del canal de llamada y de la zona de la estructura de control, hasta la cota 367. El volumen de excavación de proyecto estimado de 440,676 m<sup>3</sup>.

Se habilitarán rampas entre las zonas de excavación con pendiente menor al 10 %. El proceso de excavación será el mismo indicado para el canal de llamada.

#### Tratamientos

Se ocuparán los tratamientos que establezca el proyecto, entre los cuales está una consolidación mediante inyecciones, en barrenos de 57.15 mm de diámetro y 10 m de longitud bajo la traza del cierre de las compuertas. Si fuera requerido, se perfilarán los



taludes para remover bloques potencialmente inestables y si el perfil de proyecto fuera estrictamente requerido, se hará restitución mediante concreto.

### **Anclaje**

En los taludes contiguos a los muros laterales, se colocarán anclas de 38.1 mm de diámetro, de 4.50 a 15.00 m de longitud. En el piso del cimacio se colocarán anclas de fricción de 38.1 mm de diámetro, con longitud 9 o 12 m, según indique el proyecto.

Para monitorear cualquier posible deslizamiento masivo de roca, se colocarán 4 extensómetros de barra, con registro para 3, 9 y 12 m de profundidad.

### **Drenaje**

Desde la galería del cimacio, figura III.67, se perforarán drenes de 76.2 mm de diámetro, de 35 m de longitud. En los taludes se perforarán drenes cortos y largos según indiquen los planos de proyecto.



**Fig.III.67.-Galería de drenaje e inspección en el cimacio**

### **Acero de Refuerzo**

Se colocará el acero de refuerzo el cual indica la ubicación del acero prácticamente en la periferia del cimacio, ya que el cuerpo de concreto es en general sin acero de refuerzo en su zona interna central.

### **Revestimiento**

Se inicia el revestimiento de la estructura de control con la construcción de la losa del cadenamamiento km 0+011 en la elevación 365.4, cuyo colado se realiza en secciones, utilizando cimbra de madera del tipo convencional provista con llaves de cortante para las juntas de construcción, mismas que son tratadas con el aditivo especificado.



La colocación del concreto se efectúa a tiro directo desde las ollas revolventoras y/o con equipo de bombeo; ya sea una bomba sobre camión o una bomba estacionaria. En las estructuras de control se construyen primeramente las pilas intermedias, utilizando cimbra deslizando de caras paralelas a partir del eje del cimacio y cimbra convencional en el eje del cimacio, en la zona de cambio de sección de las pilas.



**Fig.III.68.-Vista de colocación de concreto en Estructura de control**

Los colados se efectúan en tramos de 3 m de altura, lo que permite ir moviendo los moldes en la zona de ampliación de las pilas. Entre colado y colado se preparan las juntas de construcción para dejar el agregado expuesto y se aplica el aditivo de la liga previamente al siguiente colado. Los moldes de la cimbra deslizando tienen una sección de 1.20 m de altura, y los de la cimbra convencional son armados a sección completa.

En la estructura de control, el concreto es bombeado para su colocación, y en su fabricación se le añade aditivo fluidizante para facilitar su manejo y colocación a diferentes alturas de las pilas.

La figura III.69 presenta una vista de esta estructura en proceso de construcción



**Fig.III.69.-Proceso de revestimiento con concreto en estructura de control**

### **Cimacio**

Inmediatamente después de la construcción de las pilas, se inician los colados masivos en el cimacio. Los colados se efectúan en diversas etapas incluyéndose el dentellón del atraque.

Una vez terminados, se está en condiciones de armar y cimbrar la galería de inspección que pasa por el eje del cimacio, utilizando cimbra convencional. Cimbrada la galería, se realizan los colados bombeo y a tiro directo, dependiendo de las elevaciones de los diferentes colados que se realicen en el cimacio, como lo ilustra la figura III.70. En los remates del cimacio se utilizan cimbras a base de cerchas, lo cual facilita la colocación y el acabado del concreto en esa zona de la estructura.



**Fig.III.70.-Colado de Galería de Inspección**



### III.3.5.- Canal de Descarga

La obra para la conducción de los volúmenes desalojados por el vertedor consiste en dos canales a cielo abierto de sección cajón como los de la figura III.71; de 43.60 m de ancho cada uno y muros de concreto de 8.00 a 9.00 m de altura. La longitud total de los canales de descarga es de 742.29 metros, contando con 6 aireadores a cada 100 metros a partir de los 242.297 metros del inicio.

Tiene un desnivel total de 125.16 metros desde la cresta del cimacio hasta la estructura de amortiguamiento final. El volumen de excavación de proyecto es de 1,522,267 m<sup>3</sup>.

La inclinación del canal de descarga es coincidente con la pseudoestratificación. Se tiene mapeada una falla semi-paralela al eje del vertedor comprendida entre el muro lateral izquierdo y el muro central. El canal de descarga derecho parece ser que está exento de estructuras geológicas significativas.



Fig.III.71.-Canal de Descarga Aguamilpa, Nayarit

### Excavación

Se mantendrá una rampa que permanecerá como acceso para los trabajos en la Estructura de Control y desde ésta hacia el canal de descarga, la cual se mantendrá hasta que se termine el puente sobre esta estructura.

Una vez que se alcance el piso del canal de llamada y de la estructura de control, los canales de descarga se atacarán con los dos grupos de trabajo habilitados desde que se alcanzó la cota 396. en la figura III.72.



**Fig.III.72.-Excavación canal de descarga**

El ataque de la excavación en los canales se realiza en el sentido de la estructura de control hacia la salida de los canales.

Se profundizará la excavación para conformar la geometría de la depresión, con un corte máximo del orden de 30 m y con taludes de 0.5:1 con 4 bermas en los primeros 200 metros y con taludes de 0.25:1 en el resto.

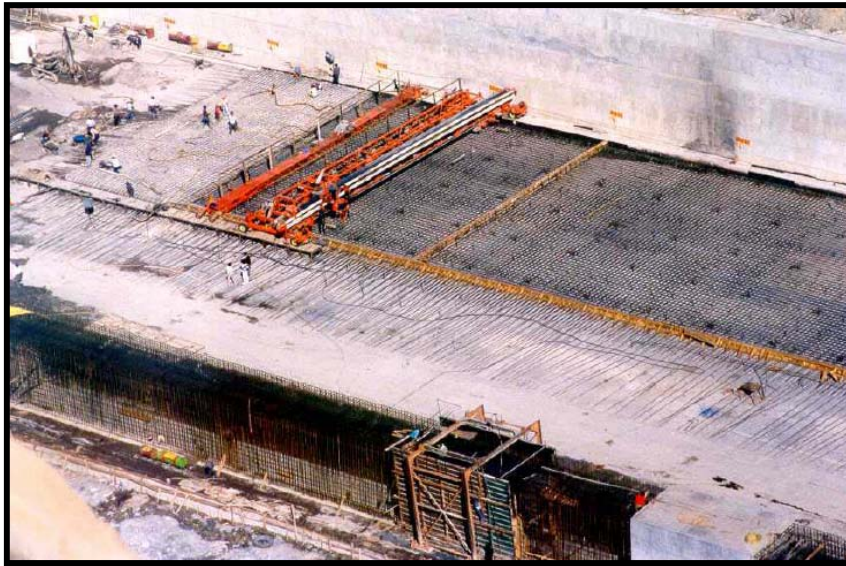
La excavación se hará por medio de terrazas aprovechando la pendiente natural del terreno realizando peines de salida a lo largo de la estructura atravesando por la zona industrial.

### **Revestimiento de Canal y muros divisorios y laterales**

Previamente al colado de las losas de piso de los canales vertedores, se instala una malla formada con tubos de concreto perforados de 20 cm de diámetro y empacados en un filtro de grava-arena con el objeto de lograr el drenaje de la estructura. Esta tubería es distribuida en líneas espaciadas a cada 10 m, tanto en sentido transversal como en sentido longitudinal, y los aportes se recogen en una galería o colector principal.

La construcción de los canales de descarga se realiza por medio del colado de losas de 10 x 9.40 m. Simultáneamente se construyen las losas con el muro divisorio y los muros laterales; conservando siempre un avance en las losas de 80 m aproximadamente, debido a que los colados de las losas son alternados, tal como se aprecia en la figura III.73. En los colados de estos canales se utilizan distintos tipos de cimbra: cimbra fija, deslizante y jumbo metálico, entre otros. La colocación del concreto se realiza utilizando los métodos normales: tiro directo, canalón, bombeado y con banda.





**Figura III.73.-Cimbra deslizante en los concretos en zona del canal de descarga**

Por otra parte, en el desplante de la estructura vertedora se coloca un tapete de consolidación, ejecutado mediante un tratamiento de inyección de perforaciones de 3" de diámetro por 10 m de profundidad, cuya dirección debe permitir que se intercepten el mayor número de planos de fracturas y fallas. Se lavan las perforaciones y se inyectan en el tramo de 5 a 10 m de profundidad con las mezclas especificadas a una presión de rechazo de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , y en el tramo desde la superficie del terreno hasta 5 m de profundidad a una presión de  $2 \text{ kg/cm}^2$ . En caso necesario se deben ejecutar barrenos adicionales en las zonas de mayor consumo, verificando dichos tratamientos mediante las pruebas de permeabilidad Lugeon en los sitios requeridos.

Ya concluida la excavación del vertedor, se realiza la barrenación de la cuadrícula para la colocación de anclas de diámetro y longitud especificados; dichas anclas son del tipo expansivo y los barrenos se inyectan con mortero para garantizar de este modo un anclaje sólido. Después se procede a colocar el acero de refuerzo, se alinea de acuerdo a la separación de las anclas y se fija a las mismas, se coloca la cimbra hecha a base de tapones con llaves de cortante, mismos que reciben los tratamientos descritos anteriormente para las juntas de construcción, y se preparan las juntas que ligan los muros laterales con el muro divisorio. Esta secuencia es repetitiva hasta finalizar y se puede optar en la colocación del concreto por tiro directo o bombeado, de acuerdo a las condiciones del colado.

Una vez armados los muros laterales, se utiliza cimbra convencional para compensar la pendiente, lo que permite después colocar la cimbra deslizante en un piso uniforme, la cual se desliza por medio de guías y gatos hidráulicos hasta los remates de los muros.



Estas guías se pueden apoyar en las mismas anclas de la cuadrícula de los muros, y las juntas transversales son tratadas como se ha descrito anteriormente.

El muro divisorio se realiza en varias etapas: la primera comprende el colado de la cubeta propiamente dicho, hasta el piso de la galería; la segunda comprende el colado hasta donde se inicia la bóveda. En esta sección se emplean cimbras convencionales o tubulares para el cimbrado de los muros y se aprovecha para dejar ahogadas unas guías que sirven para efectuar un tercer colado, la bóveda, para la cual se emplea cimbra convencional formada a base de cerchas forradas con duela para dar el radio establecido. Esta cimbra está provista de gatos que sirven para su nivelación, así como también de ruedas que se deslizan sobre vigas o rieles colocados sobre las guías ahogadas en el concreto del colado anterior. Los colados se realizan con una cimbra deslizante viajera montada sobre guías en forma de trapecio, en los volúmenes y alturas que se determinen en el campo y que sean prácticos hasta el enrase de los muros, que se ilustran en la figura III.74. Todos los colados de esta estructura se efectúan con ollas revolventoras de concreto a tiro directo, o bien, con bombas de concreto montadas sobre camión y con tubería suficiente de acuerdo a la altura y distancia del colado.



Figura III.74.-Construcción de muro divisorio del canal de descarga

### III.3.6.- Cubeta Deflectora

La descarga de los canales hacia el cauce natural se realiza mediante un trampolín de descarga libre o cubeta deflectora. La parte interior del trampolín tiene la configuración de una curva circular con un radio de 66.9981 m. Su longitud es de 38.261 m y su altura máxima de 8.00 m. La línea tangente al punto extremo del trampolín, tiene un ángulo de 20° con la horizontal hacia aguas abajo y tiene la elev. 255.00 en la salida.



El caudal a la salida de los canales descarga directamente sobre el terreno natural en la ladera, antes de incorporarse al cauce del río, aproximadamente 20 metros sobre su nivel. Se alojará bajo la cubeta una galería de 2.80 x 3.00 m.

La excavación de los canales es a cielo abierto en su totalidad y presentan un corte máximo del orden de 30 m y con taludes de 0.5:1 con 5 bermas en los primeros 200 metros en las elevaciones 456.000, 436.000, 416.000, 396.000 y 367.000 con taludes de 0.5:1.

Por la información geofísica de esta zona, se considera que la excavación de la cubeta se hará en su mayoría en material no competente, debido a que el techo de roca presenta una depresión que ha sido llenada por depósitos y materiales no consolidados.

### **Excavación**

En la zona de la cubeta, a lo largo de los 41 metros que la conforman se profundizará la excavación de acuerdo al proyecto, llegando a la elevación 230 en la zona del dentellón. El volumen estimado de excavación de la estructura, incluyendo la obra de toma es de 7,200,000 m<sup>3</sup> de los cuales se podrían aprovechar 6,120,000 m<sup>3</sup> con un factor de aprovechamiento de 0.85% quedando pendientes 600,000 m<sup>3</sup> para completar el enrocado de la cortina.

La excavación para la galería se hará mediante una zanja, de 2.80 m de ancho por 3.0 m de profundidad, en la estación 0+723.503. Las filtraciones se harán llegar al cauce del río por medio de una galería subterránea de características similares a las galerías de drenaje indicadas en las obras de contención.

### **Tratamientos**

Si fuera el caso se hará la restitución de la geometría de proyecto de las excavaciones mediante concreto dental, en cuyo caso se vaciará el concreto por medio de una bomba sobre camión, de tal forma que permita el llenado de la oquedad.

Previo a la colocación del concreto en el piso, se deberá colocar el anclaje a la roca y se deberán concluir los tratamientos que procedan conforme al proyecto. Serán anclas de 9 m de longitud para el piso.

En el proyecto se podrán colocar anclas de fricción de 25.4 mm de diámetro, de 4.50 y 6.00 m de longitud; anclas de fricción de 38.1 mm de diámetro, de 12 m de longitud y anclas de tensión de 31.75 mm de diámetro, de 6 o 9 m de longitud, tensadas a 18 toneladas.

Bajo la galería se perforarán drenes en la roca, de 6 m de longitud máxima.

### **Concreto**

Por último se realiza el colado de la estructura deflectora, en la cual después de colocado el acero de refuerzo, se emplea cimbra convencional en el número de secciones que se determinen en el campo, con el fin de manejar los volúmenes de concreto en forma ordenada. La colocación del concreto es a tiro directo y bombeado.



Por la geometría de la cubeta, se harán colados masivos, iniciando con uno de 2.50 metros de altura con cimbra trepante a todo el perímetro y dejando las preparaciones de acero para montar la cimbra y traslapar el acero de refuerzo otros 2.50 metros de altura. Se hará el colado mediante una bomba o "Creter crane".

La galería bajo la cubeta se hará con cimbra colapsable, de 10 m de largo montada sobre rieles.

Los colados de la piel del deflector se harán con cimbras especiales y se dará la forma con guías. El concreto será vaciado a superficie libre.

De acuerdo con la experiencia y dadas las altas velocidades (cerca de 40 m/s), se han previsto dos estructuras aireadoras en la rampa del canal.



### **III.4.- OBRAS DE GENERACIÓN**

#### **III.4.1.- Descripción General**

Las Obras de Generación son un conjunto de obras subterráneas y a cielo abierto para la generación de energía eléctrica, ubicadas en la margen derecha del río.

Descritas en el sentido del flujo de agua y localizadas en la margen derecha del río, las obras son las siguientes:

##### **Tuberías a presión.**

A continuación de la obra de toma, se localizan las tuberías a presión, las cuales consisten en tuberías (túneles) inclinadas de sección circular, excavadas en roca, revestidas con camisa metálica, empacadas con concreto y tratadas mediante inyecciones de consolidación para mejorar las condiciones mecánicas de la roca alrededor de las tuberías.

También está previsto efectuar inyecciones de contacto concreto-roca y concreto-lámina, respectivamente. Las tuberías tienen un diámetro interior de 7.25 m para conducir el gasto indicado de 236.8 m<sup>3</sup>/s para cada unidad.

La construcción de las tuberías a presión implica los problemas más difíciles de la construcción del proyecto por tratarse de túneles inclinados. En su procedimiento de excavación está previsto construir un túnel auxiliar de 300 m de largo, que comunicará la parte baja de las tuberías a presión, para extraer por este túnel el material producto de la excavación.

El túnel auxiliar parte del túnel de acceso a la casa de máquinas y comunica además la parte baja de la casa de máquinas, la parte baja de los pozos de oscilación y el túnel de desfogue. Para todas estas estructuras, el túnel auxiliar representa una gran ayuda para evitar interferencias, extraer material de excavaciones y como una vialidad indispensable para realizar las diversas actividades que demanda cada frente de trabajo.

##### **Casa de máquinas.**

A continuación de las tuberías a presión se encuentra la casa de máquinas, consiste en una caverna excavada en roca, con dimensiones de 22.2 m de ancho, 93.3 m de largo y 46.3 m de alto. En ella se deben instalar dos turbogeneradores con una carga neta de diseño de 166.75 m, para dar una potencia de 375 MW cada uno. Las turbinas deben ser tipo Francis de eje vertical. Se requiere su diseño para una generación total anual de 1318.38 GWh, con un factor de operación de planta de 0.198.

A la casa de máquinas se ingresa desde el exterior mediante un túnel de acceso vehicular de 10 m de ancho por 8 m de altura. Estas dimensiones están de acuerdo con las partes más grandes de los equipos que se van a instalar. La casa de máquinas debe contar con un



sistema forzado de ventilación por medio de cuatro lumbreras verticales. Adicionalmente se debe construir una lumbrera más para contener todos los cables de control, fuerza y medición.

En la casa de máquinas deben instalarse dos grúas viajeras con la capacidad conjunta para realizar el montaje y los servicios de mantenimiento de todos los equipos y sistemas auxiliares de los turbogeneradores. También se debe instalar una turbina auxiliar tipo Francis de eje horizontal, para suministro de energía eléctrica para los servicios propios de la planta en caso de emergencia.

### **Subestaciones.**

De la casa de máquinas, la energía se conduce a través de lumbreras verticales hasta la superficie, por medio de barras o buses de potencia a los transformadores que van a elevar el voltaje a 400 kV. La subestación debe ser del tipo blindado, con dispositivos en atmósfera de hexafloruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ) y se alojará en un edificio a cielo abierto construido en una plataforma donde se ubican los transformadores, casetas de ventilación y las subestaciones de servicios propios de la planta. A esta subestación que entrega la energía a una línea de transmisión en 400 kV, se le denomina “Subestación de potencia”.

Además de la subestación de potencia, existe otra subestación en la misma plataforma ubicada a elevación 350 msnm. En esta subestación se transforma la energía de 115 a 13.8 kV para los servicios propios de la planta una vez que se pone en servicio.

### **Galerías de oscilación.**

Las obras de generación se complementan además con pozos de oscilación excavados en roca, uno para cada turbina. Los pozos de oscilación son cilíndricos, tienen un diámetro de 16 m y una altura de 66.6 m.

El agua, una vez turbinada, es conducida por medio de túneles de aspiración a los pozos de oscilación donde pierde toda su energía mediante oscilaciones en estos pozos. En los pozos de oscilación se alojarán compuertas deslizantes movidas con una grúa viajera para poder aislar cualquiera de las unidades, cuando la otra esté en servicio. Con el uso de estas compuertas se pueden realizar los trabajos de inspección y mantenimiento de las partes bajas de las turbinas.

**Desfogue.** De los pozos de oscilación, el agua una vez utilizada se regresa al cauce natural del río por medio de un túnel de desfogue de 443 m de largo y 16 m de sección portal.

### III.4.2.-Casa de máquinas

#### III.4.2.1.- Excavaciones y/o cortes

La caverna de casa de máquinas, con 22.2 m de ancho, 93.3 de largo y 46.3 de alto, se aprecia en las figuras III.75 y III.76.

La primera fase de la excavación, requiere la construcción de un túnel de acceso de sección portal de 10 m x 8.5 m y 347 m de largo con trayectoria en dirección noreste hacia la bóveda de la caverna, como se observa en la figura III.77. Este túnel conduce al nivel de la planta de montaje de la caverna y sirve, además, como acceso a los codos inferiores de las tuberías a presión.

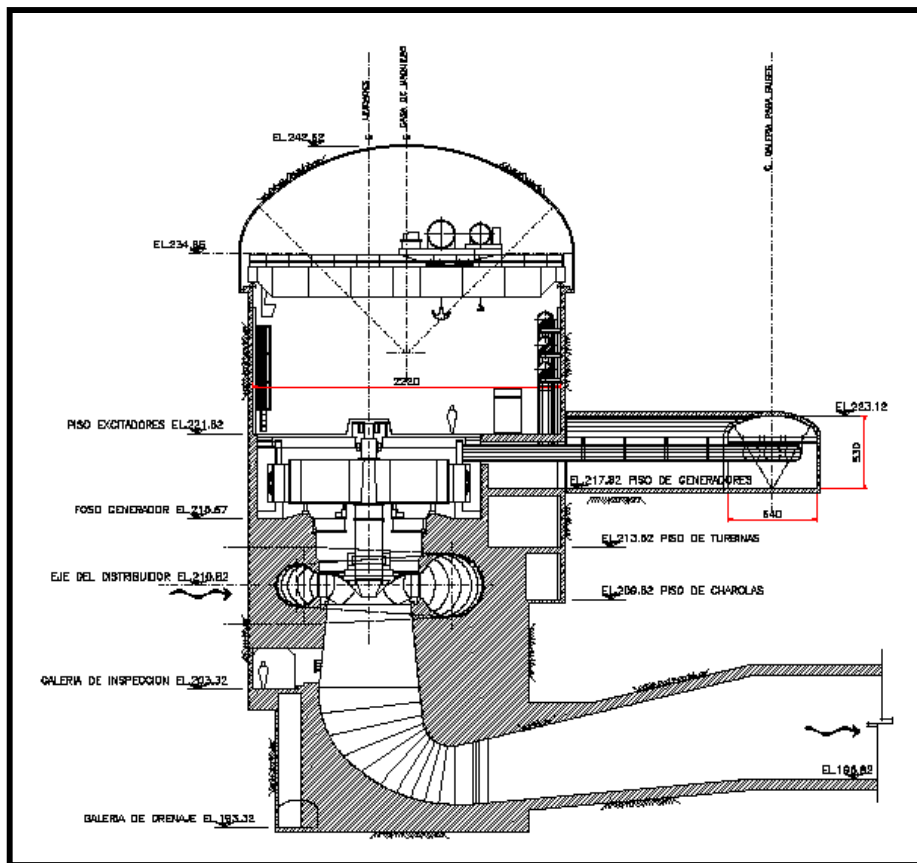
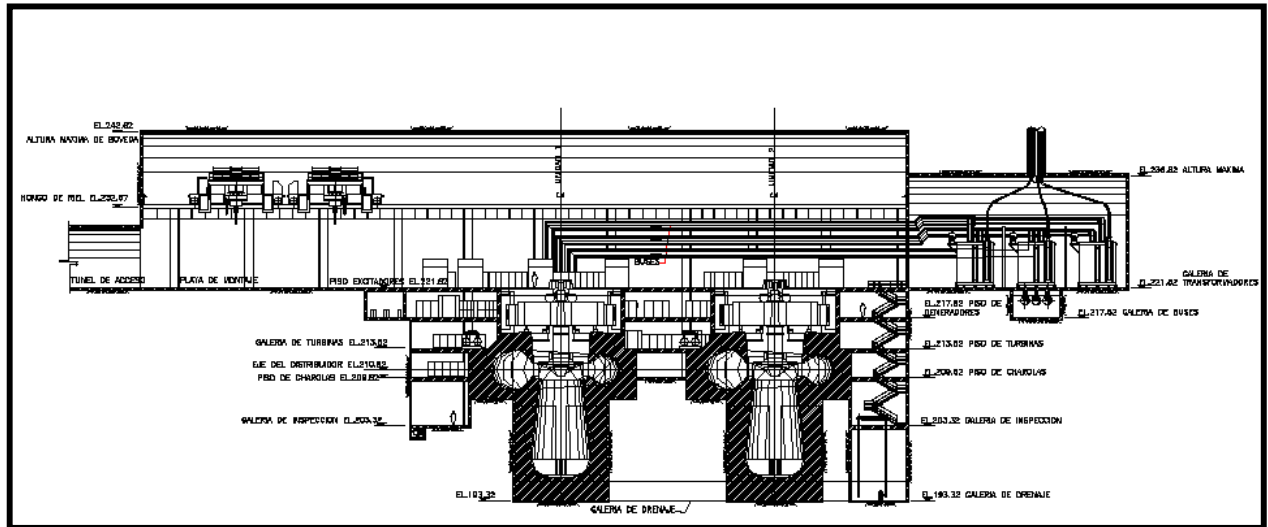


Fig.III.75.-Corte transversal de la caverna de casa de máquinas



**Fig.III.76.-Corte longitudinal de la caverna de casa de máquinas. Vista hacia aguas arriba**



**Fig.III.77.-Túnel de acceso a casa de máquinas y bifurcación a túneles auxiliares**

La figura III.78 muestra un resumen de las etapas de excavación con uso de explosivos de la caverna, mismas que se describen enseguida.



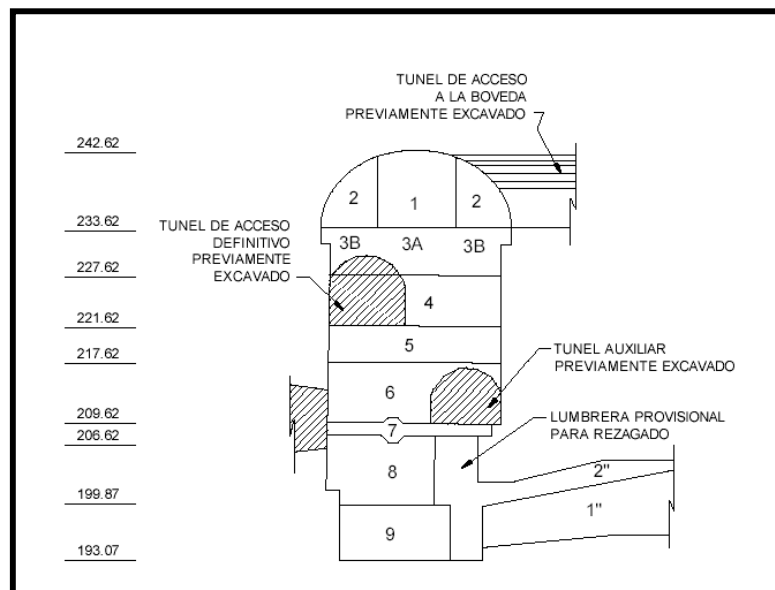


Fig. III.78.-Resumen de las etapas de excavación de la caverna de casa de máquinas

### Excavación de la bóveda (nivel 242.62 al 233.62), etapas 1 y 2

La bóveda de la caverna se excava con barrenación horizontal en tres etapas: una sección central (10 m de ancho x 9 m de altura) que se lleva adelante como sección piloto, mientras la segunda y tercera secciones (ampliaciones a 22 m de ancho) se excavan con un desfase de 15 a 20 m de la sección piloto.

La plantilla de voladura para la sección central se diseña con cuña al centro. En dicha cuña se utiliza sólo explosivo hidrogel, mientras que en el resto de los barrenos se utiliza una combinación de ANFO e hidrogel. En los barrenos del contorno (postcorte) se utilizan cargas espaciadas de hidrogel. El diámetro de barrenación para todos los barrenos cargados es de 47 mm (1 7/8").

El sistema de postcorte es obligatorio en la clave de la bóveda. La voladura de postcorte se realiza en el mismo evento que la voladura del resto de la sección, estando los barrenos de postcorte cargados con los estopines (noneles) de mayor retardo. La concentración de carga de hidrogel en los barrenos de postcorte es de 0.22 kg/m; la carga con explosivo se realiza en forma de "rosario" conservando su continuidad mediante cordón detonante Primacord.

La barrenación se realiza con jumbo electrohidráulico. La carga de barrenos se efectúa manualmente en el caso del hidrogel, y mecánicamente en el caso del ANFO, para lo cual se utiliza un equipo neumático antiestático. El método de iniciación de la voladura es a base



de detonadores de retardo no eléctricos (nonel), y con densidad de carga por voladura del orden de  $1 \text{ kg/m}^3$  de roca. Después de la voladura, el material se apila con un tractor D8 e inmediatamente es levantado con un cargador frontal tipo 90-C, el cual descarga a camiones fuera de carretera de 44 toneladas de capacidad. La rezaga se transporta por el túnel de acceso hacia el exterior.

Las técnicas empleadas en la excavación de las ampliaciones son las mismas que para la sección central piloto, con excepción de que en las ampliaciones la cuña no existe, en virtud de que la voladura tiene dos caras libres; al frente y al lado. Los barrenos se cargan únicamente con explosivo tipo hidrogel, con densidad de carga en los barrenos del contorno de  $0.22 \text{ kg/m}$ . La figura III.79 muestra la bóveda de la casa de máquinas.



Fig.III.79.-Excavación de la bóveda de la caverna de casa de máquinas

### **Excavación de banquetes (nivel 233.62 al 193.07)**

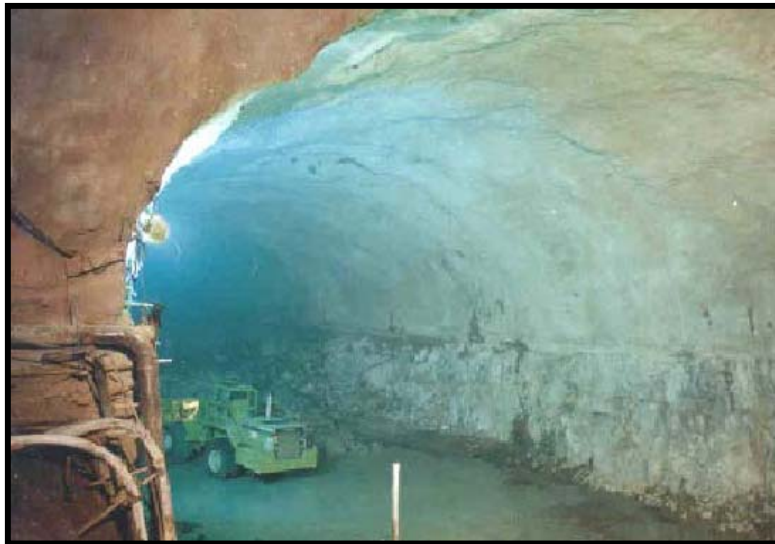
Los banquetes de la caverna de casa de máquinas se excavan en siete etapas:

- Etapa 3 (nivel 233.62 al 227.62)
- Etapa 4 (nivel 227.62 al 221.62)
- Etapa 5 (nivel 221.62 al 217.62)
- Etapa 6 (nivel 217.62 al 209.62)
- Etapa 7 (nivel 209.62 al 206.62)
- Etapa 8 (nivel 206.62 al 199.87)
- Etapa 9 (nivel 199.87 al 193.07)

Para la ejecución de la etapa 3, se requiere la excavación de la parte complementaria del túnel de acceso definitivo, en primera instancia. Dicho complemento tiene una longitud de 137 m y conserva la sección transversal de  $10 \text{ m} \times 8.5 \text{ m}$ .



Una vez excavada la bóveda, el siguiente nivel se excava en tres secciones. La primera; denominada sección central (6 m de altura x 14 m de ancho), se barrena y detona en primer lugar usando técnicas convencionales de voladura en banco, mientras que las ampliaciones (segunda y tercera secciones) de 4 m de ancho cada una, se barrenan y detonan con un desfase de 20 m, utilizando barrenación horizontal con jumbo mediante la técnica de postcorte mostrada en la figura III.80. El material producto de la excavación de esta etapa es removido, cargado y trasladado mediante el uso de cargador frontal y camiones fuera de carretera, siguiendo la ruta a través del túnel de acceso definitivo hacia el exterior.



**Fig.III.80.-Excavación de banquetes de la caverna de casa de máquinas. Etapa 3**

En esta etapa también se ejecuta la excavación de la bóveda de la galería de transformadores, del nivel 236.82 al 227.62. Puesto que el tipo de sección que presenta esta bóveda es similar a la de la bóveda de la caverna, el procedimiento de excavación que se emplea es idéntico al descrito para las etapas 1 y 2.

La etapa 4, incluyendo el complemento de la galería de transformadores, se excava con voladuras de dos líneas de barrenos a todo lo ancho de la caverna, utilizando perforadoras neumáticas tipo track-drill para la barrenación tanto de banqueo como de precorte. El precorte se realiza antes de la voladura del banco. Con objeto de ganar tiempo en los banquetes inferiores, desde este nivel se barrena el precorte hasta la elevación 206.6 en la pared aguas arriba y hasta la elevación 209.6 en la pared aguas abajo; niveles específicos de diseño, excepto en la galería de transformadores, cuyo precorte se barrena hasta la elevación 221.62 (piso de la galería).

El precorte se realiza perforando una sola línea de barrenos cercanos entre sí, a lo largo del perímetro de la voladura principal. El diámetro de los barrenos de precorte es de 75 mm



(3”) y el espaciamiento entre ellos es de 70 cm. En todos los barrenos de la línea a precortar se utilizan cargas espaciadas en “rosario” con explosivo hidrogel y cordón detonante Primacord reforzado. En el fondo de cada barreno de precorte se deposita 1 kg de hidrogel con objeto de vencer el esfuerzo cortante en la pata del barreno. La concentración de carga en los barrenos del precorte es de 0.24 kg/m. La rezaga del material producto de las voladuras se transporta hacia el exterior vía el túnel de acceso definitivo.

Una vez ejecutado el precorte desde el banqueo anterior, la etapa 5 se ejecuta a todo lo ancho de la caverna usando el mismo equipo de barrenación y las mismas técnicas de voladura del banqueo de la etapa 4. El factor de carga para las voladuras de banqueo es de  $0.4 \text{ kg/m}^3$ , con dos líneas de barrenos por voladura.

Concluida la excavación de la etapa 5, a partir de su nivel inferior, también se realiza la excavación de la galería de buses, del nivel 223.32 al 217.62. Esta excavación, con una sección de 6.8 m de ancho x 5.7 m de altura, por ser tipo bóveda, se ejecuta de manera similar a la etapa 1 (sección piloto de la bóveda de la caverna). La rezaga producto de las voladuras es removida y trasladada por cargadores frontales y camiones fuera de carretera que viajan a través de una rampa dentro de la caverna hacia el túnel de acceso definitivo y hacia el exterior.

La excavación de las etapas 6 y 7 requiere la construcción de un túnel auxiliar de 145 m de largo y sección 9 m x 7 m que conecta el túnel de acceso al codo inferior de la tubería a presión No. 2 y al tímpano norte de la caverna. Es importante mencionar que como parte de la planeación, es necesario excavar las porciones horizontales de las tuberías a presión utilizando un túnel de acceso auxiliar que parte del túnel de acceso definitivo y cuya trayectoria sirve para los dos codos inferiores de las tuberías a presión.

Este túnel se prolonga hasta ligarlo con el tímpano norte de la caverna, con lo que se agiliza la excavación de la caverna y la etapa de colocación de concreto, ya que se trata de un acceso a un nivel intermedio de la caverna, vista en la figura III.81. Esta ruta se utiliza para rezagar los niveles de la elevación 217.62 a la 206.62 y también para introducir por ahí las columnas y trabes para la guía viajera definitiva. De no construir este túnel, la instalación de la superestructura metálica es prácticamente imposible. El banqueo de estas etapas se realiza aplicando las mismas técnicas y equipos de las etapas anteriores, siendo transportada la rezaga cuesta arriba a través de la ruta señalada.

El propósito de tener acceso al nivel intermedio de la caverna, conlleva también, para agilizar la excavación, adicionar un túnel de acceso en la parte inferior de la caverna, para lo cual se construye un túnel que cruza los pozos de oscilación en su parte baja y cuyo destino es cada uno de los fosos de la caverna. El complemento de este túnel lo constituyen túneles pilotos excavados dentro de la sección correspondiente de los túneles de aspiración como el de la figura III.82. Estos túneles piloto tienen doble función:



Primeramente permitir el ingreso lo más rápido posible al fondo de la caverna, y en segundo lugar, permite la excavación de los mismos túneles de aspiración en condiciones de máxima seguridad, ya que los túneles de aspiración son bastante anchos y de bóveda plana, y dicha sección piloto resulta ser el ataque más conveniente, como se observa en la figura III.83.



**Fig.III.81.-Excavación de túnel auxiliar a tuberías a presión y tímpano norte de casa de máquinas**



**Fig.III.82.-Excavación túnel piloto de aspiración. Al fondo se observa el foso de una de las unidades en casa de máquinas**



**Fig.III.83.-Excavación de túneles de aspiración**

La excavación de los fosos para turbinas (etapa 8) se realiza también utilizando las técnicas de precorte y voladura abierta. El precorte se ejecuta en toda la profundidad restante, desde la elevación 206.62 a la 193.07, mientras que el banqueo se divide en dos partes iguales (de la elevación 206.62 a la 199.87, y de la elevación 199.87 a la 193.07). El material producto de las voladuras en esta etapa se rezaga impulsándolo primeramente con tractor a través de una lumbrera previamente excavada que liga el foso con el túnel de aspiración; enseguida el material es levantado con cargador frontal y descargado en camiones fuera de carretera, cuyo ingreso es a través de cada uno de los túneles de aspiración. La figura III.84 muestra la excavación de esta etapa 8.

La ejecución de la etapa 9 es bastante rápida, ya que el precorte se realiza desde la etapa anterior y sólo se ejecutan voladuras convencionales de banqueo. La rezaga del material se efectúa exactamente igual que en la etapa 8.

La figura III.85 presenta un plano isométrico de las estructuras subterráneas excavadas en roca, donde se aprecian la caverna de casa de máquinas y los pozos de oscilación, así como el complejo de túneles permanentes y auxiliares.



Fig.III.84.-Excavación de los fosos de las unidades de casa de máquinas

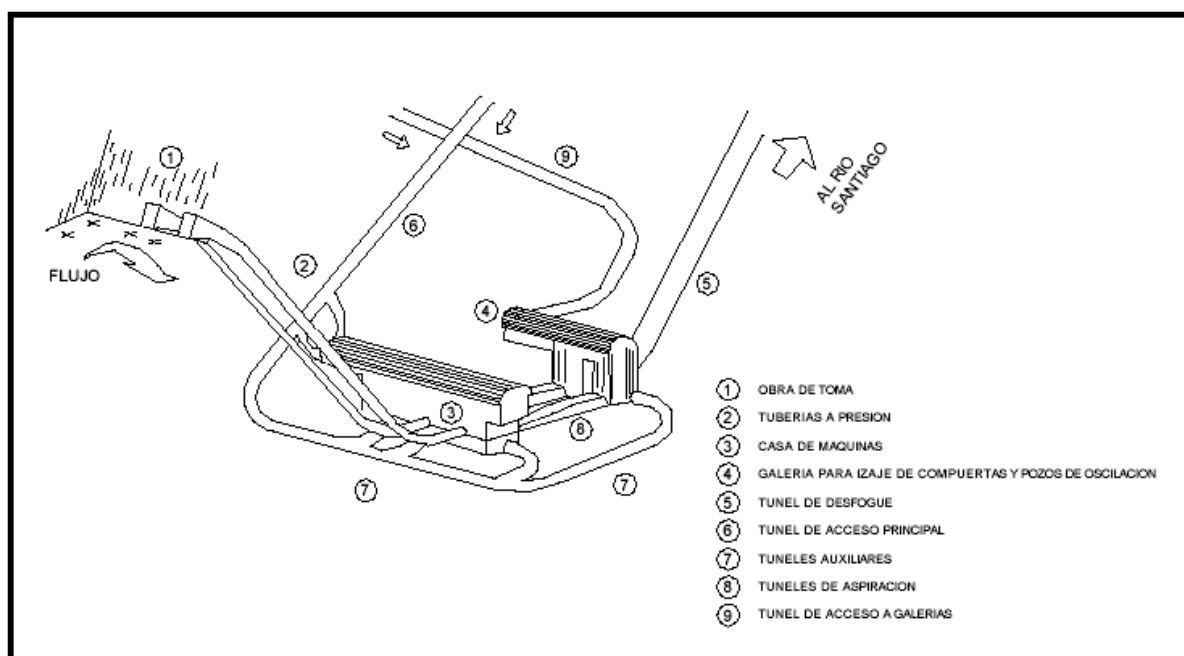


Fig.III.85.-Plano isométrico del complejo subterráneo



### III.4.2.2.- Estabilidad de taludes

#### *Soporte*

Cualquier terreno al ser excavado sufre modificaciones estructurales, siendo sometido a esfuerzos distintos a los que estaba sujeto en su estado natural de reposo, y dependiendo del tipo de excavación, son las alteraciones que sufre en su estabilidad.

Los tratamientos de la roca son métodos o sistemas que se utilizan para asegurar la estabilidad del terreno que se va excavando, mejorando las propiedades mecánicas de la roca. Los tratamientos de la roca para la estabilización de taludes en las excavaciones (cortes) de las estructuras que conforman el P.H. El Cajón, consisten básicamente en:

Soporte a base de anclaje, drenaje y protección con concreto lanzado reforzado con malla electrosoldada. A continuación se describe la metodología utilizada para la ejecución de estos tratamientos.

#### **Anclaje en la bóveda de la caverna**

La bóveda se soporta con anclas de tensión de 12 m de longitud y 25 mm de diámetro, siendo el ancla una varilla corrugada de  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$  con ciertas adaptaciones que se describen más adelante. Las anclas se tensan a 5 t y se instalan en un patrón de 1.4 m x 1.4 m en tresbolillo. Para este anclaje se utiliza resina epóxica, lo cual acorta considerablemente el ciclo de trabajo (20 min por ancla instalada es el tiempo promedio).

Los barrenos para las anclas (47 mm de diámetro) se ejecutan con un jumbo electrohidráulico de tres perforadoras, con centralizadores en cada brazo para facilitar la barrenación hasta 12 m de profundidad. El lavado del barreno consiste en la eliminación de los residuos de la barrenación, y se logra simultáneamente con la perforación, debido al agua de enfriamiento utilizada por el propio jumbo. La colocación de anclas se realiza con track-drill o jumbo de barrenación.

Las anclas colocadas son de varilla corrugada de diámetro y longitud de proyecto, con preparativos de la siguiente manera: en un extremo se les habilita terminación en punta y en el otro se les sueldan birlos cold-roll con cuerda fina de longitud de 20 cm. Se bisela la unión cold-roll-varilla y se utiliza soldadura E7018. Con el propósito de fijar rápidamente el ancla y dar margen a las maniobras del tensado de la misma, se colocan tres cartuchos de resina de fraguado rápido al fondo del barreno y el resto se llena con resina de fraguado lento. Una vez que fragua la resina rápida, se dispone de 13 minutos más para tensar el ancla.

Para este fin, se coloca previamente una placa y tuerca en el extremo roscado para aplicar la tensión de 5 t mediante una pistola de impacto calibrada. La figura III.86 presenta el proceso de anclaje en la bóveda de la casa de máquinas.





Fig.III.86.-Colocación de anclas con track-drill en la bóveda de casa de máquinas

### Anclaje en las paredes de la caverna

El sistema de soporte de las paredes es a base de anclas de acero de  $f^y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . En general, se especifican patrones sistemáticos de anclas de fricción inyectadas con lechada, con longitudes de 15 y 9 m y de 37 mm de diámetro en barrenos de 76 mm.

En las paredes altas verticales de la caverna, las anclas se instalan con una inclinación ligeramente ascendente con patrones sistemáticos especificados; sin embargo, en zonas localizadas de fallas y cuñas potencialmente inestables se especifican patrones adicionales de anclaje intermedios a los de proyecto.

La barrenación para las anclas se realiza utilizando perforadoras tipo track-drill y jumbo electrohidráulico de dos brazos, como el de la figura IV.4.13. Durante y posteriormente a la barrenación, se lava con agua a presión toda la longitud del barreno hasta recuperar el agua limpia libre de residuos de perforación.



Fig.III.87.-Barrenación para anclaje en las paredes de la caverna. Al fondo se nota el túnel auxiliar al tímpano norte de la casa de máquinas



Previamente a la colocación de anclas, se les colocan a las mismas tres centradores, los cuales consisten en alambroón de ¼" de diámetro y 10 cm de longitud, colocados alrededor del ancla y espaciados a cada 1.5 m.

A todo lo largo del ancla se instala una manguera flexible de 3/8" de diámetro con la finalidad de desalojar aire y permitir el retorno de la mezcla, lo cual garantiza el llenado de todo el barreno. Además, se coloca una manguera de poliducto de 35 cm, introduciendo 10 cm dentro del barreno y el resto en el exterior.

Después de colocada el ancla, se procede al calafateo con mortero seco en el brocal del barreno, dejando libres las mangueras de inyectado y testigo.

La mezcla de inyección consiste en lechada con agua-estabilizador de volumencemento con  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$  con la siguiente proporción: agua 26 l; interplast "C" 175 g; y cemento puzolánico tipo I, 50 kg. Las propiedades físicas de la mezcla son: fluidez, 9-11 s; y densidad de 1.7 a 1.76  $\text{g/cm}^3$ .

Después de preparar la lechada, se procede al inyectado del ancla utilizando un tanque presurizado. Se deja fluir la mezcla por el poliducto verificando la salida del aire y mezcla por la manguera flexible hasta el llenado total. Finalmente, se le da un doblez y amarre al poliducto y manquera para evitar el retorno de la mezcla. Se debe asegurar, por lo menos, una presión de inyectado de 5  $\text{kg/cm}^2$  en el tanque presurizado.

Las longitudes y especificaciones del anclaje en la caverna de casa de máquinas muestran en la figura III.88

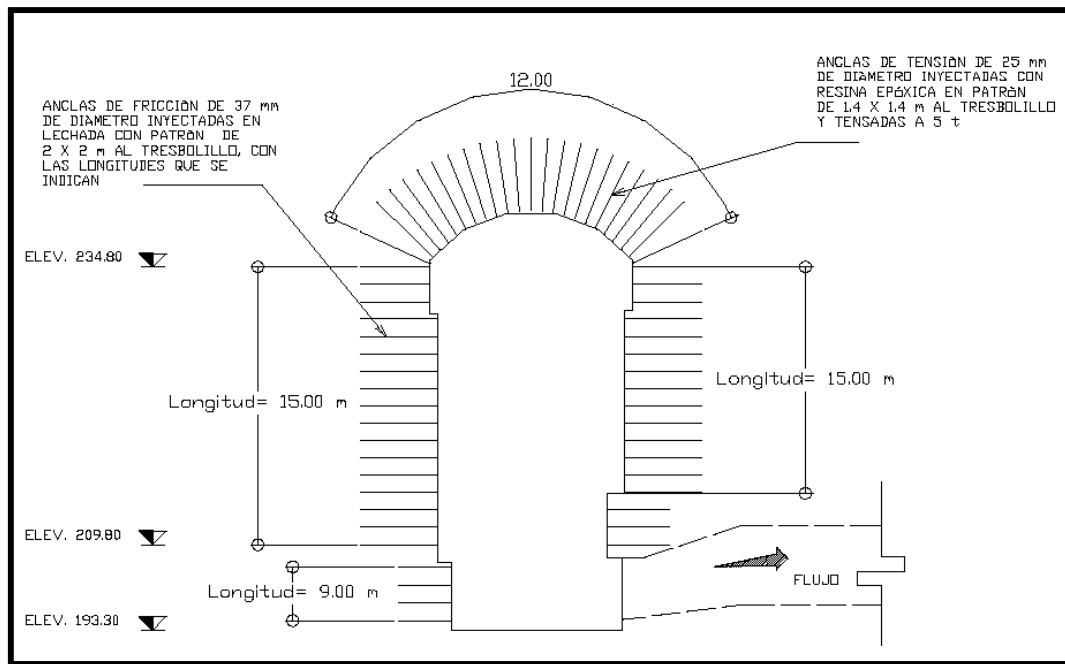


Fig.III.88.-Anclaje en la caverna de casa de máquinas



### ***Drenaje***

Este tratamiento consiste en la perforación de barrenos de 9 m de longitud y 76 mm de diámetro, cuya función es drenar el agua producida por filtraciones y bolsas de agua, canalizando ésta hacia puntos bien definidos, reduciendo la carga hidrostática que soporta la roca. La ubicación de estos barrenos se realiza de manera selectiva en zonas de filtraciones importantes.

### **III.4.2.3.- Revestimiento con concreto hidráulico**

#### **Acero de refuerzo**

El acero de refuerzo que se utiliza en la casa de máquinas se habilita en un patio destinado a este fin, el cual se ubica afuera y en la proximidad de las obras subterráneas; en el interior de la caverna sólo se realiza la colocación de dicho acero, con la finalidad de lograr fluidez en los preparativos para los colados. En la casa de máquinas, el acero se resume a los diámetros  $\frac{1}{2}$ ",  $\frac{3}{4}$ ", 1" y  $1\frac{1}{2}$ ", con un  $f_y=4200\text{ kg/cm}^2$ .

#### **Concreto hidráulico**

Todo el concreto que se coloca en la casa de máquinas tiene un estricto control de calidad, y se clasifica en las siguientes fases:

#### **Suministro**

##### **Cemento.**

El cemento que se usa en la elaboración del concreto es del tipo I, colocado a granel por tolvas transportadoras en la planta dosificadora. La descarga del cemento de las tolvas a los silos de almacenamiento se realiza por medio de sopladores (aplicación de aire a presión). Se dispone de silos horizontales y verticales con capacidad de 120 y 70 t respectivamente.

##### **Agregados.**

Los materiales pétreos que se emplean en la elaboración del concreto se extraen de diferentes bancos y se transportan a la planta clasificadora, en la cual se obtienen arena, grava 1 ( $\frac{3}{4}$ ") y grava 2 ( $1\frac{1}{2}$ "). Estos agregados se transportan y colocan en los bancos de almacenamiento de la planta dosificadora. Los bancos de almacenamiento se delimitan con muros de mampostería para evitar la contaminación entre los agregados y se acondicionan con una pendiente en el piso con el fin de drenar las captaciones de agua y evitar la saturación de los materiales almacenados.



### Agua.

El agua se obtiene de un cárcamo construido en la proximidad del río y es bombeada a una cisterna, y de ésta, transportada por gravedad al tanque de almacenamiento.

Al considerar que la temperatura del concreto al salir de la planta dosificadora debe ser de 20 °C, con el fin de colocarlo en las diferentes estructuras con una temperatura de 22 a 23 °C, se usa hielo tipo escarcha.

El hielo se fabrica en una planta montada junto a la dosificadora con una capacidad de producción de 2 t/h y 100 t de almacenamiento. Dado que la cantidad de hielo empleado en la elaboración del concreto depende de la temperatura ambiental y de la de los materiales, representa, generalmente, del 50 al 70% del volumen calculado para el agua en la dosificación.

### Aditivos.

En la producción de concretos se utiliza un aditivo reductor de agua en un 0.6% respecto al contenido de cemento (en peso), con el fin de aumentar su resistencia conservando su manejabilidad.

### Fabricación

Todos los concretos de la casa de máquinas se diseñan con una resistencia de 200 kg/cm<sup>2</sup>, con la proporción indicada en la tabla III.3.

**Tabla III.3 Proporción de materiales en el diseño de concretos**

Material	Proporción
Cemento	275 kg
Arena	792 kg
Grava	1 630 kg
Grava	2 421 kg
Agua	176: 1 (50-70% de hielo)
Aditivo	165: 1

FUENTE: Procedimientos Constructivos del PH El Cajón, CIISA

Los agregados procedentes de los bancos de almacenamiento se depositan en la tolva receptora por medio de cargadores sobre neumáticos. Por medio de una banda transportadora radial se distribuyen a las diferentes tolvas para ser pesados, de acuerdo a la dosificación empleada, y se descargan uniformemente en otra banda con destino a las ollas revolventes. En forma similar, el cemento se pasa de los silos de almacenamiento a los



silos pulmón, donde se pesa y se dosifica con los agregados, transportándose en conjunto al mezclado de los mismos por medio de la banda radial. El agua, hielo y aditivo, se pesan en la báscula y se suministran directamente a las ollas de mezclado.

Una vez que se colocan todos los materiales en el interior de las ollas de mezclado, se fusionan por ésta mediante rotación con una velocidad de 10 a 12 rpm durante 2 min.

### **Transporte**

El concreto fabricado se transporta para su colocación en las diferentes estructuras de la casa de máquinas por medio de ollas revolventoras con capacidad de 5 m<sup>3</sup>.

En general, las fases mencionadas para el concreto hidráulico utilizado en la casa de máquinas, son aplicables para el resto de las estructuras que conforman el proyecto.

### **Concreto en bóveda**

#### **Losas de piso.**

Una vez concluida la excavación de la bóveda de la casa de máquinas (nivel 233.62 al 242.62), se efectúa la limpieza de una franja de 1 m de ancho en el piso de la excavación, a ambos lados y a todo lo largo de la misma, con la finalidad de colar dos losas que sirven para desplantar las paredes laterales.

#### **Paredes laterales.**

Los siguientes elementos por colar son las paredes laterales hasta la elevación 236.9, para lo cual se coloca, posteriormente al armado del acero de refuerzo, cimbras metálicas convencionales del tipo Dalmine autosoportables a base de “sheabolts” y/o “pig tails” con el peralte adecuado y longitud de 24 m. Esta actividad se efectúa simultáneamente en ambos lados de la bóveda, por lo que se requieren dos juegos de cimbra.

El concreto se coloca con motobombas, utilizando para su compactación vibradores de inmersión y de pared. Paralelamente a esta actividad y en ambos extremos se cuelan los tímpanos.

#### **Losa superior (bóveda).**

Posteriormente al colado de las paredes laterales, habiendo dejado los preparativos necesarios (traslapes de acero y juntas de colado), se ejecuta el armado de la bóveda con su anclaje necesario, para dar paso a la colocación de una cimbra monolítica de sección de arco superior, construida con soportes y superficie metálica, costillas laterales y atiesadores horizontales convenientemente distribuidos y rigidizados en sus extremos; con ventanas de inspección de 40 x 60 cm para colado y vibrado, distribuidas alternadamente a lo largo de la cimbra para cubrir de esta manera la superficie total por revestir. Dicha cimbra tiene una longitud de 10 m y se ajusta por medio de gatos hidráulicos localizados en la parte superior,



corre encima de trucks sobre vía apoyada en el piso de la excavación, en soportes de madera suficientemente rígidos para soportar la carga.

La colocación del concreto se efectúa por medio de motobombas y tubería habilitada en un extremo con un cañón neumático, lo que permite retacar el concreto en el molde, asegurando un llenado total del mismo. Este ciclo es repetitivo hasta cubrir el total de la bóveda.

### **Concreto en losas de piso**

Cuando las excavaciones de la casa de máquinas se concluyen al nivel 193.07, se inician nuevamente las actividades del revestimiento con el armado de la losa de piso de 25 cm de espesor a todo lo largo de la excavación, el cual se efectúa en áreas de 3.5 x 3.1 m con sus juntas de construcción debidamente preparadas; estos son los últimos concretos que se colocan a tiro directo en casa de máquinas.

### **Concreto en paredes laterales**

Concluidos los colados en los pisos y con el acero de traslape preparado, se da inicio a los armados de las paredes laterales de la excavación.

Cuando los armados concluyen, se colocan cimbras deslizantes, las cuales tienen 20 m de longitud y 1.2 m de peralte, en ambos lados. Para el apoyo de la cimbra se prevén barrenos y colocación de anclas a cada 2.5 m a todo lo largo de la excavación.

Teniendo la cimbra en posición, se procede a colar un lado mientras que en el otro se efectúan los preparativos, de tal forma que cuando se termina de colar una de las alas se prosigue con la otra.

En el lado de aguas arriba se realiza el colado hasta la elevación 203.32 (piso de la galería de inspección) y se cambia la cimbra para colar los muros hasta la elevación 233.62. En esta etapa se dejan ahogados bastones de varilla de  $\frac{3}{4}$ " de diámetro a cada 60 cm (zona comprendida entre el foso del generador y tubería a presión), los cuales sirven para los traslapes del acero en los segundos colados.

Cuando se efectúa el deslizado en los muros, los bastones tienen que doblarse para posteriormente enderezarse y efectuar la continuación del acero con una limpieza previa.

Del lado aguas abajo se realiza lo mismo con los bastones que se encuentran entre las elevaciones 201.32 y 212.82, y la cimbra se reinstala cada vez que se encuentra un escalón hasta llegar a la elevación 233.62 en ambos casos.



### **Concreto en galerías de transformadores y buses**

A partir de la elevación 221.82 (piso de excitadores) y hasta la elevación 236.82, se efectúa el revestimiento de la galería de transformadores. Los concretos se ejecutan utilizando la cimbra deslizante y la misma metodología aplicada en la bóveda de la caverna para la losa superior y paredes laterales. Asimismo, paralelamente a estos colados se ejecuta el revestimiento de la galería de buses, del nivel 223.32 al 217.62; para ello se utilizan estructuras para obra falsa y cimbra metálica, ambas del tipo Dalmine o similar.

### **Concreto en segundos colados**

Una vez concluido el revestimiento de las paredes laterales de la casa de máquinas, se da paso al montaje de la obra electromecánica e inicio de los segundos colados en conjunto con la galería de drenaje, utilizando moldes metálicos fijos en las paredes laterales y una cimbra de media sección circular apoyada en los mismos muros con anclas de 1 ½” de diámetro. Los colados de dicha galería se inician a partir del cárcamo de bombeo hacia el extremo opuesto. Asimismo, se procede al colado de la galería de inspección, la cual dada su geometría, el colado se efectúa con moldes metálicos autosoportables.

Antes de iniciar los montajes se realiza el revestimiento de la zona de montaje en la elevación 221.82 (piso de excitadores), y posteriormente a esta actividad se montan los codos de aspiración y se realizan los colados que alojan dichas piezas.

Para el revestimiento de la galería de charolas se utiliza cimbra convencional, debido a las piezas que quedan ahogadas en esta estructura. El colado se realiza después de que se ejecutan los armados del piso del foso del generador y del piso de excitadores.

Todos los concretos que se colocan en casa de máquinas son conducidos a las diferentes estructuras por medio de ollas revolventoras que descargan en una tubería vertical colocada en una lumbrera de ventilación. Esta tubería es de acero cédula 40 y 10” de diámetro con descarga a un tanque amortiguador, y de éste a una tolva receptora con capacidad de 6 m<sup>3</sup>, dispuesta de tal forma que pueda vaciar a las ollas revolventoras para conducir el concreto al sitio de colocación.

En la figura III.89 se muestra el proceso de armado y colado en las paredes laterales de la caverna de casa de máquinas. En la figura III.90 se aprecia el armado para segundos colados.

### **Concreto en losas de entrepiso**

Entre cada unidad se tienen que construir losas de concreto armado, para lo cual se usan estructuras del tipo tubular, Dalmine o similar, que actúan como obra falsa.



Todos los concretos que se colocan en estas etapas son bombeados utilizando instalaciones apropiadas, tuberías de aluminio de 5" de diámetro con conexiones rápidas, y un tramo de manguera flexible al final de la tubería para facilitar la colocación del concreto.

Las figuras III.91 y III.92 presentan los procesos de armados y colados en las unidades de la caverna de casa de máquinas.

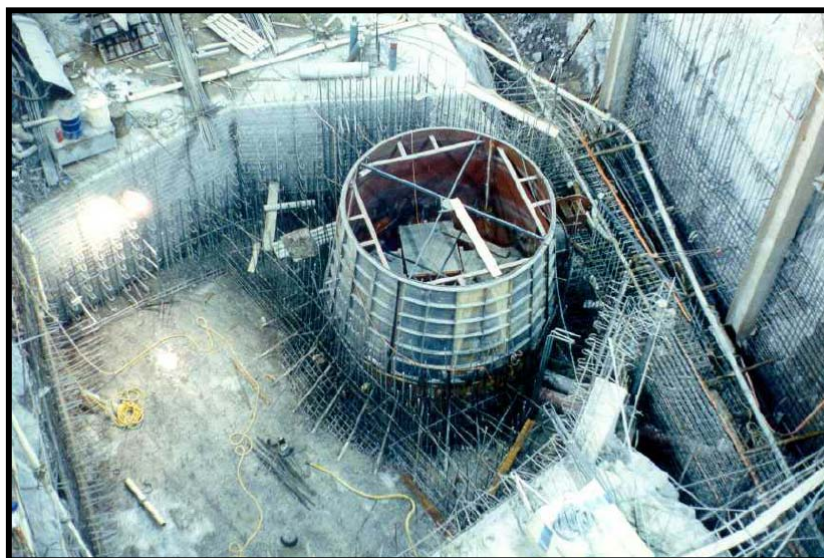


**Fig.III.89.-Revestimiento con concreto en paredes laterales de la casa de máquinas**



**Fig. III.90.-Proceso de colocación de acero de refuerzo en fosos de generadores**





**Fig.III.91.-Proceso de armado y colado en foso del generador**



**Fig.III.92.-Proceso de revestimiento con concreto armado de la carcasa del Generador**



### III.4.3.-Montaje del equipo electromecánico

A continuación se describen en forma breve las actividades del montaje de los equipos electromecánicos del P.H. El Cajón, los cuales se listan enseguida:

- Compuertas de cierre provisional y cierre final para los túneles de desvío
- Compuertas radiales para la obra de excedencias
- Compuerta tipo vagón para la obra de toma
- Compuertas tipo tablero para la galería de oscilación
- Grúas viajeras de casa de máquinas
- Turbogeneradores
- Subestación encapsulada aislada en SF<sub>6</sub>
- Compuertas de cierre provisional y cierre final para los túneles de desvío.

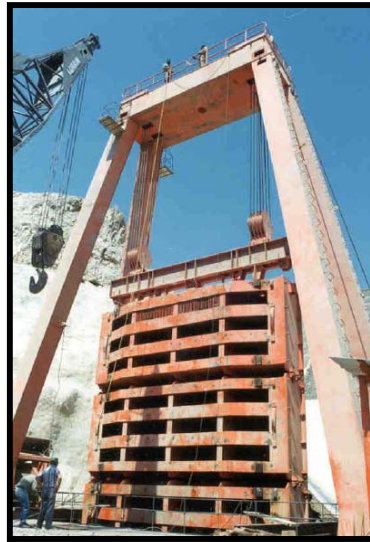
En el portal de entrada de los túneles de desvío se instalan obturadores tipo tablero de dimensiones 14.00 x 14.00 m, para una carga hidráulica de 38 m. La finalidad de instalar estos obturadores es la de tener condiciones de control para un cierre provisional y poder efectuar revisiones y mantenimientos en cualquiera de los túneles.

Asimismo, una vez terminada la construcción de las diferentes estructuras de control, estar en condiciones de obturar cada uno de los túneles y construir los tapones del concreto de cierre definitivo.

En el túnel N° 2 del desvío se construye una lumbrera ubicada aproximadamente a un tercio de la longitud del túnel, con el objeto de instalar en ella una compuerta denominada de cierre final de 7.00 x 14.00 m, ilustrada en la figura III.93. Tanto esta compuerta como un obturador H=38, fueron utilizados en la C.H Aguamilpa y se encuentran actualmente en los almacenes de CFE.

Independientemente de las compuertas antes indicadas, se diseñan y fabrican dos adicionales de las características del obturador H=38 para los túneles 1 y 3, así como sus estructuras y mecanismos de izaje, dar mantenimiento a los existentes, transportarlos y montarlos bajo la responsabilidad del contratista montador.

En cada uno de los portales de entrada se construye la estructura para alojar los obturadores, ésta consiste en partes fijas metálicas embebidas en concreto, las cuales sirven de apoyo para instalar el riel que sirve de guía para el deslizado de los obturadores, y en la lumbrera de cierre final para el deslizado de la compuerta.



**Fig.III.93.-Proceso de armado en sitio de la compuerta de cierre final**

El montaje consiste en instalar la estructura de maniobras con sus mecanismos y polipastos de izaje perfectamente anclados al piso y alineados al eje de la ranura de la lumbrera, actividad que se realiza con apoyo de grúas autopropulsadas. Cada sección del obturador o de la compuerta se posiciona sobre vigas denominadas “camellos” con el objeto de ensamblar el inmediato superior a través de tornillería de acero inoxidable y verificar que el sello tipo “nota musical” quede debidamente colocado sobre la superficie de sello. Conforme se van ensamblando las secciones el obturador se va introduciendo en la lumbrera, quedando el obturador, una vez terminado su ensamble, apoyado sobre los camellos y soportado por los malacates.

La figura III.94 muestra el proceso de deslizamiento de la compuerta de cierre final.



**Fig.III.94.-Deslizamiento de la compuerta de cierre final**



### III.4.3.1.- Compuertas y Grúas

#### - Compuertas radiales para la obra de excedencias

La obra de excedencia es del tipo cresta, controlada con seis compuertas radiales de 10.20 m de ancho y 19.89 m de altura.

Sobre el cimacio y al costado de cada pila de concreto se instalan partes fijas de primeros y segundos colados fabricadas en acero al carbón e inoxidable para la viga de asiento y las guías radiales de las compuertas, respectivamente. Aguas abajo de las pilas se instalan las vigas testeras debidamente postensadas y que sirven para apoyar los brazos de las compuertas. Asimismo, se montan las chumaceras para los servomotores hidráulicos. Las compuertas son suministradas en secciones previamente presentadas en fábrica para facilitar el ensamble en obra. Estas compuertas, con apoyo de grúas autopropulsadas, se montan una a una dentro de su vano correspondiente, tal cual se aprecian en la figura III.95.

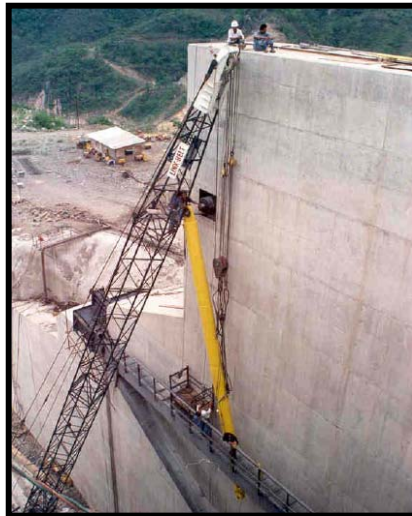
El montaje consiste en presentar cada una de las secciones, alineándolas con respecto a las guías radiales y haciendo coincidir los cartabones entre secciones y aplicar soldadura en la unión de cada sección usando máquinas soldadoras tipo SAF 600 de 480 VCA.



**Fig.III.95.-Montaje de las compuertas radiales**

El sistema de izaje se hace a través de los servomotores hidráulicos acoplados a las compuertas, y accionados por medio de centrales oleodinámicas desde una caseta local ubicada en el sitio del vertedor, como se aprecia en la figura III.96.

Para el mantenimiento de las compuertas radiales se suministran agujas, las cuales quedan instaladas en ranuras aguas arriba de las compuertas sobre guías de primeros y segundos colados. Para operar estas agujas se monta sobre el puente del vertedor una grúa pórtico con traslación sobre rieles, la cual posiciona una a una las agujas en el vano que requiera mantenimiento.



**Fig.III.96.-Proceso de montaje de los servomotores**

Por la importancia que tiene esta estructura para la seguridad del proyecto, es necesario que se instale una planta diesel de emergencia generadora de energía eléctrica y que quede alojada en la caseta de la subestación del vertedor.

#### **- Compuertas tipo vagón para la obra de toma**

La toma se inicia en un canal excavado a cielo abierto. El ingreso del flujo a la conducción forzada se realiza a través de dos bocatomas protegidas por rejillas metálicas y controladas con dos compuertas tipo vagón, de sección rectangular.

Las estructuras de rejillas se colocan sobre una rampa inclinada  $26.5^\circ$  con respecto a la horizontal, rematada en una estructura de apoyo para el puente de maniobras. La conducción a presión la forman dos tuberías de acero de 7.25 m de diámetro y 135.00 m de longitud cada una.

Las compuertas tipo vagón están constituidas por tres elementos soldados entre sí.

Están provistas de sellos tipo nota musical en todo el perímetro de la cara aguas abajo y rodamientos para el deslizado a través de la rampa inclinada.

La estructura de obra de toma consiste en una rampa inclinada  $26.5^\circ$ , con dos ranuras por vano, una donde se alojan las compuertas de servicio y una más para la compuerta auxiliar o de mantenimiento. En cada ranura se instalan elementos metálicos denominados partes fijas de primeros y segundos colados; estos últimos son pistas de deslizamiento fabricadas con acero inoxidable y sirven como guía y apoyo para las compuertas, éstas se ilustran en la figura III.97.



Sobre el puente de maniobras se instalan dos servomotores hidráulicos, los cuales se conectan a través de vástagos a las compuertas de servicio. Estos servomotores son accionados por centrales oleodinámicas de operación remota y local. Asimismo, se instala una grúa pórtico de traslación sobre rieles a todo lo largo del puente de maniobras, con la finalidad de poder accionar la compuerta auxiliar desde la cámara de mantenimiento hasta los vanos auxiliares, y a su vez la compuerta de servicio y vástagos a la cámara de mantenimiento, esto se aprecia en la figura III.98.



**Fig.III.97.-Proceso de montaje de compuerta de servicio sobre viguetas móviles**



**Fig.III.98.-Izaje de compuerta auxiliar con apoyo de grúa pórtico**

### - Compuertas tipo tablero para los pozos de oscilación

En los pozos de oscilación, se instalan compuertas tipo tablero de sección rectangular de 6.00 x 10.00 m, dos por turbina a la salida del tubo de aspiración, aguas abajo de la casa de máquinas.

Las compuertas están constituidas por secciones tipo aguja acopladas entre sí a través de eslabones, con la particularidad de que cada sección contiene un sello en todo su perímetro. La primera y última secciones tienen un sello tipo nota musical en tres caras aguas arriba y solera de neopreno en la de acoplamiento con la otra sección; las restantes tienen sello tipo nota musical en las laterales y solera de neopreno en la parte superior e inferior.

En cada ranura (4) la estructura para el puente de maniobras y para alojar las compuertas, se instalan partes fijas de primeros y segundos colados que sirven como guía para deslizar las compuertas.

Se instalan rieles a todo lo largo del puente de maniobras de la galería de oscilación para posicionar sobre ellos una grúa pórtico para el manejo de las compuertas como en la figura III.99., las cuales normalmente están en posición abierta durante la operación y paro de los turbogeneradores, quedando apoyadas sobre vigas tipo camello sobre el puente de maniobras.



Fig.III.99.-Montaje del carro de la grúa pórtico sobre traves carril

La función de estas compuertas que se muestran en la figura III.100, es obturar los vanos de descarga del tubo de aspiración cuando sea necesario vaciar el agua contenida en la tubería



a presión, carcasa espiral y el propio tubo de aspiración durante un mantenimiento o revisión de la turbina.



**Fig.III.100.-Compuertas en pozos de oscilación**

#### **- Grúas viajeras de la casa de máquinas**

Las grúas viajeras de casa de máquinas son equipos de instalación permanente en un proyecto hidroeléctrico y sirven para el montaje, retiro y mantenimiento de los turbogeneradores y equipo electromecánico. Las grúas se montan una vez que la obra civil permita el acceso a la casa de máquinas, se tenga regularizado y colado el piso de la playa de montaje y se hayan concluido los colados de las traveses de las traveses carril, por lo menos en esa zona.

La figura III.101 muestra el proceso de la grúa viajera para el montaje del equipo electromecánico en la casa de máquinas.

Los componentes principales de las grúas viajeras son:

- *Rieles de traslación*
- *Cabeceros*
- *Puentes*
- *Carro*
- *Aparejos, gancho principal y auxiliar*
- *Gabinetes eléctricos*
- *Cabina de mando*
- *Buses y toma corriente*





**Fig.III.101.-Montaje de flecha en una unidad de casa de máquinas, con apoyo de la grúa viajera**

El montaje de las grúas viajeras consiste en lo siguiente. Primeramente se montan los rieles tanto aguas arriba como aguas abajo de la casa de máquinas, debidamente alineados, nivelados y poniendo la debida atención en su fijación a la trabe carril, así como tomar en cuenta los traslapes en todo el recorrido de los rieles para la absorción de las dilataciones y contracciones.

Una vez colocados los rieles por lo menos en la zona de playa de montaje, se montan los cabeceros considerando las tolerancias de diseño para ajuste de los puentes, los cuales son montados con apoyo de grúas autopropulsadas con la suficiente capacidad y debidamente sincronizadas para que la maniobra resulte confiable, dadas las dimensiones y peso de los componentes, y se facilite el acoplamiento a los cabeceros a través de tornillería de grado y con el torque especificado.

Sobre los puentes y con ayuda de grúas autopropulsadas, se monta el carro sobre los rieles de los puentes. Este es el componente más pesado de las grúas por lo que la maniobra se realiza con toda precaución para evitar accidentes y daños a los componentes.

Enseguida, se monta la cabina de mando sobre uno de los puentes de cada grúa, debiendo quedar una aguas arriba y otra aguas abajo. Se conectan eléctricamente las grúas para operar el mecanismo de izaje e instalar los cables de acero acoplándolos a los aparejos del gancho principal y auxiliar, cuidando que los cables no queden torcidos.

Posteriormente, se realizan las pruebas de carga de las grúas en forma individual y acopladas con un peso de 125% del nominal, midiendo la flecha y contraflecha de los



puentes, así como sincronizar los movimientos de las grúas acopladas y las velocidades al subir o bajar los ganchos de ambas grúas.

- Turbogeneradores

Los turbogeneradores se instalan en la casa de máquinas. Los componentes principales de un turbogenerador son:

- *Tubo de aspiración y conos*
- *Antedistribuidor y carcasa espiral*
- *Turbina*
- *Generador*
- *Sistema de agua de enfriamiento*
- *Sistema contra incendio*
- *Tableros de control, protección, medición y fuerza*
- *Banco de baterías y cargadores*

El tubo de aspiración y los conos son los primeros componentes que se montan y su función es descargar el agua turbinada para ser regresada al río. El montaje del tubo de aspiración se inicia una vez que la obra civil haya terminado la excavación y colado las paredes y piso donde se alojará este componente. El montaje de esta estructura consiste en actividades de pailería para conformar una serie de placas soldadas entre sí y formar un codo abocinado por donde se descarga el agua que pasa por la turbina.

Una vez terminado el montaje del tubo de aspiración y se hayan realizado pruebas de ensayos no destructivos a las soldaduras para confirmar el buen estado de ésta, se realiza el embebido en concreto del componente, como se ilustra en las figuras III.102 y III.103.



**Fig.III.102.-Vista superior del tubo de aspiración**



**Fig.III.103.-Vista de los conos superior e inferior del tubo de aspiración**

El antedistribuidor es un elemento rígido, compuesto de dos piezas anulares conectadas entre sí por álabes fijos; tiene como función guiar el agua hacia el distribuidor y rodete de la máquina. La carcaza espiral es una cámara estructural que proporciona en forma uniforme el abastecimiento de agua al distribuidor de la unidad. El extremo de la carcaza espiral está conectado a la tubería a presión a través del manguito, o en algunos casos, a una válvula de mariposa.

El montaje del antedistribuidor consiste en acoplar las dos secciones mecánicamente a través de tornillería de acero inoxidable y soldadura de sello en la parte de acoplamiento, posicionar el elemento sobre sus bases a la elevación de diseño, alinear y centrarlo al eje de la turbina y atornillarlo firmemente a las anclas, esto se observa en la figura III.104.



**Fig.III.104.-Montaje del antedistribuidor en su sitio en una de las unidades de casa de máquinas**



La carcasa espiral está compuesta de una serie de virolas o secciones de placa rolada, por lo que la actividad consiste en la pailería para conformarlas al antedistribuidor, debiendo aplicar un procedimiento de soldadura para unir entre sí las virolas, como el mostrado en la figura III.105. Una vez terminado este proceso se confirma el estado de la soldadura a través de ensayos no destructivos, tales como rayos X, ultrasonido, u otros



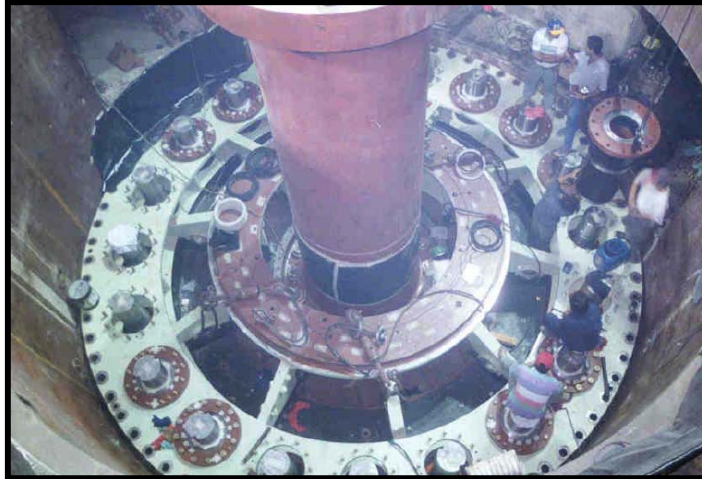
**Fig.III.105.-Vista general de casa de máquinas, obsérvese el tubo de aspiración en una unidad, la carcasa-antedistribuidor en otra, y al fondo la carcasa espiralantedistribuidor**

Se realiza una prueba hidrostática a la carcasa espiral; 1.5 veces a la presión de diseño, para lo cual se instalan un tapón cónico soldado a la entrada de la carcasa y uno cilíndrico atornillado dentro del antedistribuidor. La prueba consiste en elevar la presión a través de las bombas de pistón instaladas para este fin, debiendo medir la presión en cada etapa del ensayo como sigue:

- Cuando esté vacía.
- Cuando esté llena pero no presurizada.
- Cuando esté presurizada a diferentes presiones.
- Cuando esté despresurizada al final del ensayo.

Una vez terminada la prueba hidrostática se debe mantener la carcasa llena con agua y a la presión de diseño, para que sea embebida en concreto manteniendo la presión hasta que sea liberada y evitar de este modo deformaciones.

Las turbinas son dos; tipo Francis de eje vertical, de 340 MW cada una, con un gasto de diseño de 222 m<sup>3</sup>/s. Operarán con un factor de planta de 0.203 y una generación media anual de 1207 GWh, como la que se ilustra en la figura III.106.



**Fig.III.106.-Colocación de la tapa de la turbina, la flecha de la turbina y la colocación de los cojinetes superiores de los álabes móviles**

Los componentes principales de las turbinas son:

- *Escudo inferior*
- *Álabes móviles*
- *Rodete*
- *Flecha*
- *Escudo superior*
- *Servomotores y mecanismos de regulación*
- *Chumacera de carga y guía*
- *Regulador de velocidad*
- *Sistema oleodinámico*
- *Sistemas de aire comprimido*
- *Tuberías*
- *Instrumentación*

El montaje consiste en realizar un mantenimiento (limpieza) a las caras maquinadas de los componentes de la turbina, cuidando que queden libres de grasa protectora, polvo y golpes. Cada una de las secciones se ajustan y acoplan usando los elementos de acoplamiento y apretando cada tornillo al torque establecido en el diseño.

Se realizan las maniobras de montaje con el cuidado requerido para evitar accidentes y daños a las piezas ya montadas, usando para ello estrobos, grilletes y diferenciales, y se verifica el alineado, nivelado y posicionamiento de cada pieza de acuerdo a sus marcas de fábrica.



Se pone aceite en las chumaceras de carga y guía de acuerdo al tipo y cantidad establecida por el fabricante de la turbina, cuidando no derramarlo. Se monta cada uno de los siguientes sistemas:

**Sistema de achique.-** Constituye uno de los sistemas más importantes en la seguridad de una central hidroeléctrica. Se requiere tanto para achicar filtraciones y fugas en casa de máquinas, como para sacar el agua contenida en la tubería a presión y carcaza espiral durante la inspección y mantenimiento de una turbina.

**Sistema de agua de enfriamiento.-** Consiste en conectar una toma de agua en la tubería a presión y canalizarla a través de tuberías por los diferentes equipos del sistema como: filtros dúplex, válvulas reductoras de presión, etc., hasta los radiadores de enfriamiento de aire del generador, los intercambiadores de calor para enfriamiento del aceite de las chumaceras, y descarga de agua a través de aspersores sobre el generador en caso de incendio.

**Sistema contra incendio.-** Es un sistema basado en CO<sub>2</sub>, conectado principalmente al generador de potencia de la unidad y a los tableros de control, protección y medición de casa de máquinas y subestación.

Un turbogenerador requiere para su funcionamiento de una serie de tableros distribuidos adecuadamente en la casa de máquinas y la subestación, como los tableros de fuerza para alimentar todos los sistemas y centros de carga para el alumbrado, así como los de control, protección y medición para operar la unidad.

Se deben montar tanto en casa de máquinas como en la subestación, bancos de baterías y cargadores para servicios de emergencia en caso de disparo de unidades o falta de alimentación eléctrica en corriente alterna del exterior.

El generador de potencia consta de dos componentes principales; estator y rotor, los cuales por sus dimensiones y peso deben ser armados en la playa de montaje de la casa de máquinas.

El generador de potencia está constituido por los siguientes componentes:

- Placas base
- Para el estator
- Para los brazos radiales de la chumacera de carga – guía
- Para gatos de frenado e izaje
- Para tolvas de ventilación
- Para la tapa del foso del generador
- Estator
- Carcaza
- Laminado
- Devanado



- Radiadores de enfriamiento
- Rotor
- Armado del cubo – brazos
- Vigas tipo "U"
- Laminado
- Polos
- Pista de frenado
- Ventiladores
- Gatos para frenado e izaje
- Chumacera guía generador
- Excitatriz

Las figuras III.107, III.108 y III.109 muestran algunos aspectos generales del proceso de montaje de los generadores en casa de máquinas.



Fig.III.107.-Colocación del segundo sector del estator dentro del foso



Fig.III.108.-Colocación del rotor dentro del foso

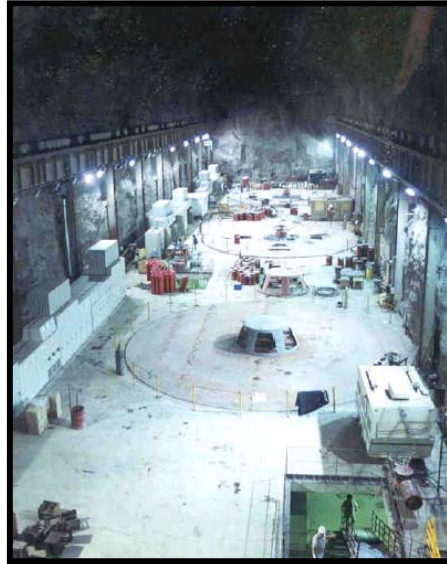


Fig.III.109.-Vista panorámica de casa de máquinas

#### III.4.3.2.- Armado del rotor

Previo al armado del rotor deben instalarse placas ancladas y niveladas durante los colados masivos y de regulación de playa de montaje, de acuerdo a la disposición para posicionar el cubo y brazos del rotor.

Dadas las características y peso del rotor, éste debe armarse en la playa de montaje de casa de máquinas por lo que el fabricante se obliga a suministrar un dispositivo de maniobra (viga traviesa) para trasladar el rotor completo al sitio de montaje definitivo.

El armado consiste en posicionar y nivelar el cubo del rotor sobre las bases previamente colocadas para este fin, colocar los brazos sobre el cubo haciendo coincidir las marcas de fábrica y en forma alternada, es decir, uno opuesto al otro para equilibrar los pesos, fijándolos al cubo a través de tornillería con el torque especificado.

Una vez terminado el apriete, se preparan los biseles para la aplicación de soldadura con apoyo de esmeriles neumáticos y carda. Se aplica la soldadura de acuerdo al procedimiento establecido en forma alternada para evitar deformaciones por efecto de temperatura y realizar las pruebas de ensayos no destructivos, una vez terminada la soldadura, con líquidos penetrantes y ultrasonido al 100 % para constatar el estado final de la soldadura. Se montan las vigas tipo “U” ajustándolas a las caras maquinadas de los brazos a través de tornillería.





La laminación que conformará la llanta o núcleo del rotor, debe limpiarse y seleccionarse según su peso y no permitir la colocación de láminas impregnadas de aceite o grasa, dañadas, oxidadas o rasgadas. Terminado el laminado debe realizarse el calentamiento y acuñado del rotor, verificando se cumpla la condición de dilatación, es decir, que exista diferencia de temperatura entre la laminación y el cubo.

Previo al montaje de los polos, éstos deben limpiarse con tricloroetileno para remover el agente oxidante de la superficie de contacto con la laminación y de las cabezas de los polos, empleando moderadamente este producto para que no se impregne en las bobinas. Se revisa la cola de milano y se liman las irregularidades con una lima suave evitando que caiga sobre las bobinas, ya que la limadura de fierro se adhiere con facilidad al polo debido al magnetismo remanente.

El montaje de los polos se debe hacer distribuyendo los pesos uniformemente. Los polos de peso similar, sin que por necesidad tengan que ser iguales, se colocan diagonalmente opuestos. El acuñado de los polos consiste en medir cada una de las cuñas que por lo general se suministran más largas, se cortan de acuerdo a las medidas obtenidas en cada polo, se marcan de acuerdo al polo correspondiente y se mide con ayuda de un compás la redondez para obtener la media entre el diámetro existente y el exigido con relación al entrehierro establecido.

Una vez terminado el montaje de los polos, debe aplicarse el recubrimiento anticorrosivo al cubo y brazos del rotor, constatando el espesor y adherencia de acuerdo a especificaciones, así como la aplicación del barniz aislante color rojo a la laminación y bobinas polares.

Se montan los ventiladores sobre las placas de presión, tanto superiores como inferiores, acoplándolos a los tensores del laminado, debiendo quedar con un ángulo muy aproximado al de diseño, sin que éste sea el definitivo. Una vez realizada la prueba de eficiencia de la máquina se determina el ángulo correcto, se ajustan y se fijan definitivamente con soldadura a las placas de presión.

Preparar para su montaje las pistas de frenado, que no contengan grasa ni golpes sobre la superficie maquinada, y proceder a su montaje, ajustándolas a la elevación de diseño y cuidando que queden debidamente calzadas para evitar vibraciones y variaciones en su posición. Una vez terminado lo anterior, se procede al apriete definitivo de las tuercas, dando el torque especificado y soldándolas a las placas de presión.

#### **III.4.3.3.- Armado del estator**

Previo al armado del estator se debe tener definido el lugar en playa de montaje, marcado sobre el piso el diámetro exterior y la posición aguas arriba y aguas debajo de la carcasa, que las bases para recibir las secciones de la carcasa estén posicionadas de acuerdo con la superficie de apoyo de las mismas.



Por las dimensiones que tiene el estator, debe armarse en el extremo de la playa de montaje junto al foso de la primera unidad, con la finalidad de que la maniobra para el montaje al término del armado no se vea obstaculizada por algún otro componente del turbogenerador que en ese momento se esté preparando en playa de montaje.

El armado del estator consiste en posicionar las secciones de la carcasa sobre sus bases previamente dispuestas para ello, deben quedar perfectamente niveladas y que las marcas de fábrica coincidan. Se verifica la horizontalidad de la carcasa y se determina el centro de los orificios para los barrotes guía.

Una vez terminado el ajuste de la carcasa del estator, se inicia el proceso de soldadura, haciéndolo invariablemente en dos secciones a la vez, opuestas 180°, con el objeto de evitar movimientos de la carcasa y depositando la soldadura en el mismo sentido, es decir, en forma ascendente o descendente, posteriormente se realizan las pruebas de ensayos no destructivos como rayos X o ultrasonido al 100% para constatar el estado final de la soldadura.

Terminada la soldadura se debe aplicar el recubrimiento anticorrosivo, debiendo previamente verificar los sitios donde haya que colocar elementos del estator y que coincidan con cordones de soldadura; de existir éstos, deben eliminarse rebajando la corona o cordón de vista usando esmeril neumático.

Se deben montar los elementos que permitan la colocación de la laminación como: dedos de presión o placas de apriete, placas de respaldo en los cartabones horizontales de la carcasa y los barrotes guía para la laminación.

La colocación de láminas se inicia con las placas de mayor espesor ( $\pm 5$  mm), necesarias para la primera capa. Se continúa con la colocación de láminas convencionales de espesor 0.5 mm y placas de ventilación, que a una altura aproximadamente de 122 mm o dos paquetes individuales (ésta cambia de acuerdo al fabricante), se instala la primera cama de placas de ventilación. Esta operación se repite hasta terminar la laminación.

A una altura aproximada de 427 mm o siete paquetes individuales (esta medida cambia de acuerdo a la potencia de la máquina y al fabricante) se procede al primer prensado usando dos equipos neumáticos de percusión, colocados a 180° uno del otro, el momento de apriete se aumenta paulatinamente hasta lograr el especificado, repitiendo esta actividad hasta terminar el laminado.

Antes de la prueba eléctrica se debe verificar el diámetro y altura de la laminación, es muy importante que las ranuras para el devanado del estator sean uniformes y no contengan rebordes que puedan lastimar el aislamiento de las bobinas, enseguida se realiza una limpieza exhaustiva.

Durante el desarrollo de la prueba no debe existir ningún cuerpo extraño conductivo. Se debe preparar el toroide alrededor de la laminación y a todo el diámetro del estator y aplicar



---

---

una corriente equivalente a un Tesla durante una hora, y verificar los probables puntos calientes en la laminación para su aislamiento.

#### **III.4.3.4.- Devanado del estator**

Previo al devanado del estator se debe limpiar el interior de la carcasa, se deben enumerar las ranuras en forma consecutiva de acuerdo con el esquema de embobinado, se debe marcar sobre el anillo de presión inferior la disposición de colocación de bobinas e identificar las ranuras donde se instalarán los termómetros de resistencia.

Instalar los andamios necesarios para la colocación de bobinas. Se limpian con brocha cada una de las ranuras del laminado sin permitir el uso de cepillos de alambre ni aire comprimido.

El devanado del estator debe realizarse con personal capacitado para desarrollar la actividad de colocación y conexión de bobinas, se debe disponer para ello de los planos, instructivos y esquemas.

El devanado consiste primeramente en seleccionar los tipos de bobinas a instalar, y limpiar el exceso de barniz aislante adherido a las espiras de conexión usando trapo limpio humedecido con tricloroetileno, escobilla metálica o cuchillo.

Se deben colocar tiras de papel semiconductor directamente a las bobinas o insertarlas en las ranuras del laminado, montar las bobinas interiores de acuerdo a las marcas según su tipo, las marcadas con el mismo número se colocan en conjunto verificando que asienten firmemente en las ranuras en caso de falta de ajuste se debe colocar la cantidad necesaria de papel semiconductor para ajustarlas.

Es importante que al montar las bobinas se dé la correcta posición axial, es decir, que los extremos salientes de las barras correspondan a las medidas indicadas en planos colocar separadores intermedios para fijarlas a los dedos de presión. En algunas ocasiones los separadores vienen preparados para colocar los termómetros de resistencia, invariablemente éstos deben colocarse en las ranuras correspondientes cuidando que la disposición de la conexión esté de acuerdo al plano.

Al término de la colocación de bobinas interiores se debe preparar lo necesario para realizar la prueba de alta tensión, verificando la medición de la resistencia del aislamiento. Si durante la prueba de alta tensión fallasen una o más bobinas, éstas deben cambiarse por nuevas, verificando se realice nuevamente la prueba. En este caso se permite seccionar el grupo de bobinas donde ocurrió la falla e incluso realizar la prueba en forma individual a la bobina nueva, siempre y cuando esté colocada en su ranura.

El montaje de las bobinas exteriores se realiza de igual manera a lo descrito para las bobinas interiores.



---

---

Una vez terminada la actividad, se recorta el papel semiconductor a la altura del borde de la cola de milano de las ranuras donde se insertarán las cuñas de cierre. Se debe cumplir con lo establecido al colocar las tiras de relleno y deslizantes entre las bobinas y las cuñas, así como seleccionar los espesores correctos de tal modo que al introducir la cuña ejerza una presión sobre la bobina que permita que se asiente firmemente. Las últimas cuñas deben ser colocadas sobre un apoyo de fibra de vidrio humedecida con resina de propiedades dilatantes y endurecedoras y que no sobresalgan del núcleo.

Terminado el acuñado, se deben colocar los anillos de refuerzo de fibra de vidrio para apoyo de las bobinas, preparar los separadores de fibra de vidrio mojada en una mezcla de resina y polvo de cuarzo en proporciones de peso 1:1 o similar, colocar los separadores entre las bobinas introduciéndolos de arriba hacia abajo en la parte inferior y al contrario en la superior hasta lograr una separación uniforme entre bobinas, usar hilo adecuado para amarrar simultáneamente a la colocación del separador, las bobinas al anillo de refuerzo hasta que queden firmemente sujetas.

Finalmente, debe realizarse la soldadura entre bobinas en secuencia, usando soldadura de plata y aplicada sobre las espiras o peines en posición paralela y sobrepuesta con apoyo de máquinas soldadoras de alta frecuencia y aire comprimido para el accionamiento neumático del alicate de soldadura a resistencia.

Durante la aplicación de la soldadura se deben mantener límites permisibles con relación al aislamiento de las bobinas, reduciendo al máximo la posibilidad de daño por quemadura, usando para esto tela de asbesto. Asimismo, el enfriamiento de los componentes sujetos a calentamiento se debe realizar por circulación de agua de enfriamiento con circuito cerrado implementado en las máquinas soldadoras, para evitar tener que usar agua de la alimentación general y que se produzcan fugas que pudieran mojar el aislamiento de las bobinas.

Se deben aislar las espiras recién soldadas en capas escalonadas hasta alcanzar el espesor especificado a todo lo largo de la conexión. Se deben extremar los cuidados en las conexiones en "T", donde no se pueda garantizar un aislamiento suficiente con la aplicación de capas por lo que es preferible que se aisle con la técnica de impregnación total de micalastic o un producto similar. Asimismo, las conexiones de fases individuales, dependiendo de la tensión nominal, se alinean, sueldan y aíslan de la misma manera que la conexión de barras.

Al término de los trabajos, se deben aplicar las capas necesarias de barniz aislante color rojo en el devanado y núcleo del estator, dejando secar cada capa de barniz por lo menos 30 horas a la temperatura ambiente.



### III.4.3.5.- Montaje

El montaje del generador de potencia consiste en trasladar los componentes armados en la playa de montaje al foso del generador, para lo cual se usan los dispositivos de maniobra proporcionados por el fabricante.

Es muy importante que las grúas viajeras de casa de máquinas estén revisadas y en condiciones para realizar la maniobra, se debe acoplar el gancho principal al dispositivo de maniobra para el estator.

De igual forma, las condiciones en el foso del generador deben estar dadas tanto por la obra civil como electromecánica para recibir el estator.

Una vez posicionado el estator sobre sus bases, es necesario constatar las medidas finales de la flecha de la turbina para determinar la cota del eje magnético del generador, se debe verificar su verticalidad, centrado y altura del eje magnético y atornillarlo perfectamente. Terminada la actividad de debe retirar el dispositivo de maniobra.

Para el montaje del rotor se deben cumplir con algunas condiciones: haber montado sobre el cubo la flecha corta del generador, verificar el funcionamiento de las grúas viajeras acopladas, principalmente la sincronización de los ganchos principales, acoplar éstos al dispositivo de maniobra y tener todas las condiciones de seguridad dadas.

Determinar la elevación de la flecha turbina y la deformación de la cama hidráulica autonivelable de la chumacera de carga cuando reciba el peso del rotor.

Durante el acoplamiento, el rotor debe ser recibido por los gatos de izaje antes de apoyarlo sobre el anillo de carga, girarlo hasta que los barrenos de las bridas coincidan y realizar el acoplamiento del rotor con el anillo de carga y finalmente con la flecha turbina.

La colocación de los bulones o pernos roscados puede ser térmica o en frío, de cualquier manera se debe verificar la elongación de los pernos y el giro de apriete de las tuercas. Terminada la actividad se retira el dispositivo de maniobra.

Los componentes restantes del generador como: radiadores de enfriamiento y tuberías, chumacera guía generador, intercambiadores de calor, bomba de izaje, tolvas de ventilación, cruceta superior generador y excitatriz, deben ser montados conforme a lo establecido en el procedimiento de montaje, usando los implementos adecuados y cuidando de no dañar los componentes ya montados.

Terminado el montaje, debe realizarse una limpieza exhaustiva sobre y dentro del generador, dado que los riesgos que se corren durante las pruebas preoperativas y durante la



primera excitación son muy grandes. De no cumplir con esto, se expone al generador a una falla por corto circuito.

La figura III.110 muestra la conclusión del montaje de las unidades turbogeneradoras en el piso principal.



Fig. III.110.-Vista general de casa de máquinas

#### - Subestación encapsulada aislada en SF<sub>6</sub>

La subestación de 400 kV aislada en hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) tiene gran importancia, ya que la energía eléctrica generada y transformada requiere de un arreglo de switcheo eléctrico para conectarla al Sistema Eléctrico Nacional.

La subestación de 400 kV es una serie de instalaciones de maniobra las cuales constan de componentes aislados por gas hexafluoruro de azufre y con blindaje metálico, diseñadas para operar con tensión de 400 kV. Estas instalaciones son de tipo interior, de construcción compacta monopolar, lo cual permite su montaje en espacios reducidos.

El medio aislante y extintor se encuentra incluido en el blindaje en varios compartimentos separados entre sí.

El arreglo de la subestación es de interruptor y medio formada por cuatro bahías: dos para salida de línea, previendo una futura, y dos para salida a transformadores monofásicos con terminales SF<sub>6</sub> - cable para línea y SF<sub>6</sub> - aire para transformadores.

El objetivo de la subestación de 400 kV es conectar la energía eléctrica generada y elevada de 13.8 kV a 400 kV al Sistema Eléctrico Nacional a través de líneas de transmisión. Para esto existe un arreglo siguiendo los diagramas eléctricos que permiten energizar cualquiera de las dos líneas de transmisión con cualquiera de los dos turbogeneradores.

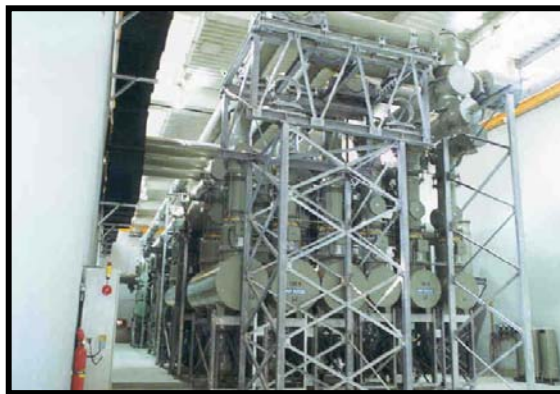


La subestación en conjunto con los transformadores de potencia de 125 MVA y sus tableros, forman un sistema de protección tanto para los transformadores como para las líneas de transmisión.

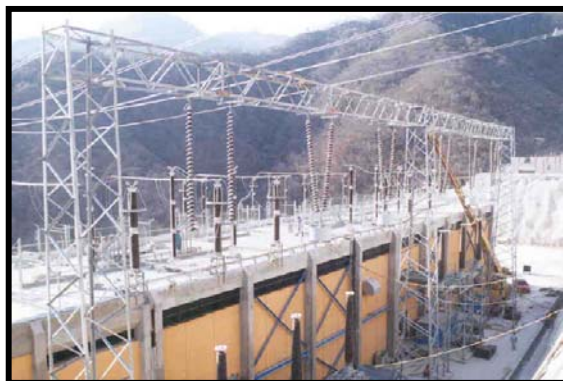
Los componentes principales que constituyen una subestación encapsulada aislada en hexafloruro de azufre (SF<sub>6</sub>), se mencionan a continuación:

- *Interruptores de potencia con accionamiento hidráulico*
- *Transformadores de intensidad*
- *Interruptor rápido de puesta a tierra capaz de maniobrar, accionado por motor*
- *Seccionadores con accionamiento por motor*
- *Interruptores de puesta a tierra aislados*
- *Interruptores de puesta a tierra con accionamiento por motor*
- *Transformadores de tensión tipo inductivo*
- *Terminales SF<sub>6</sub>- aire*
- *Terminales SF<sub>6</sub>- cable*
- *Armarios de mando local*
- *Módulos de barras colectoras*
- *Módulos de compensación*
- *Apartarrayos*
- *Transformadores de tensión tipo inductivo*
- *Trampas de onda*
- *Estructura del marco de 400 kV*

Las figuras III.111 y III.112 muestran las disposiciones generales de la subestación de 400 kV en SF<sub>6</sub>.



**Fig.III.111.- Subestación de 400 kV en SF<sub>6</sub>, una vez concluido el montaje**



**Fig.III.112.-Disposición de los equipos exteriores de la subestación de 400 kV en SF<sub>6</sub>**

Finalmente, con la construcción de las obras de generación se completa el conjunto de obras civiles que constituyen el proyecto hidroeléctrico, que como se mencionó con anterioridad se construyó para ser planta de generación para picos de consumo de energía eléctrica, con una potencia total instalada de 750 MW con dos unidades generadoras y una generación total anual cercana a los 1,300 GWh que mejorará el aprovechamiento hidroeléctrico del río Santiago y de la zona.





## IV.- IMPACTO AMBIENTAL

### IV.1.- Descripción General

La Política ecológica del ejecutivo Federal en México prevé que la realización de las obras o actividades públicas y privadas que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y las normas técnicas ecológicas, se sujeten a la autorización previa del Gobierno Federal o de las entidades federativas o municipios. El proponente de un proyecto debe presentar ante la autoridad una Manifestación de Impacto Ambiental, que es el documento mediante el cual se da a conocer con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

Los estudios encaminados a identificar, predecir, evaluar y presentar los impactos ambientales y proponer las medidas de mitigación, deben realizarse previamente a la ejecución de las obras o actividades por lo que constituyen una importante herramienta en la etapa de la planeación.<sup>5</sup>

En este capítulo se describen los impactos producidos por la construcción del P.H. El Cajón y la metodología que se empleó para evaluarlo. Esta descripción se realizó por cada factor que resultará afectado por las actividades del proyecto, aunque sólo se muestran las más significativas; esto incluye tanto la forma en que se verán impactados, como una valoración cualitativa del cambio que tendrán una vez realizadas las obras.

Para la valoración cualitativa de impactos se utilizó la guía metodológica de Conesa (1997).

### IV.2.- Metodología

#### *Identificación de los impactos ambientales*

Una vez conocido el proyecto, su entorno y la capacidad de acogida quedaron establecidas las condiciones para iniciar el estudio provisional de los impactos. Se trata de una primera visión de la relación proyecto-entorno.

Se comenzó analizando las acciones susceptibles de provocar alteraciones por la Construcción del P.H. El Cajón, elaborando un listado de las mismas y, a continuación, se hizo otro listado de los factores del medio que pueden verse afectados por aquellas, plasmándolos en un inventario.

Las acciones susceptibles de producir impactos se relacionaron de acuerdo a su ocurrencia en las dos fases del proyecto (construcción y operación), y para cada una de las distintas actividades a realizarse en ellas.

---

<sup>5</sup> Impacto Ambiental, IMTA y Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994



Ya que los elementos del proyecto fueron diferenciados de manera estructural, se identificaron las acciones, atendiendo los siguientes aspectos:

- Acciones que modificarán el uso del suelo
- Acciones que implicarán emisiones de partículas
- Acciones que implicarán explotación de recursos
- Acciones que actuarán sobre el medio biótico
- Acciones que implicarán deterioro en el paisaje
- Acciones que repercutirán sobre la infraestructura
- Acciones que modificarán el entorno social, económico y cultural

En cada una de las acciones identificadas se consideró, además, su significatividad (capacidad de generar alteraciones), independencia (para evitar duplicidades), vinculación a la realidad del proyecto (producto de las obras del proyecto) y posibilidad de cuantificación.

La metodología considera que el medio ambiente está constituido por elementos y procesos interrelacionados que se agrupan jerárquicamente en sistemas, subsistemas, componentes y factores o parámetros ambientales, como se muestra en la tabla IV.1. De acuerdo con esta división, los factores aluden a las características o propiedades de cada uno de los componentes del sistema. La descomposición de cada uno de los componentes en factores o parámetros depende de la profundidad del análisis a que se requiere someter la evaluación.

**Tabla IV.1 Orden jerárquico en que se divide el ambiente, para propósitos de la metodología utilizada.**

Sistema	Subsistema	Componente Ambiental
Medio Natural	Medio inerte	Aire Tierra Agua
	Medio biótico	Flora Fauna
	Medio perceptual	Unidades de Paisaje
Medio Socioeconómico y cultural	Medio Sociocultural	Territorio Cultural Infraestructura Humanos
	Medio Económico	Población Económico

La identificación de los factores ambientales listados, cuyos cambios motivados por las distintas acciones del proyecto en sus sucesivas fases, supongan modificaciones positivas o



negativas de la calidad ambiental de los distintos componentes, se realizó aplicando los siguientes criterios:

- Ser representativos del entorno afectado y, por tanto, del impacto total producido por la ejecución del proyecto.
- Ser relevantes, es decir, portadores de información significativa sobre la magnitud e importancia del impacto.
- Ser excluyentes, es decir, sin solapamientos ni redundancias.
- De fácil identificación, tanto en su concepto como en su apreciación sobre información estadística, cartográfica o trabajos de campo.
- De fácil cuantificación, dentro de lo posible.

Ya que fueron listadas las acciones del proyecto susceptibles de producir impactos, y los factores que serán impactados, se construyó la Matriz de Importancia, que es del tipo causa-efecto. Ésta consiste en una tabla de doble entrada en cuyas columnas figuran las acciones impactantes, y dispuestos en filas los factores ambientales susceptibles de recibir impactos. La matriz fue dividida en secciones que agrupan todas las acciones del proyecto susceptibles de provocar impactos, pertenecientes a cada tipo de actividad en particular y por cada fase, quedando como sigue:

Fase	Sección
Construcción	Obras y servicios complementarios Acciones de carácter socioeconómico Construcción de obras principales Bancos de préstamo Llenado del embalse
Operación	Operación de la central hidroeléctrica

Cuando estuvo definida la matriz, se cruzaron las dos informaciones, acciones y factores, con el fin de prever las incidencias ambientales derivadas de la ejecución del proyecto; posteriormente se procedió a la evaluación de los impactos ambientales.

#### Evaluación de los impactos ambientales

La evaluación se realizó utilizando la metodología de Coneza (1997) lo cual se hizo mediante una valoración cualitativa utilizando el siguiente procedimiento:

Cada casilla de cruce en la matriz o elemento tipo, da una idea del efecto de cada acción impactante sobre cada factor impactado.



Estas casillas de cruce están ocupadas por una valoración correspondiente a once atributos de las características de la acción, que se sintetizan en una cifra que representa la importancia del impacto.

El significado de cada atributo y los valores que se asignan a cada uno es el siguiente:

**Signo (+/-).** El signo del impacto hace alusión al carácter *benéfico* (+) o *perjudicial* (-) de las distintas acciones que van a actuar sobre los factores considerados.

**Intensidad (I).** Este término se refiere al *grado de incidencia* de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa. El baremo de valoración estará comprendido entre 1 y 12, en que el 12 expresará una *destrucción total* del factor en el área en la que se produce el efecto, y el 1 una *afección mínima*.

Los valores comprendidos entre esos dos términos reflejarán situaciones intermedias.

**Extensión (EX).** Se refiere al *área de influencia* teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.

Si la acción produce un efecto muy localizado, se considera que el impacto tiene un carácter *puntual* (1). Si por el contrario, el efecto no admite una ubicación precisa dentro del entorno del proyecto, teniendo una influencia generalizada en todo él, el impacto será *total* (8); se consideran las situaciones intermedias como *parcial* (2) y *extenso* (4).

**Momento (MO).** Es el plazo en el que un impacto se manifiesta y alude al *tiempo* que transcurre *entre la* aparición de la *acción* ( $t_0$ ) y *el comienzo del efecto* ( $t_i$ ) sobre el factor del medio considerado.

Así, cuando el tiempo transcurrido sea nulo, el momento será *inmediato*, asignándole un valor de 4. Si es un período que va de 1 a 5 años, el momento será a *mediano plazo* (2). Por último, si el efecto se manifiesta después de 5 años, el momento se considera *largo plazo* (1).

En el caso de que por alguna circunstancia un impacto se considerase *crítico*, a los valores anteriores del momento se les incrementa de 1 a 4 unidades dependiendo de su importancia.

**Persistencia (PE).** Se refiere al tiempo que presuntamente *permanecería el efecto* a partir de su aparición. Si dura *menos de un año*, se considerará *fugaz* (1); si dura *entre 1 y 10 años temporal* (2); y si el efecto tiene una duración *mayor a los 10 años*, se considerará *permanente* (4).

**Reversibilidad (RV).** Se refiere a la posibilidad de recuperar las condiciones originales del factor afectado por una acción dada; es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción impactante, por medios naturales.

Si es a *corto plazo*, se le asigna el valor (1), *mediano plazo* (2) y si el efecto es Irreversible le asignamos el valor (4). Los intervalos de tiempo que comprenden estos períodos son los mismos asignados en el parámetro anterior.



**Recuperabilidad (MC).** Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).

Si el efecto es totalmente recuperable de *manera inmediata* se le asigna un valor (1) y si es en un *medio plazo* (2), si el efecto es mitigable toma un valor de (4). Cuando el efecto es *irrecuperable* (alteración imposible de reparar, tanto por la acción natural, como por la humana) le asignamos el valor (8).

**Sinergia (SI).** Este atributo contempla el *reforzamiento* de dos o más efectos simples.

La componente total de la manifestación de los efectos simples, provocados por acciones que actúan simultáneamente, es superior a la que cabría de esperar de la manifestación de efectos cuando las acciones que las provocan actúan de manera independiente no simultánea.

Cuando una acción no es sinérgica, El atributo toma el valor (1), si presenta un *sinergismo moderado* (2) y si es *altamente sinérgico* (4).

**Acumulación (AC).** Este atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto, cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Cuando una acción no produce efectos acumulativos (*acumulación simple*), el efecto se valora como (1). Si el efecto producido es *acumulativo* el valor se incrementa a (4).

**Efecto (EF).** Este atributo se refiere a la *relación causa-efecto*, es decir a la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción.

El efecto puede ser directo o primario, siendo en este caso la repercusión de la acción consecuencia directa de ésta. En el caso de que el efecto sea indirecto o secundario, su manifestación no es consecuencia directa de la acción, sino que tiene lugar a partir de un efecto primario, actuando éste como una acción de segundo orden.

Este término toma el valor (1) en el caso de que el efecto sea *indirecto* y el valor (4) cuando sea *directo*.

**Periodicidad (PR).** Se refiere a la *regularidad de manifestación* del efecto, bien sea de manera cíclica o recurrente (efecto periódico), de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular), o constante en el tiempo (efecto continuo).

A los efectos continuos se les asigna un valor (4), a los periódicos un valor de (2), a los de aparición irregular (que deben evaluarse en términos de probabilidad de ocurrencia) y a los discontinuos el valor que les corresponde es de (1).



**Medidas de mitigación.** La posibilidad y el momento de aplicar acciones o medidas de mitigación para prevenir, disminuir o remediar los impactos, se registran de la siguiente manera: *no existe posibilidad (N), durante la fase de diseño (D), en la fase de construcción (C), y durante la operación (O).*

Una vez calificados cada uno de los atributos arriba señalados, se procedió a la determinación de la *importancia* de los impactos identificados en cada una de las celdas de interrelación, con la siguiente ecuación:

$$I = +/- (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$$

De esta operación se obtienen valores que oscilan entre 15 y 100, que corresponden a la importancia del impacto. Los valores de cada una de las características se derivan de la información sobre el entorno del proyecto, y de acuerdo a los criterios de valoración arriba enunciados. En la tabla IV.2 se anotan de manera resumida las consideraciones establecidas por la metodología para la valoración de los atributos considerados.

Es importante mencionar que el valor de importancia del impacto es una valoración cualitativa de los impactos en cada elemento tipo, por lo que no debe confundirse con la importancia del factor afectado. Por otro lado los valores de cada una de las casillas de cruce no son comparables entre sí.

**Tabla IV.2. Modelo sintetizado para la obtención del valor de importancia.**

NATURALEZA		INTENSIDAD (I) (Grado de destrucción)		SINERGIA (SI) (Regularidad de la manifestación)		ACUMULACIÓN (AC) (Incremento progresivo)	
Impacto benéfico	+	Baja	1	Sin sinergia (simple) Sinérgico Muy sinérgico	1 2 4	Simple Acumulativo	1 4
Impacto perjudicial	-	Media	2				
		Alta	4				
		Muy alta	8				
		Total	12				
EXTENSION (EX) (Área de influencia)		MOMENTO (MO) (Plazo de la manifestación)		EFECTO (EF) (Relación causa y efecto)		PERIODICIDAD (PR) (Regularidad de la manifestación)	
Puntual	1	Largo plazo	1	Indirecto (secundario) Directo	1 4	Irregular o aperiódico y discontinuo Periódico Continuo	1 2 4
Parcial	2	Medio plazo	2				
Extenso	4	Inmediato	4				
Total	8	Crítico	(+4)				
Crítico	(+4)						
PERSISTENCIA (PE) (Permanencia del efecto)		REVERSIBILIDAD (RV)		RECUPERABILIDAD (MC) (Reconstrucción medio humano)		IMPORTANCIA (I)	
Fugaz	1	Corto plazo	1	Inmediata Medio plazo Mitigable Irrecuperable	1 2 4 8	$I = \pm (3I + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Temporal	2	Medio Plazo	2				
Permanente	4	Crítico	4				

De esta manera, el modelo de matriz obtenido es el que se muestra en la tabla IV.3, en ella, la suma algebraica de los valores de impacto asignados a cada elemento tipo por columna identificó las acciones más agresivas (*altos valores negativos*), las poco agresivas (*bajos*



valores negativos) y las benéficas (*valores positivos*), pudiendo analizarse las mismas según sus efectos sobre los distintos subsistemas.

Asimismo, la suma algebraica de los valores de impacto asignados a cada elemento tipo por filas, indicó cuales son los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida los efectos de la realización del proyecto. Como la matriz está dividida en las diferentes actividades de obra, de la suma algebraica de los valores asignados a cada elemento tipo por fila, se obtuvieron los efectos totales por actividad causados en los distintos componentes y subsistemas de la matriz. Este impacto final es la diferencia entre la situación del medio ambiente modificado por causa de la construcción del proyecto y la situación tal y como habría evolucionado sin la presencia de éste.

**Tabla IV.3 Modelo de matriz de importancia para la fase de construcción del P.H. El Cajón.**

		FASE DE CONSTRUCCIÓN			
		ACCIÓN 1	ACCIÓN i...	ACCIÓN n	N + 1 TOTAL FASE
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS					
SUBSISTEMA CONSIDERADO	COMPONENTE 1	FACTOR 1			
		FACTOR 2			
		FACTOR p			
		TOTAL IMPACTO COMPONENTE 1			
	COMPONENTE m.	FACTOR 1			
		FACTOR 2			
		FACTOR j		Elemento tipo j	
		TOTAL IMPACTO COMPONENTE m			
	TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA				

Como ya se ha indicado, las actividades del proyecto fueron agrupadas en dos fases o etapas: construcción y operación, por lo que los impactos causados por el proyecto se evaluaron por cada una de ellas.

Habiendo llegado a este punto, se hizo necesario el considerar que en la situación final de operación, la diferencia entre la situación del medio ambiente con y sin proyecto es debida no sólo a las acciones impactantes en esta fase, sino también al efecto de alguna acción irreversible o de efecto continuado estudiado en la fase de construcción, por lo que se identificaron aquellos impactos permanentes en ella.

Los valores de efectos permanentes se sumaron algebraicamente a los efectos totales de la fase de funcionamiento, para así obtener el valor de importancia final del impacto producido en cada uno de los factores considerados, así como el total del impacto sobre el subsistema. El modelo de esta matriz se presenta en la tabla IV.4.



**Tabla IV.4 Modelo de matriz de importancia empleada para la evaluación de los impactos producidos durante la operación del P.H. El Cajón.**

		FASE DE OPERACIÓN						FASE DE CONSTRUCCIÓN	EFECTO FINAL
		ACCIONES IMPACTANTES							
		1	2	3	i...	...n	n+1	n+2	N+3
		ACCIÓN 1	ACCIÓN 2	ACCIÓN 3	ACCIÓN i...	ACCIÓN n...	TOTAL FASE	TOTAL DE EFECTOS PERMANENTES	IMPORTANCIA FINAL.
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS									
SUBSISTEMA CONSIDERADO	COMPONENTE 1	FACTOR 1							
		FACTOR 2							
		FACTOR p							
		TOTAL IMPACTO COMPONENTE 1							
	COMPONENTE m	FACTOR 1							
		FACTOR 2							
		FACTOR j				Element o tipo ij			
		TOTAL IMPACTO COMPONENTE m							
	TOTAL IMPACTO DEL SUBSISTEMA								

El procedimiento se realizó de forma inicial, considerando la totalidad de los impactos identificados. Sin embargo, después de un análisis detallado, se encontró que buena parte de estos corresponden a efectos de escasa importancia espacio- temporal; esto es, son en su mayoría de tipo puntual y con una manifestación que se limita al sitio inmediato en donde actúan. Por otro lado el factor sobre el que se manifiestan conserva su capacidad de recuperación de forma natural o en su defecto, puede restablecerse con la aplicación de las medidas de mitigación. En el rango numérico de la calificación cualitativa de la importancia, todos estos impactos se ubican entre los valores absolutos 12 y 24. En conjunto a estos impactos se les denominó como aceptables o permisibles, lo que denota su escasa importancia para la calificación final del impacto del proyecto, en su conjunto, sobre el medio.

El resto de los impactos se clasificaron en moderados, cuando el valor absoluto que adquieren se encuentra entre 25 y 49; severos cuando se ubican en rango de -50 y -74, buenos con valores dentro del mismo rango pero con signo positivo; y críticos cuando los valores absolutos son superiores a 75. La clasificación referida solo se aplica a las valoraciones de los impactos, las cuales corresponden a las celdas de cruce de la matriz.

Uno de los aspectos de mayor importancia en la aplicación de la metodología antes descrita es la necesidad de que en el proceso de evaluación participe un grupo interdisciplinario desde la identificación de los efectos. De tal forma que estos se constituyan en un banco de información elaborado por el juicio de múltiples especialistas y, en consecuencia, cubran prácticamente todas las posibilidades de impactos producidos, con ópticas o puntos de vista muy específicos. Por otro lado, durante el proceso de evaluación, la participación de los





diferentes especialistas encargados del diseño de la obra, permitió que el grupo evaluador precisara su información sobre las acciones de la obra susceptibles de producir impactos, en las que la sola información sobre el medio no fuera suficiente para establecer un juicio de valor sobre la importancia del mismo.

Con este propósito se realizó un taller para la revisión de los aspectos incluidos en el documento de evaluación de impacto ambiental provocados por la construcción del P.H. El Cajón.

El primer objetivo de la reunión de trabajo fue homogeneizar la información sobre el proyecto y el entorno en que se desarrollará, y sobre la metodología elegida para la evaluación del impacto ambiental.

Posteriormente, se procedió a la revisión de la identificación y evaluación cualitativa de los impactos ambientales, identificando las acciones susceptibles de provocar alteraciones y los factores que serían afectados; lo anterior sirvió de base para la construcción de una Matriz General y tablas de cálculo.

Una vez que las diferentes secciones de la matriz fueron evaluadas cualitativamente, de que cribó la Matriz General para obtener la Matriz Depurada y de que se obtuvo el valor total del impacto sobre el ecosistema, se procedió a la descripción enunciativa de los factores más importantes.

### **Resumen de los resultados obtenidos con la Matriz de Importancia.**

En resumen los resultados obtenidos de la Matriz de Importancia, se realiza en dos etapas que, no obstante, están interrelacionadas una con otra: el objetivo es observar el efecto de la participación de los impactos permanentes, tanto para la calificación del impacto ambiental total, por cada una de las acciones involucradas, como en la importancia del impacto, sobre cada uno de los factores y subsistemas. En la primera etapa se hace un análisis somero de los valores de importancia obtenidos en la Matriz Depurada, poniendo especial énfasis sobre las acciones más impactantes y los sistemas o subsistemas que reciben la mayor afectación y la importancia total del impacto ambiental que generará el proyecto.

En la segunda, se hace una descripción de mayor detalle sobre los impactos permanentes totales por cada una de las etapas y secciones en que se ha dividido la Matriz, por ser estos los de mayor relevancia y los que por su propia naturaleza demandarán de la aplicación estricta de medidas de mitigación, corrección y/o compensación, cuyo diseño ejecutivo estará basado en los resultados de subsecuentes estudios específicos y de mayor amplitud, pues su instrumentación requiere de la participación de entidades públicas, en todos los niveles de gobierno y en consecuencia no pueden ser asumidas como compromisos individuales.

El modelo deductivo utilizado para este análisis, parte de la mayor importancia de los impactos permanentes, no necesariamente implica la irreversibilidad y/o irrecuperabilidad



del factor o parámetro ambiental si no que supone una pérdida temporal, por una plazo superior a los diez años, de su calidad ambiental. Por otro lado de esta forma se exponen de forma clara tanto las acciones más impactantes, como los factores ambientales más impactados.

Los resultados de la Matriz Depurada, arrojan un valor de la importancia para los impactos producidos, por la construcción y operación del proyecto en su conjunto de  $-1\,473$ , que resulta bajo considerando el número de celdas de cruce en las que se identificaron impactos. Este valor, relativamente bajo, refleja sobre todo los aspectos positivos del proyecto, no solo en el contexto regional, sino inclusive en el ámbito nacional en el que estos se manifestarán, pues por su naturaleza no se pueden circunscribir únicamente al área en que se desarrollará el proyecto.

Asimismo, el medio natural recibe, prácticamente, la totalidad de los impactos negativos que son de  $-4\,406$  y los beneficios se reflejan en el medio socioeconómico, de  $2,933$ ; lo que numéricamente refleja lo expresado anteriormente.

Dentro del medio natural los factores que reciben la mayor afectación son flora y fauna, vegetación, tierra y paisaje como se aprecia en la figura IV.1. Un aspecto relevante en este medio es la escasa importancia del impacto sobre el agua y que analizado de forma particular, esta influenciado por la baja calidad del agua que transporta el río Santiago y por el hecho de que su embalsamiento compromete impactos benéficos hacia el área de aguas abajo, que se traducirán en beneficios concretos en el embalse de Aguamilpa, producción pesquera y mayor certidumbre el en abasto de agua para la infraestructura de riego en la zona costera. Además, su utilización para la generación de energía eléctrica no compromete la disponibilidad del recurso y si una mayor eficiencia en la regulación de los escurrimientos de la cuenca.

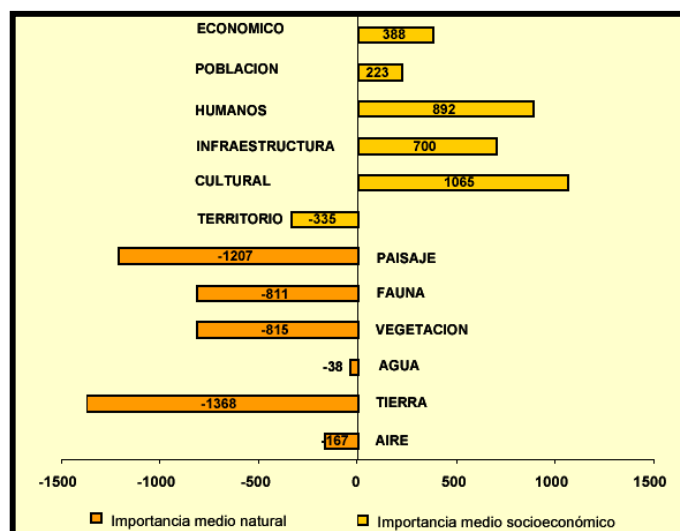


Fig.IV.1.- Importancia del impacto producido por la realización del P.H. El Cajón, sobre los factores ambientales considerados.

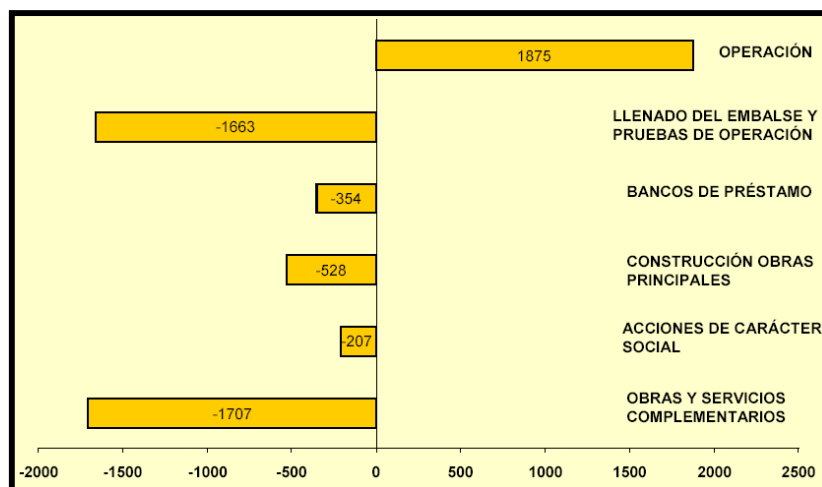


Entre las acciones más agresivas sobre el medio natural, en la fase de construcción, están el llenado del embalse, la habilitación del banco de roca El Vertedor, la construcción de campamentos y la línea de energía eléctrica, así como la reorganización de actividades agropecuarias y la obra de contención. En la fase de operación los impactos provocados por cada una de las actividades resultan poco significativos.

En el medio socioeconómico las acciones que mayores impactos ambientales provocan son construcción de campamentos y su ordenamiento dasonómico, construcción de nuevos centros de población, construcción de obra de contención, abandono y restauración de bancos de material (todos ellos de tipo positivo) y el llenado del embalse que tiene un efecto marginal negativo. En la fase de operación el efecto más relevante es la generación de energía eléctrica.

Por secciones, el total del impacto ambiental hace resaltar a la etapa de construcción de obras y servicios complementarios, mostrado en la figura IV.2, aunque como se verá más adelante, el valor está influenciado de forma directa por la notoria participación de impactos temporales. El llenado del embalse es la segunda sección en importancia y en ella destaca nuevamente la oclusión de los túneles de desvío con el 74 % del valor total del impacto registrado.

La tercera sección en importancia por el impacto ambiental total es la construcción de obras principales, que resulta inferior al valor de la construcción de obras y servicios complementarios, pero que está influenciada por sus efectos temporales positivos en el medio socioeconómico.

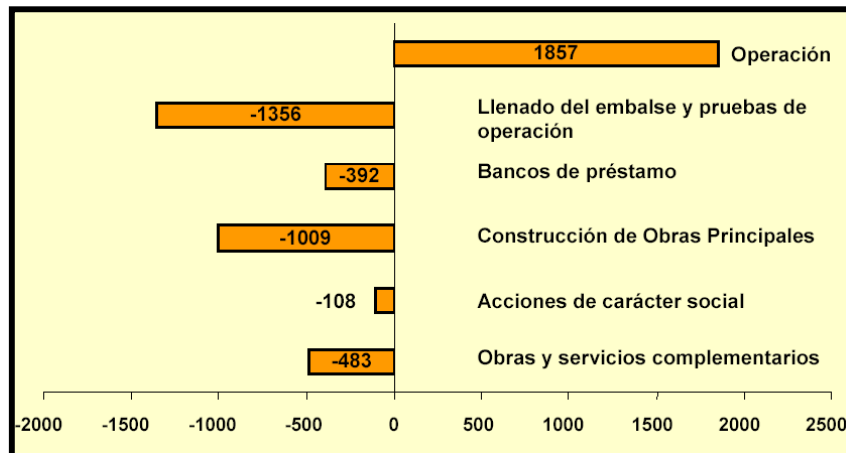


**Fig.IV.2.- Impactos ambientales totales sobre el medio natural por cada una de las secciones, consideradas en la evaluación.**

Al concentrar únicamente los impactos permanentes, con la finalidad de evidenciar su influencia directa sobre el impacto ambiental total, nos resulta en una recomposición de la figura IV.2; en la que se hace evidente la participación de los impactos permanentes de tipo negativo, como los componentes principales del impacto total provocado por el llenado del



embalse, mientras que para la sección de obras y servicios complementarios, la magnitud de los impactos ambientales permanentes es mucho menor. En el caso de la construcción de las obras principales, la configuración de la columna tiene su origen en la amplia participación de los impactos temporales que tendrá sobre el medio socioeconómico, particularmente por la contratación de mano de obra y todos los beneficios que de ellas se derivan.



**Figura IV.3. Participación de los impactos ambientales permanentes, en la valoración del impacto ambiental total.**

En la tabla IV.5. y en la figura IV.3. se observa que el grueso de las celdas de cruce que denotan la ocurrencia de impactos permanentes, se concentran en la fase de construcción, en la que se alcanza un valor de impacto ambiental total de  $-3\ 348$ .

En contraparte, en la fase de operación, la generación de energía eléctrica compromete solamente, en su mayoría, impactos positivos, pues la distribución de ésta sobrepasa el área directa de influencia de la región en que se habrá implantado el proyecto. De esta forma, el valor del impacto ambiental total es positivo con  $1\ 857$ .

Desglosando el valor los impactos ambientales permanentes producidos durante la fase de construcción, tenemos que del total de los impactos identificados el 40.5 % corresponden a la sección de llenado del embalse. El subsistema que recibe el mayor impacto es el medio natural con un valor de  $-1\ 164$ . En este caso, el subsistema socioeconómico solo manifiesta efectos marginales, que alcanza escasamente un valor de  $-192$ , recayendo en su mayoría en el uso del territorio.

La oclusión de los túneles de desvío y el consecuente llenado del embalse, es la acción más impactante que por si misma representa  $-897$  que representa el 20 % de los impactos permanentes de toda la fase sobre el medio natural y de  $-192$  en el socioeconómico.

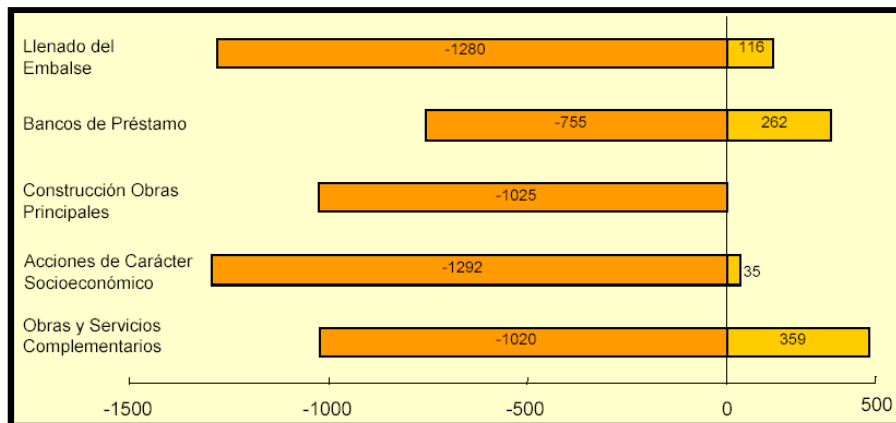


Tabla IV.5. Resumen de la Matriz de Importancia, en que se presentan los impactos permanentes, identificados en las fases construcción y operación del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón.

SIMBOLOGIA				TOTAL PERMANENTES OBRAS Y SERVICIOS COMPLEMENTARIOS.	TOTAL PERMANENTES ACCIONES DE CARÁCTER SOCIAL	TOTAL PERMANENTES CONSTRUCCIÓN OBRAS PRINCIPALES.	TOTAL PERMANENTES BANCOS DE PRÉSTAMO.	TOTAL PERMANENTES LLENADO DEL EMBALSE Y PRUEBAS DE OPERACIÓN	TOTAL DE PERMANENTES CONSTRUCCIÓN	TOTAL PERMANENTES DE OPERACIÓN
+ 10		Impactos positivos								
-20		Impactos negativos								
EFECTOS PERMANENTES SOBRE EL MEDIO AMBIENTE										
FACTORES AMBIENTALES IMPACTADOS										
MEDIO NATURAL	MEDIO INERTE	AIRE	TOTAL AIRE	-23	-29	-71	51	-73	-145	3
		TIERRA	TOTAL TIERRA	-383	-263	-262	-228	-150	-1286	-58
		AGUA	TOTAL AGUA	34	-59	-88	24	-56	-145	107
		TOTAL IMPACTO MEDIO INERTE			-372	-351	-421	-153	-279	-1576
	MEDIO BIÓTICO	VEGETACIÓN	TOTAL VEGETACIÓN	-104	-425	-214	-30	-277	-1050	133
		FAUNA	TOTAL FAUNA	57	-202	-76	-58	-407	-676	-139
		TOTAL IMPACTO MEDIO BIOTICO			-37	-627	-290	-88	-684	-1726
	MEDIO PERCEPTUAL	PAISAJE	TOTAL PAISAJE	-252	-279	-314	-228	-201	-1274	67
		TOTAL IMPACTO MEDIO PERCEPTUAL			-252	-279	-314	-228	-201	-1274
	<b>TOTAL MEDIO NATURAL</b>				<b>-661</b>	<b>-1257</b>	<b>-1025</b>	<b>-469</b>	<b>-1184</b>	<b>-4576</b>
MEDIO SOCIOECONÓMICO	MEDIO SOCIAL	TERRITORIO	TOTAL IMPACTO USOS DEL TERRITORIO	-137	-194	-103	57	-162	-539	204
		CULTURAL	TOTAL CULTURAL	-66	440	119	18	0	508	557
		INFRAESTRUCTURA	TOTAL INFRAESTRUCTURA	162	310	0	0	0	472	226
		HUMANOS	TOTAL HUMANOS	185	407	0	2	-17	581	311
	TOTAL IMPACTO MEDIO SOCIAL			145	963	16	77	-179	1022	1300
	MEDIO ECONOMICO	POBLACION	TOTAL POBLACION	-29	117	0	0	0	88	167
		ECONOMIA	TOTAL ECONOMIA	62	69	0	0	-13	118	276
TOTAL MEDIO ECONOMICO			33	186	0	0	-13	206	437	
<b>TOTAL MEDIO SOCIOECONOMICO</b>				<b>178</b>	<b>1149</b>	<b>16</b>	<b>77</b>	<b>-192</b>	<b>1228</b>	<b>1737</b>

La segunda sección en importancia, por el impacto ambiental total, es la construcción de las estructuras principales, en la que las modificaciones en el relieve y el carácter permanente, irreversible e irrecuperable de las acciones involucradas, es en el que recae el mas alto valor. En esta sección son los impactos permanentes sobre los medios inerte y perceptual sobre los que recae la mayor participación en el impacto ambiental total.

Las acciones de carácter social provocan un impacto ambiental total de -108, pero desglosado en la partición de los dos subsistemas mostrado en las figuras IV.4 y IV.5, se observa una mayor afectación sobre el medio natural con -1 257. El valor es reflejo, más que de los impactos directos del proyecto, de los que se originarán como resultado de la reorganización de las actividades agropecuarias en la zona y que como se discute en el apartado correspondiente al análisis del sistema ambiental, tenderán a la degradación de las áreas cercanas al embalse, con afectaciones importantes sobre los medios inerte y biótico.

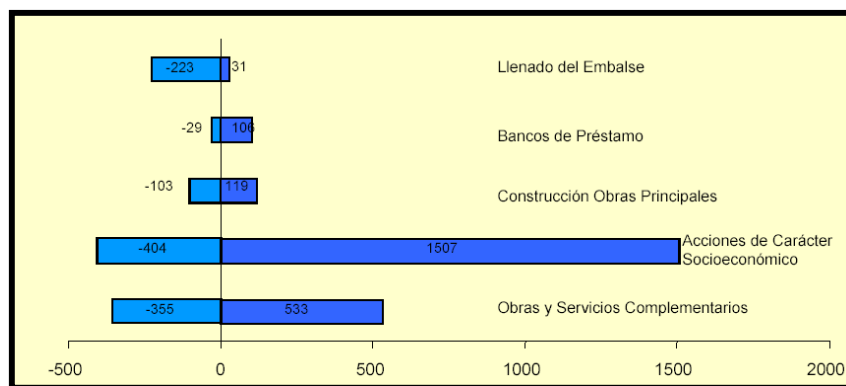


**Fig.IV.4.- Participación de los impactas permanentes en el impacto ambiental total sobre el medio natural. La diferencia con respecto al texto obedece a la suma algebraica de positivos y negativos.**

La sección de obras complementarias, manifiesta también un componente negativo sobre el medio natural y otro positivo en el socioeconómico, aunque por su carácter localizado no resultan de gran relevancia.

Los bancos de préstamo en su conjunto representan un impacto ambiental total de  $-392$  y en ellos se manifiesta como la mayor acción impactante la habilitación del banco de Roca El Vertedor, sobre todo por el carácter permanente, irreversible e irrecuperable de sus efectos ya que de él se extraerá prácticamente la totalidad de los materiales necesarios para la construcción de la obra de contención.

De forma concisa estos fueron los resultados más relevantes que se obtuvieron de la Matriz de Importancia, construida para la identificación y evaluación cualitativa de los impactos generados por la construcción y operación del P.H. El Cajón. En la siguiente sección se describen de forma detallada algunos de los impactos más importantes identificados y se hace un análisis sobre su importancia y de los factores sobre los inciden.



**Fig.IV.5.- Participación de los impactas permanentes en el impacto ambiental total sobre el medio socioeconómicos. La diferencia con respecto al texto obedece a la suma algebraica de positivos y negativos.**



### **IV.3.- Descripción e identificación de los impactos mas importantes**

#### **IV.3.1.- Aire**

Los impactos en el factor aire serán de gran importancia, ya que actualmente la zona cuenta con una buena calidad del aire la cual se verá afectada por realización del proyecto en dos fases, donde la presión sobre este factor será de diferente magnitud. La primera fase y de mayor impacto será la fase de construcción y la segunda fase será la de operación. La calidad del aire se verá afectada principalmente por el aumento en los niveles de ruido y polvo, además por la emisión de gases provenientes de los vehículos y la descomposición de materia orgánica.

Durante la fase de construcción se realizarán actividades en un área aproximada de 100 ha que afectarán la calidad del aire por el uso de vehículos y maquinaria, transporte de material, uso de explosivos, funcionamiento de las plantas trituradora y dosificadora, las voladuras y la explotación de bancos de material que se necesitan para la construcción de las obras principales.

Las acciones necesarias para la construcción del proyecto generará niveles de ruido que estarán entre 60 y 120 db, en la fuente origen. El ruido será causado principalmente por las voladuras, planta trituradora, perforadoras, planta dosificadora, tractores y los vehículos utilizados para el transporte de material. Este impacto será continuo mientras se realicen las actividades de la obra y su intensidad dependerá de la cercanía a la fuente emisora.

El nivel de polvo que se generará por las actividades de construcción será muy alto debido a la naturaleza de las obras. Existirán dos tipos de fuentes emisoras de partículas, móviles y fijas, las cuales se encontrarán dispersas en las 100 ha donde se realizan las obras. El impacto por las fuentes móviles provendrá de la circulación de vehículos, maquinaria y transporte de material; estas actividades se darán en toda la zona de la obra.

Los efectos sobre la calidad del aire con respecto al aumento en el nivel de polvo solo tendrá repercusión durante la temporada de secas, que es de los meses de octubre a mayo, ya que el material que se encuentra es fácilmente dispersado por el viento y tránsito de vehículos, mientras que en la época de lluvias, de junio a septiembre, no habrá generación de polvo por estas razones, ya que este se encuentra compactado debido a la humedad en el suelo.

Las actividades que tendrán influencia en el aumento en los niveles de ruido y polvo que se generan a cielo abierto por la construcción de las obras afectarán un área total de 366 ha, dentro de la cual se ubica el asentamiento humano del campamento ubicado en el área denominada Loma Bonita de 16 ha . Existen otra serie de campamentos y oficinas que se encuentran asentados en el lugar denominado La Mesa. Este sitio se localiza aproximadamente a unos 2 km y a una altura entre 475 y 575 msnm, por lo que no será afectado por el aumento de ruido y polvo generado por la construcción de las obras.



Habrán otro tipo de obras y actividades que se realizarán bajo tierra como son los túneles de desvío, casa de máquinas, pozos de oscilación, obra de toma y canal de desfogue que solo tendrán afectación sobre el personal que se encuentre laborando en esos sitios, ya que como las explosiones y actividades se harán en un lugar cerrado, los niveles de ruido y polvo que se generen no tendrán influencia en otros sitios fuera de estos.

Al terminar esta fase las condiciones de la calidad del aire solo se verán afectadas permanentemente por el cambio en el microclima en el área de las vialidades, ya que el nivel de ruido, polvo y emisiones a la atmósfera disminuirán notablemente una vez terminadas las obras.

### **IV.3.2.-Tierra**

#### **Topografía y relieve**

La explotación de los bancos de material causará un impacto negativo significativo sobre la topografía y el relieve. Actualmente el terreno tiene una topografía de ladera con pendientes que oscilan entre 30 y 40%. Durante la explotación de los bancos de material se atacará por el sistema de ataque por terrazas o bermas por la parte más alta realizando cortes con maquinaria y explosivos. En los bancos de arcilla y limo las terrazas serán de 6 metros de ancho como mínimo, con una pendiente hacia el interior del 2 al 6%, la altura entre ellas será de 8 a 10 m, con una relación de 0.5:1 en taludes; para el banco de roca del vertedor, las terrazas tendrán una distancia entre ellas de 9 a 15 m de altura y con una relación de 0.25:1 en taludes. La explotación de los bancos se realizará de forma escalonada, cambiando la topografía y relieve del terreno. El impacto será permanente, irreversible e irrecuperable.

La cortina será de enrocamiento compactado con cara de concreto en el frente de aguas arriba, tendrá una altura máxima de 186 m y un volumen aproximado de 13,239,238 m<sup>3</sup>, y representa otro cambio geomorfológico local y permanente. Esta estructura se formará de materiales pétreos.

Con la formación del embalse se inundarán permanentemente los playones y los terrenos con suaves y fuertes pendientes que actualmente se observan en algunos tramos del río Santiago. En los terrenos que rodean el futuro cuerpo de agua dominarán las pendientes superiores a 25%, desapareciendo radicalmente terrenos con pendientes de 12 , 25 y hasta 100% o 45%, siendo más acentuada las pendientes en parte de El Cajón, Paso de Golondrinas y La playa.

Los impactos anteriormente mencionados son permanentes, irreversibles e irrecuperables. Con el llenado del embalse se tendrá un impacto negativo significativo sobre la topografía y el relieve, ya que esta quedará bajo el agua y desaparecerán las formas del terreno como son: lomas, laderas abruptas con fuertes y suaves pendientes, terrenos planos (playones del río).





## **Erosión**

Otro impacto que se presentará de manera negativa es la erosión del suelo, el cual es causado por las diversas actividades involucradas en esta fase, siendo la más relevante la habilitación de vialidades (temporales y permanente), tanto en las actividades de la obra como en los caminos que se construirán para los nuevos centros de población, la circulación de vehículos y maquinaria pesada y la explotación de los bancos de material; repercutiendo mayormente la erosión hídrica, ya sea superficial, por canalillos e incluso hasta formarse cárcavas, sobre todo en los bordes de los caminos y los taludes de estos. El impacto será temporal, reversible a mediano plazo y mitigable. Las medidas de mitigación están orientadas a la retención de suelo con muros de gaviones, bordos y cunetas a los lados de los caminos para conducir el agua hacia los escurrimientos naturales y así evitar la pérdida de suelo innecesario.

Con la explotación de los bancos se propiciará de forma menos significativa la erosión de suelo, sobre todo hacia la parte del perímetro de cada banco. Como ya se mencionó será poco significativo ya que como parte de la explotación del banco se construirán las obras necesarias para disminuir la erosión del suelo que consistirán en la apertura de cunetas al pie de cada talud, conectadas a un dren principal que se ubicará de acuerdo a la topografía del terreno, que permitan llevar los escurrimientos pluviales fuera del área de trabajo.

Es importante señalar que el factor pendiente es el de mayor peso empleado para definir el riesgo de erosión. Los terrenos aledaños al futuro embalse tendrán un riesgo de erosión medio porque dominan las pendientes de 25 a 50%; por ello la conservación de la cubierta vegetal será determinante para evitar la pérdida de suelo de los terrenos que rodean el futuro embalse.

Cabe mencionar que durante la etapa constructiva se producirá un impacto positivo por el abandono y restauración de las áreas alteradas, ya que los factores de erosión, estabilidad y características físico-químicas, se favorecerán por las acciones de rehabilitación del suelo, las cuales serán positivas significativas, como se mencionan en las medidas de mitigación.

## **Contaminación del suelo**

El impacto será poco significativo y con una posibilidad muy baja de que se contamine al suelo, ya que se aplicará un programa de control y manejo de estos residuos, que dependiendo de los tipos de residuos de que se trate, serán trasladados a su lugar de destino, como pueden ser un relleno sanitario, bancos de desperdicio o depósitos especiales para residuos peligrosos.

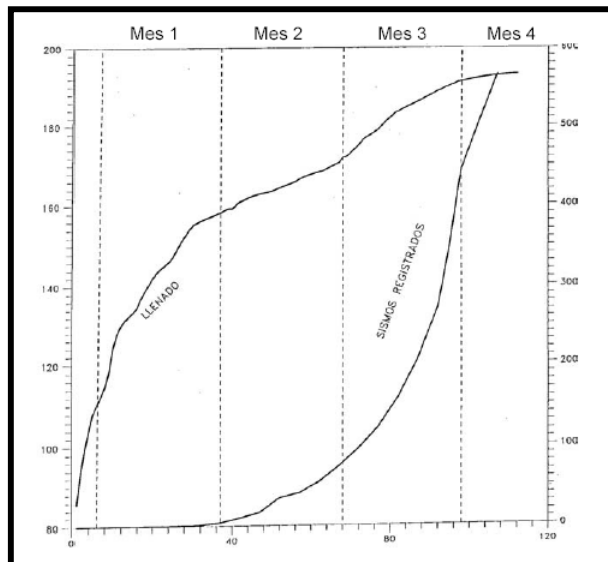
De los impactos menos severos está la habilitación del relleno sanitario, el cual afectará al suelo por la excavación y remoción de suelo, la formación de las celdas para disposición de residuos sólidos. Una vez establecido el relleno se afectará al suelo por la presencia de residuos, los cuales al estar en subsuelo tardarán mucho tiempo en desintegrarse. La afectación será poco significativa ya que la calidad del suelo para las actividades



productivas es baja, es poco profundo, en donde el drenaje y retención de nutrientes son escasos, por lo cual implicará una alteración poco relevante. El impacto será permanente, reversible a mediano plazo y mitigable. Una vez que terminen las actividades de la obra, se restituirá el área con actividades de reforestación.

### Sismicidad Inducida

El P.H. El Cajón se encuentra dentro del mismo sistema tectónico que la presa de Aguamilpa y por ser proyectos hidroeléctricos con las mismas características, se espera que la tendencia del comportamiento del patrón de los eventos sísmicos al comenzar el llenado del embalse del P.H. El Cajón sea una muy parecido a Aguamilpa. Se prevé que el aumento en el patrón de sismos se de gradualmente a partir del mes dos de iniciado el llenado del embalse, mientras que durante los meses tres y cuatro el incremento será mayor. En la figura IV.6, se muestra el comparativo entre el llenado del embalse y los sismos registrados durante el llenado del embalse del proyecto Aguamilpa; la misma se presenta como indicativa del patrón del comportamiento, aunque el número de sismos no se puede estimar con el mismo carácter de los eventos.



**Fig.IV.6.- Patrón de sismos registrado durante el llenado del embalse de Aguamilpa, el cual se estima que se pueda presentar durante el llenado del P. H. El Cajón, aunque el número e intensidad de sismos no es predecible.**

Debido a las condiciones del P.H. El Cajón y a las magnitudes de los eventos registrados en Aguamilpa (el mayor de 3.8 grados), se prevé que no se tengan efectos destructivos en los poblados cercanos al embalse, así como tampoco para las estructuras del P.H. El Cajón.

En los poblados el efecto se reducirá a la generación de inquietud entre sus habitantes, ya que no están acostumbrados a la ocurrencia de este tipo de eventos, al encontrarse en una zona en la que los temblores no son comunes. La probable generación de los eventos deberá



ir aparejada con la sensibilización de la población hacia su ocurrencia y a que actúen en consecuencia bajo un marco de conocimiento de sus orígenes y magnitud.

#### **IV.3.3.- Agua**

##### **Hidrología superficial**

Para analizar a este factor se consideraron las propiedades físicas y químicas del agua, la red de drenaje, el volumen de agua de los cuerpos superficiales y el régimen de escurrimiento. El desmonte y despalme, las excavaciones y nivelaciones, los depósitos temporales o permanentes, de materiales térreos y pétreos, la extracción de materiales de los bancos de préstamo y los residuos sólidos y líquidos, afectarán las propiedades fisicoquímicas de agua por las partículas y sustancias que serán transportadas por los escurrimientos, sin que este impacto pueda ser considerado como relevante. Además, las cuatro primeras acciones afectarán de temporalmente la red de drenaje superficial; sin embargo, para evitar este efecto negativo se desarrollarán obras para dirigir el agua hacia los escurrimientos naturales como medida de corrección, con lo que el impacto se reducirá drásticamente. Por otra parte, cabe señalar que el impacto que podrían provocar los residuos sólidos y líquidos, se prevendrá con un manejo adecuado de los mismos (sistemas de tratamiento de aguas residuales y habilitación de un relleno sanitario).

En las actividades de construcción se utilizará agua del río Santiago. Este impacto es reversible y no se considera relevante por el gran volumen de agua que transporta este río y por la mínima proporción de agua que representará el consumo de agua necesario para el desarrollo del proyecto.

##### ***Llenado del embalse y operación de Central Hidroeléctrica.***

Esta etapa comprende las acciones que ocurren a partir de la oclusión de los túneles de desvío, para propiciar el llenado del embalse. Con la formación de este cuerpo de agua artificial se afectará la mayor parte del área requerida para el embalse y se iniciará su manejo para la generación de electricidad. A continuación se describen los impactos esperados en esta etapa.

La principal transformación en el medio fluvial es el cambio de régimen lótico a léntico en el tramo del río Santiago donde se propone el proyecto. La reducción de la velocidad del flujo de agua originará un cambio de estado en el sistema acuático que se manifestará en cambios en las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua. Por las dimensiones del embalse propuesto, se formará un cuerpo de agua estratificado con una tendencia hacia la eutrofización, por la carga orgánica que se incorpora al río Santiago en Guadalajara.

La retención de carga orgánica y de gran cantidad de nutrientes (fosfatos y nitratos, particularmente) en el embalse de El Cajón, representará una mejoría en la calidad del agua



que llegará al de Aguamilpa, lo que se reflejará en el mediano y largo plazo, como una desaceleración en el proceso de eutrofización al que actualmente esta sujeto este embalse.

Durante la operación de la futura central se requerirá de agua para satisfacer los servicios del personal que se ocupe en esta etapa, así como para el sistema de enfriamiento de la central. Se prevé utilizar agua del embalse para cubrir estas necesidades; sin embargo, el volumen de agua requerido ( $6 \text{ m}^3/\text{día}$ ), el impacto se considera como no significativo.

Por otra parte, la generación de residuos líquidos y sólidos en el área de la futura central podría afectar la calidad del agua por contaminación de los cuerpos de agua superficiales. Para evitar este efecto negativo, se aplicarán programas para el manejo de estos residuos como medida de mitigación.

La creación del embalse supondrá una mayor efectividad en la regulación de los escurrimientos de la cuenca, que se podrán reflejar de forma indirecta sobre la disponibilidad de agua en la planicie costera, para la que se tiene proyectado por la C.N.A., la incorporación al riego de mas de 16 000 ha, para lo cual se construye actualmente el canal principal que parte de la presa derivadora El Jileño (Amado Nervo) y cuya viabilidad depende absolutamente de la disponibilidad del agua necesaria para su alimentación.

### **Hidrología subterránea**

No se espera que en el embalse del P.H. El Cajón afecta la calidad del agua de los acuíferos subterráneos ya que las unidades geológicas de la zona están formadas por material consolidado, lo cual implica que existe una baja probabilidad de formación de acuíferos.

Las rocas que forman esta unidad se encuentran moderadamente fracturadas y dispuestas en paquetes de más de 800 m de espesor, y crean cañones de pendientes muy pronunciadas que impiden la formación de acuíferos subterráneos, aunque pueden permitir la formación de acuíferos confinados. Por otro lado, hasta la fecha no hay evidencia de cómo efecto del llenado de Aguamilpa se hayan contaminado manantiales, con afloramientos en la zona de aguas abajo del embalse.

### **Condiciones que presentará el futuro embalse.**

Una de las modificaciones más radicales en el escenario ambiental será la formación de un embalse artificial. El cambio de régimen lótico a léntico por el embalsamiento del tramo del río Santiago donde se propone el proyecto, es sin duda el impacto de mayor relevancia en la hidrología superficial. La reducción de la velocidad del flujo de agua provocará cambios en las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua.

Diversos estudios señalan que en embalses artificiales, los principales cambios ocurren en:



a) La distribución del calor y por tanto de la temperatura con respecto a la profundidad del embalse; y b) La reducción de sílice, color, bacterias, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y turbiedad en la capa superficial del embalse, los cuales se pueden considerar benéficos.

Los estudios señalan también que se presentan cambios negativos, como:

- a) La reducción del oxígeno disuelto e incremento en el CO<sub>2</sub> con respecto a la profundidad;
- b) Un aumento de la dureza y los sólidos disueltos.

Por las dimensiones del embalse propuesto; es probable que se presente una estratificación en la columna de agua y se presume que en las capas profundas el agua será de menor calidad que en la superficie.

En el análisis de la evolución del futuro embalse del PH Cajón, se optó por usar la analogía con de diversos embalses de México, especialmente de la presa Aguamilpa, ubicada 60 km aguas abajo del proyecto, con unos 150 m de diferencia en altitud. Ambas presas tendrán una profundidad similar y serán influidas por condiciones fisico-bióticas parecidas (clima, vegetación, etc). Además, se consideraron algunos datos de la presa Santa Rosa, la cual se ubica aguas arriba del PH El Cajón, también sobre el río Santiago.

#### **IV.3.4.-Vegetación**

Los impactos sobre la vegetación que provocará el P.H. El Cajón se harán evidentes de diversas formas, sobre una o varias de las características de la vegetación y en diferentes etapas de la construcción de la infraestructura y explotación de bancos.

El impacto más significativo de las actividades de construcción se relaciona con la pérdida de la cubierta vegetal en los sitios que serán utilizados para la instalación y habilitación de las actividades. La diversidad es una característica en la que los impactos, aunque significativos de forma inicial, se revierten en el mediano plazo.

Adicionalmente, para el desplante de las construcciones es necesario el despalme de la superficie desmontada, con lo que el efecto se incrementa. De forma particular, la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales tiene implícita una componente positiva al permitir la permanencia de humedad en los sitios de la descarga y en consecuencia la persistencia de follaje en el arbolado circundante y herbáceas.

Las vialidades provocarán efectos adversos en áreas relativamente pequeñas y, en su fase inicial, comprenden en su mayor parte la rehabilitación y ampliación de 20.761 km de brechas ya existentes desde la exploración del sitio. Los únicos caminos que son de nueva creación son los que conducen de la pedrera “El Vertedor” al patio de almacenamiento, el que comunica al vertedor con el banco de desperdicio en la margen derecha y a la estación



de microondas, así como el que comunica el camino de margen izquierda con el área de campamentos, oficinas y la casa de visitas.

En la fase intermedia de la etapa de construcción, la modificación a estos caminos es mínima, siendo el tramo de mayor importancia (aprox. 400 m), el que parte del puente sobre el río Santiago y que entronca con el camino hacia la pedrera “El Vertedor” y el patio de almacenamiento. Algunos de los caminos habilitados durante la fase inicial entrarán en desuso, como el de la parte superior de la pedrera, mientras que otros más desaparecerán por el avance de la construcción en la cortina y túneles de desvío.

En la fase final de la etapa constructiva, las vialidades definitivas solo resultan en una ligera modificación de las existentes en la fase intermedia. De estas se conservan las siguientes: en la margen derecha, el camino desde el puente sobre el río Santiago hacia la pedrera y el patio de almacenamiento, por el cual se tendrá acceso a la corona de cortina, a la estación de microondas y al embarcadero del chalán (utilizado para el mantenimiento e inspección de la obra de toma); el camino a la estación será modificado para elevar su trazo por encima del canal de llamada.

En la margen izquierda se conservan todos los caminos de la fase intermedia (exceptuando los de aguas arriba, que desaparecen por efecto de la formación del embalse) y solo se agrega un pequeño tramo que conducirá al embarcadero público. Por otro lado, caen en desuso vialidades de la zona de campamentos y oficinas y las que conducen a esta.

Por la superficie que involucran estas vialidades, la intensidad de su efecto es mínima, pues no comprometen porciones considerables de la superficie cubierta por las diferentes asociaciones vegetales.

El banco de roca El Vertedor, el patio de almacenamiento y la zona industrial son los que mayor importancia representarán, por la intensidad en que su efecto se manifestará en la cubierta vegetal. Aunque la explotación de este banco no compromete la destrucción completa de la cubierta vegetal, sí representa mayores dificultades para su recuperación.

La explotación de los dos bancos de aluvión tendrá un grado de incidencia muy bajo para el factor vegetación. En el caso del Agua Caliente, su cubierta vegetal se limita a una zona marginal en su parte norte, mientras que el resto se encuentra desnuda. En cuanto al Cantiles, su cubierta se limita a sus porciones oeste y sur.

En lo que respecta a los bancos de arcilla Agua Caliente y Manantial, el grado de incidencia es bajo, ya que al igual que para los bancos de roca su importancia no se estima por la superficie afectada, sino por las dificultades que representa su recuperación y por su posición con respecto a otras obras en la zona de descarga del vertedor (Agua Caliente) y sobre el portal de salida de los túneles de desvío (Manantial). Por lo anterior, su recuperación estará condicionada a la ausencia de interferencia con la operación de estas estructuras.



Todas las acciones de esta etapa tendrán un área de influencia limitada y suponen efectos inmediatos sobre la vegetación, pues implican la destrucción de la cubierta vegetal como primera y única acción incidente.

Los efectos de los bancos de material son temporales y, dependiendo del tamaño del banco, es el tiempo de recuperación hasta las condiciones cercanas a la condición original. La pedrera El Vertedor es el que tardará más tiempo en ser recuperado, debido a las dimensiones del área afectada y las condiciones de explotación, que dejará grandes terrazas que difícilmente podrán ser cubiertas por especies de tipo arbóreo. En el patio de almacenamiento y la zona industrial los efectos de su ocupación serán temporales y la afectación del suelo no será completa, siendo probable que esta solo incluya la compactación.

El efecto de los campamentos, como de todas las instalaciones de trabajo, será temporal, y a su retiro se permitirá la recuperación de la vegetación a las condiciones originales, aunque de forma muy lenta, por lo que será necesaria su facilitación. El carácter temporal de las instalaciones se ha determinado desde la etapa de diseño, al ser necesario que en su construcción se utilicen materiales recuperables.

La construcción de las obras principales involucra el desmonte y limpieza de los sitios en que se instalarán las estructuras más importantes de la futura central hidroeléctrica. De estas se consideran solo las que se ubicarán en la zona de aguas abajo de la presa. Las de aguas arriba no se toman en cuenta porque sus efectos serán sobrepasados por los generados durante el llenado del embalse y la calificación de sus efectos. Las obras de generación tampoco se consideran, ya que estas son subterráneas y si bien tendrán efectos indirectos sobre la cubierta vegetal (depósito de materiales en el banco de desperdicios de la margen derecha), estos también se manifestarán en la zona a ser inundada por el llenado del embalse. La superficie vegetal a ser afectada por estas obras es de 22.23 ha.

Aunque la construcción de estas obras supone la pérdida total de la vegetación en las superficies en que se realizarán, en el ámbito regional solo implica la destrucción de pequeñas áreas, que no son comparativamente significativas con las tasas de pérdida que se han estimado para el sistema. Solo en los casos del transporte de materiales y en el tránsito de vehículos y equipos, el área es mayor por el incremento en superficie afectada asociada a la movilidad. La generación de polvos y su depósito sobre el follaje, como un efecto del transporte de materiales y tránsito de vehículos, es reversible al momento en que cese la acción. En caso de las vialidades temporales, cuyos efectos no son reversibles, si admiten la aplicación de medidas de corrección y compensación adecuadas a cada caso.

Los efectos producidos en esta etapa son generalmente directos, excepto para el transporte y circulación de vehículos, cuyos efectos son indirectos por suponer solamente la cubierta del follaje por polvos. Los efectos de la construcción son continuos; se presentan de



inmediato y ya no tienen manifestaciones posteriores sobre el mismo factor. Como acciones que tendrán efectos irregulares se encuentran el transporte y tránsito de vehículos.

El potencial forestal, que también se destruirá de forma definitiva e irreversible es de escasa importancia comercial y utilitaria, como lo demuestra la actividad que en este sentido se puede observar en el área y que se restringe, ocasionalmente, a la extracción selectiva de horcones, puntales, morillos y polines para la construcción de viviendas y carretones.

El efecto solo se expresa de forma puntual, recayendo en los terrenos directamente afectados. No hay influencia sobre las áreas adyacentes, aunque será necesario establecer medidas de mitigación para evitar que estos desmontes influyan de forma negativa sobre la vegetación remanente o factores asociados a esta.

El mayor de los impactos a ser producidos por la construcción del Proyecto Hidroeléctrico es el llenado del embalse, con el se afectará una superficie de 3, 942 ha (incluye la superficie ocupada actualmente por el río Santiago), hasta el nivel de aguas Máximo Extraordinario (NAME). Esta superficie se reduce significativamente ya que el llenado del embalse se mantendrá al Nivel de Agua Máximo de Operación (NAMO) que raramente será rebasado, como se observa en el embalse de la central de Aguamilpa, en la que después de más de seis años de operación solo entre octubre y noviembre de 1996 y luego entre octubre y diciembre de 1998 ha sido rebasado hasta por 3.8 m y se ha mantenido al nivel de la cota 220 msnm, entre diciembre de 1998 y enero de 1999.

De esta forma el efecto se manifestará en su totalidad por debajo de la cota 391 msnm, en la que se ha ubicado el NAMO. Por arriba de esta, la vegetación se mantendrá en su condición actual en una franja de tres metros de alto a lo largo de todo el perímetro del embalse. Arriba de la cota 394 msnm, no se esperan impactos directos y atribuibles a las obras de la presa, con excepción de los provocados por las construcciones que se encuentran en Loma Bonita (el talud de protección de la obra de excedencias, el camino que comunica con la caseta de microondas y la caseta misma) y los eventuales derrumbes asociados al llenado.

El cambio que sufrirá la cubierta vegetal, fuera del área directamente afectada por el llenado, será por impactos indirectos y/o de tipo secundario, siendo consecuencia de la reorganización de las actividades agropecuarias.

La ocurrencia de derrumbes en las laderas circundantes del embalse, tendrá efectos negativos sobre la cubierta vegetal, aunque su magnitud dependerá de la superficie que se involucre en cada uno de estos eventos y que al menos por las observaciones realizadas durante el llenado de Aguamilpa, no son superiores a 0.25 o 0.5 ha. Tanto la probabilidad, como la ubicación de los sitios en que estos eventos puedan ocurrir solo podrá ser determinada durante el llenado, pues como en el caso de Aguamilpa es de esperarse que se presenten en cualquier tipo de terreno, sin que haya una relación directa entre la pendiente o tipo de material presente, así como de la estabilidad teórica del sitio.





Aunque la importancia de estos eventos será poco significativa para la cubierta vegetal, su importancia es mayor al considerarlos como riesgos potenciales para la seguridad de los usuarios del embalse y como focos potenciales de erosión de los terrenos circundantes, con lo que originarían impactos secundarios sobre el suelo y la cubierta vegetal.

En la fase de llenado, el impacto se manifestará de forma inmediata, con la destrucción total de la superficie que se encuentre por debajo de la cota 391 msnm, en un lapso que se considera no excederá los doce meses y que de acuerdo con los volúmenes escurridos por el río Santiago Los impactos indirectos que se estima se producirán en la parte alta del embalse, se presentarán en el largo plazo, con una serie de efectos en el periodo comprendido entre uno y cinco años, por la reorganización de las actividades agropecuarias en la zona inmediata al embalse, en las que estarán incluidos el aumento de las superficies abiertas a los cultivos y pastizales, los cuales pudieran extenderse de forma, como una forma de eficientizar la ganadería, situación que se observa actualmente en algunas partes del área a ser inundada.

A escala nacional, las superficies a ser afectadas constituyen una porción sustancial de las superficies que anualmente se pierden en el país por efecto de la deforestación (natural e inducida por el hombre) y que es de un millón de hectáreas (SEMARNAT, 2002), la superficie afectable representa menos de 0.4% del total del área forestal que se pierde anualmente, con lo que el efecto de acumulación no resulta significativo en el nivel nacional; sin embargo, es drástico por su carácter inmediato, permanente e irrecuperable. De esta forma, tanto los impactos directos como los indirectos, se consideran como acumulativos, aunque esto signifique solo el incremento en las superficies perdidas de cubierta vegetal.

Dentro del orden Socioeconómico, durante la etapa de construcción se consideran los sitios en que se reubicarán los pobladores del área a ser afectada de forma directa por la formación del embalse.

Los reacomodos incluyen la restitución de las viviendas, centros de reunión, educativos y la infraestructura existente para los servicios públicos.

Una de las características de los asentamientos a ser reubicados, es lo disperso que se encuentran en la región y el escaso número de habitantes. La densidad humana en la zona es de 5.27 hab/km<sup>2</sup>. Los sitios de mayor concentración son los poblados de El Ciruelo, San Juan y La Playa.

Esta baja densidad poblacional y escaso número de viviendas permiten visualizar lo poco significativo que resultarán los impactos sobre la vegetación provocados por la construcción de los reacomodos.

La construcción de caminos para tener acceso a las nuevas localidades, como el que conectaría al nuevo San Juan con la terracería existente hacia Palmillas y la previsible



construcción de otro que comunicaría Santa Fe con El Paso de la Golondrina, será fuente de mayores impactos negativos.

La incidencia de las acciones relacionadas con los reacomodos, se reflejará en el ámbito específico de las superficies a ser afectadas, por lo que el calificativo para la intensidad es de baja para el impacto global. Esta es aplicable, pues aunque el impacto no se expresará como una destrucción total de la vegetación, la necesidad de introducción del agua implica la modificación de áreas adyacentes.

#### **IV.3.5.- Fauna**

Las acciones que tendrán efectos negativos sobre la fauna serán aquellas relacionadas con el desmonte, despalle y ocupación permanente o temporal de terrenos. La circulación de vehículos y el transporte de materiales, si bien representan efectos negativos, son menos importantes que los primeros. La dotación de servicios, adquisición de insumos y prestación de servicios solo tendrán efectos marginales y muchos de ellos son de tipo indirecto.

Los desmontes necesarios para la realización de la mayoría de estas actividades tienen como consecuencia una pérdida tanto de sitios de descanso, anidación y madrigueras, así como de recursos alimenticios para los grupos de aves, roedores y pequeños mamíferos.

De todas estas actividades la que mayores efectos negativos representa es la habilitación de las vialidades (temporales y permanentes), redimensionamiento y operación; Además el tránsito de vehículos provocará una compactación del terreno, aún cuando los caminos sean temporales, que impedirá que este sea utilizado por algunos anfibios o roedores como sitios de refugio. La explotación de los bancos de material produce un impacto similar, ya que también existe la pérdida de vegetación y de suelo.

Por el incremento en la accesibilidad al sitio y las actividades propias de construcción, los animales presentes serán ahuyentados de las áreas inmediatas de trabajo, interrumpiendo (de forma no cuantificable) los procesos de cortejo, apareo y crianza de los individuos ocupantes del sitio. La importancia de este efecto dependerá de la época del año en que se inicien los trabajos, aunque esta se considera baja por la necesidad de iniciarlos antes o después del temporal, para evitar los retrasos que este representa por la limitada accesibilidad al sitio.

Como impactos positivos a la fauna se tiene: la generación y manejo de los residuos sólidos domésticos, ya que ofrecerá sitios de alimentación y refugio para algunas especies de mamíferos, reptiles y aves, aunque algunas especies de ratas y ratones pueden convertirse en plagas. Los sitios de descarga de aguas pueden llegar a ser utilizados por algunas especies de anfibios.



La forestación que se realizará en los alrededores y espacios abiertos entre las edificaciones, permitirá el establecimiento de especies, ya que será un área que ofrecerá alimento y refugio para algunas de ellas.

Por la superficie en que se manifestarán los impactos el grado de destrucción es bajo, sobre todo porque no implica la destrucción completa y directa de las poblaciones de fauna presentes en el sitio.

Los anfibios se verán impactados con una intensidad media, debido al desmonte y despalme ocasionado por la construcción de obras, ya que destruirán y disminuirán el hábitat de las especies; donde realizan sus actividades de alimentación, reproducción, refugio y letargo.

En el caso de los roedores pequeños, la pérdida de sitios para el establecimiento de madrigueras será el efecto más significativo. Sin embargo, esta afectación se considera baja por las modificaciones que en el hábitat, han representado el uso intensivo del área con fines pecuarios. En los alrededores de los campamentos e instalaciones es de esperarse que los animales sean ahuyentados, por el aumento de la accesibilidad a sitios en que las condiciones son muy propicias para el desarrollo de estos organismos.

Para los mamíferos grandes y medianos, reptiles grandes, y aves, las actividades de esta fase se consideran como de una intensidad mínima, ya que los trabajos solamente provocarán su ausencia de los sitios en que se realizan, sin que esto provoque disminuciones en la población y solamente resultará en una ampliación o translocación de los ámbitos hogareños, y un incremento o sobreposición de los territorios de alimentación.

Los reptiles pequeños son los que soportan mejor la presencia humana y los que mejor adaptación han tenido en la zona, aún en los periodos de trabajo, por lo que la afectación para sus poblaciones es muy baja, esperándose su permanencia en la zona durante la fase de construcción. En los bancos de materiales su persistencia será menos probable por la continua modificación de dichos bancos y el intenso movimiento de vehículos y equipo.

La afectación sobre especies con estatus es mínima. Las acciones que tendrán mayor relevancia actuarán mayormente sobre reptiles y anfibios, aun cuando sus poblaciones no han sido estimadas.

La formación de colonias de organismos, como los quirópteros, en los socavones excavados durante los primeros trabajos de exploración del sitio, tiene un efecto de baja intensidad positiva, aunque en primera instancia supone una gran concentración de individuos en la zona, al contar con un refugio por demás adecuado. En la misma forma, la afectación negativa provocada por la expulsión de los murciélagos durante la construcción, tendrá también una intensidad baja.

La diversidad y la estructura de la comunidad, como una de las características de mayor importancia de la fauna, son de las más afectadas. Aún cuando no se ha estimado la



---

---

condición de diversidad – abundancia de las poblaciones animales, se estima que esta será modificada ligeramente por el desplazamiento de los individuos en la zona de trabajo.

La estimación de su afectación en la extensión, al igual que en la intensidad, solo se considera de forma indirecta, por la pérdida de sitios de refugio, incremento en la accesibilidad a sitios en donde las condiciones son propicias para su desarrollo, expulsión forzada de animales en la zona de trabajos, disminución de los terrenos para forrajeo y sobreposición territorial de poblaciones. Pero como la zona en que se manifiestan está limitada al área de trabajo, los impactos se consideran puntuales para todos los grupos faunísticos.

Uno de los efectos de mayor extensión es la utilización de los explosivos en los bancos de material y la excavación de obras subterráneas, con lo que se ocasionará de forma irregular el ahuyentamiento de los organismos de los terrenos circundantes.

El efecto positivo de los socavones por la creación de sitios de refugio y su ocupación por colonias de quirópteros es de tipo puntual. Igualmente puntual será la expulsión de las poblaciones durante la construcción, aún cuando ésta haya pérdida de individuos por falta de refugios adecuados en los terrenos vecinos.

La diversidad, estructura de la comunidad y las especies con estatus tienen una valoración puntual, ya que de ninguna forma se afecta a poblaciones completas o únicas en el sitio y de forma directa no se espera que haya mortandad de animales.

Durante estas etapas del proyecto, la manifestación de los impactos es inmediata, con repercusiones en el mediano plazo y que se pueden estimar como indirectas. Tal es el caso de la interrelación existente entre la expulsión de los animales y la sobreposición de poblaciones en territorios vecinos o la ampliación obligada de los territorios de forrajeo.

Para los organismos de gran tamaño, los impactos se estiman como indirectos y poco significativos, pues no se tiene evidencia de poblaciones de éstos en los sitios a ser afectados.

En los aspectos de diversidad, estructura de la comunidad y la interacción con las poblaciones de depredadores fuera de la zona de los trabajos, el efecto se dará en el mediano plazo y tendrá repercusiones en el largo, que no son cuantificables. La diversidad solo es afectable por las modificaciones en el número de individuos, su distribución espacial y no por la pérdida de tasa.

Los efectos producidos por la construcción se consideran temporales, ya que lo más drástico es la expulsión de los organismos de los terrenos afectados, pero una vez finalizados los trabajos, las poblaciones animales volverán a hacer uso de los terrenos que no sean ocupados de forma permanente y aquellas instalaciones abandonadas e inclusive en uso, como se ha observado durante las temporadas en que los trabajos se suspendieron y en



algunas instalaciones de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa, en donde el archivo esta ocupado por murciélagos.

De forma general y a diferencia de lo que sucede con la vegetación, los efectos en la comunidad faunística son reversibles después de la construcción del proyecto, ya que no hay destrucción directa de las poblaciones. La expulsión y el regreso de los animales a las zonas afectadas es continuo. Asimismo, por la continuidad de la cubierta vegetal no hay riesgo de se destruya totalmente su hábitat o de que pudieran generar perdida de la capacidad de encontrar refugio.

#### **IV.4.- Estrategias para la prevención y mitigación de los impactos ambientales que se presentarán en el PH El Cajón**

De acuerdo a los impactos producidos por la construcción del P.H. El Cajón, se proponen medidas para mitigarlos, para cada uno de los rubros, se indican las acciones a realizar para los impactos identificados.

##### **Construcción de obras principales e infraestructura Impactos temporales**

###### *1. Aumento en los niveles polvo y ruido*

Se establecerá un programa que considere las siguientes acciones:

- a) Las terracerías deberán serán regadas periódicamente durante la temporada de secas, además de que se fomentará que los vehículos que transiten en ellas lo hagan a una velocidad moderada.
- b) Los vehículos empleados durante la construcción serán sometidos a un programa de mantenimiento de acuerdo a sus características y utilización. Se verificará que dicho programa se cumpla.
- c) Se establecerá un monitoreo para la medición de emisiones de ruido en sitios estratégicos de la zona de obras, los cuales incluirán las áreas de construcción, oficinas y habitación.

Las mediciones se harán de manera periódica, una vez al mes por lo menos y en función de los resultados se solicitará a las autoridades competentes la implantación de acciones para la reducción de ruido o en su caso la dotación de equipo de protección para aquella área dada la emisiones no puedan ser reducidas.

###### *2. Pérdida de suelo y vegetación*

Se implementará un programa de conservación de suelos y vegetación que incluya lo siguiente:



- 
- 
- a) Construcción de cunetas o drenes pluviales donde se considere necesario, lo anterior para encauzar y asegurar los escurrimientos superficiales, los cuales se dirigirán hacia los drenes naturales, evitando así el arrastre innecesario del suelo.
- b) En las áreas donde se identifique una erosión fuerte por arrastre de escurrimientos no controlados, derivados de la construcción del proyecto, se implementarán represas filtrantes escalonadas diseñadas de acuerdo con el gasto e intensidad del escurrimiento.
- c) En terrenos con pendientes mayores al 50%, la reforestación se realizará con especies autóctonas en curvas a nivel y sistema de plantación a tres bolillo, elaborando cepas de tipo común, sistema español y Gradoni.
- d) En las áreas de construcción, el suelo producto de los despalme se retirará, cuando este tenga al menos 0.20 m de espesor y se almacenará en un área libre de afectación mediante su cubierta con herbáceas. En la selección de los sitios habilitados como almacenamientos de suelo orgánico se evitarán aquellos que presenten buenas condiciones en la vegetación.
- e) Se realizará una estricta vigilancia para que el desmonte y despálme se realice únicamente en el área a afectar y no en sus alrededores.
- f) Los productos del desmonte se asentarán y se colocarán en los terrenos circundantes como una medida de control de erosión.
- g) Los taludes resultantes de la construcción de plataformas, se atenuarán hasta lograr una pendiente que garantice su estabilidad y permita el desarrollo adecuado de la vegetación natural. El control de la erosión de estos, se realizará mediante el uso de cubierta vegetal y control mecánico del suelo.
- h) Cuando sea posible, se evitará el balconeo de los productos del despálme; cuando el producto de esta actividad sea suelo orgánico, se almacenará para su posterior restitución en el terreno al momento de ejecutar los trabajos de restauración.
- i) Para la construcción de vialidades tanto temporales como permanentes se tendrá prioridad en escoger los sitios que han sido degradados.
- j) Las vialidades temporales serán restauradas para permitir la restitución de la vegetación. Con esta finalidad, se restituirá la cubierta de suelo orgánico y en su caso, se establecerán las medidas pertinentes de control de la erosión. Se plantarán árboles, arbustos y herbáceas nativas. Se dará el seguimiento a la restauración ejecutada.
- k) Todas las estructuras y edificaciones que se utilicen de forma temporal durante las labores de construcción, serán removidas inmediatamente a la terminación de su vida útil y los terrenos serán recuperados: el suelo se descompactará y de ser necesario se agregará un sustrato orgánico adecuado (suelo proveniente del despálme). Finalmente, se propiciará la cubierta vegetal con especies nativas de todo tipo.



### 3. Seguridad del trabajador

El programa para la atención de la seguridad del trabajador contendrá las siguientes acciones.

- a) Concientización en la utilización de los equipos de protección personales (mascarillas, tapones atenuadores de ruido, etc.), en lo cual participará la junta mixta de seguridad e higiene, que se constituye para el proyecto.
- b) Capacitación para el desarrollo eficiente de las labores del trabajador dentro y fuera de la obra; supervisión continua del trabajo de la junta mixta de seguridad e higiene, y aplicación estricta del Sistema de Administración de Seguridad Industrial (SASI).
- c) Campañas para la prevención, manejo y control de alcoholismo, drogadicción y farmacodependencia, como una medida para incrementar la calidad de vida de los trabajadores y sus familias, así como de la población local. Con estas campañas se pretende también reducir los riesgos asociados a este tipo de adicciones (violencia, inseguridad en la propiedad, delincuencia, malvivencia, vagancia y mendicidad).
- d) Capacitación y concientización en el manejo y almacenamiento de materiales peligrosos a fin de cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.
- e) Contar con un señalamiento legible y entendible por la población trabajadora y local mediante el cual se identifiquen áreas peligrosas, restringidas, equipos de seguridad necesarios o peligros potenciales.

### 4. Manejo de residuos

Para el manejo de residuos se establecerá un programa que considere:

- a) La colocación en áreas estratégicas de contenedores en los diferentes frentes de trabajo y serán colectarlos periódicamente para conducirlos al relleno sanitario. Todos los residuos susceptibles de ser reciclados serán seleccionados para su envío a los centros de acopio y reutilización.
- b) La recolección de los desechos sólidos se realizará en vehículos cerrados y empleados exclusivamente para tal fin. Se llevará un seguimiento para que la recolección se realice diariamente en todos los frentes de trabajo y para que no exista mezcla de residuos peligrosos y no peligrosos.
- c) Asimismo, se promoverán acciones de educación ambiental a fin de promover la separación de residuos y en su caso, la reutilización de los mismos.



- c') Se construirán sistemas de drenaje independiente para las aguas pluviales y sanitarias. En el caso de instalaciones donde se generan aguas de tipo industrial o bien conteniendo residuos peligrosos, los drenajes del área de oficinas serán independientes de aquellas que contengan contaminantes peligrosos.
- d) Se instalarán sistemas de tratamiento de las aguas residuales que al menos incluyan un tratamiento primario y posterior cloración antes de su disposición.
- e) Para las aguas residuales de origen industrial, tales como las provenientes de los patios de servicio y talleres de mantenimiento, se construirán trampas de grasas, las cuales a su vez serán periódicamente retiradas mediante la contratación de empresas autorizadas.
- e') En los patios de servicio y talleres de maquinaria se construirán losas de concreto a fin de evitar la infiltración hacia el suelo. Dichas losas tendrán pendientes que encaucen las aguas residuales originadas en estas áreas hacia drenes exclusivos de las mismas. Los drenes, al menos serán perimetrales, con los registros necesarios para la conducción hasta un tanque sedimentador donde exista una trampa de grasas.
- f) En los frentes de trabajo, se instalarán letrinas móviles a razón de 1 por cada 20 trabajadores. Dichas letrinas serán acondicionadas y mantenidas por empresas autorizadas, las cuales serán las responsables de la disposición final de los residuos que en dichas letrinas se generen. La Comisión se asegurará que dicha disposición se realice en sitios autorizados para tal fin.
- g) Los desechos industriales no peligrosos tales como escombros, madera, chatarra y otros, serán confinados en los bancos de desperdicio habilitados para la disposición de los materiales producto de excavaciones y cuya calidad no resulta adecuada para su colocación en la obra de contención o cuyo volumen no es manejable. Es necesario aclarar que por la experiencia que se ha tendido en Aguamilpa, gran parte de la chatarra será reciclada, para lo cual se pondrá a disposición de las empresas del ramo. Muchos otros materiales para la construcción podrán ser recuperados por los pobladores de la zona.
- h) Los residuos peligrosos serán tratados conforme a la normatividad vigente, almacenados de manera temporal dentro del área de la obra y transportados por empresas autorizadas a los sitios de disposición final. En este caso se conservarán las evidencias de los movimientos que estos residuos tengan dentro de la obra.
- i) En el caso del material producto de la excavación y que no sea utilizado en algún frente de trabajo, se tienen identificados sitios para su disposición. Estos sitios se encuentran en ambos márgenes del río Santiago y dentro del área que formará el futuro embalse.





## **Impactos permanentes**

### *1. Pérdida de suelo y vegetación*

El programa de acciones para los efectos permanentes derivados de la construcción del proyecto, contendrá las siguientes líneas de acción.

- a) La realización de los desmontes y despalmes requeridos para la construcción, serán vigilados para evitar afectaciones más allá de la superficie requerida así como para reducir la posibilidad de daños que limiten la recuperación de estas áreas.
- b) En las vialidades permanentes, se mantendrá una zona de compensación forestal de 5 m de ancho. En el caso de que dichas vialidades requieran ser forestadas o reforestadas, se utilizarán especies nativas, colocadas en densidades adecuadas a la condición de los terrenos.
- c) Toda la superficie incluida dentro del polígono de protección se forestará y/o reforestará, conservando sus características de naturalidad, mientras la cubierta vegetal no interfiera con la operación normal de la central hidroeléctrica.
- d) En los terrenos cercanos a la ribera del embalse se fomentará el crecimiento de algunas especies como una forma de protección de las márgenes.
- e) Se evitará en todo el polígono de protección la práctica de la ganadería.
- f) Se propondrá la coordinación con la SEMARNAT para establecer un programa preventivo de incendios forestales.

## **Explotación de los bancos de material**

### *1. Pérdida de suelo y vegetación*

El programa para la explotación y restauración de bancos incluirá:

- a) Delimitación de las superficies destinadas a la extracción de materiales restringiendo los trabajos solamente a esta zona.
- b) Mantenimiento de una franja de protección forestal con un ancho mínimo de 10 m. contiguo a los bancos de material, la cual se mantendrá libre de afectación y se forestará con especies nativas de follaje perenne.
- c) En los casos en los que la capa de suelo orgánico sea de al menos 0.20 m de espesor, se retirará y se almacenará en un sitio adecuado, en donde se propiciará la continuidad de los procesos biológicos. El sitio de almacenamiento se instalará de preferencia en un terreno



degradado y que no esté considerado para utilización posterior. Se considerará como opción la utilización de suelo proveniente de los terrenos a ser inundados.

d) Retiro de todo el material que pueda interferir con el proceso de restauración de las superficies de extracción y depósito de materiales, así como de la zona industrial.

e) En los drenajes internos de las zonas de explotación, se llevarán a cabo mecanismos para evitar el arrastre de materiales sólidos y la formación de cárcavas en las partes bajas, ello mediante la habilitación de cunetas y drenes.

f) Durante la explotación se construirán terrazas de diferentes dimensiones y represas filtrantes en taludes pronunciados (taludes de 0.5:1 en bancos de limo y arcilla y 0.25:1 en bancos de roca), así como la construcción de un drenaje interno que permita la conservación del suelo en toda la zona de explotación.

g) En el caso de los bancos de limo y arcilla, se establecerá coordinación con los propietarios de los predios a fin de definir una forestación o reforestación acorde con la condición del sitio y el uso que se pretenda dar al mismo. En su caso, estas acciones se realizarán con especies nativas.

h) En el caso particular del banco El Vertedor, dado el tipo de material, se realizará un proyecto específico para una restauración, el cual tratará de determinar acciones para una revegetación en función de las condiciones topográficas, el tipo de sustrato y determinar las especies más viables a ser empleadas en este sitio. Dicho proyecto se realizará y someterá a la validación de la autoridad competente, previo a su ejecución.

### **Medidas a la Fauna durante la etapa de construcción**

El programa de protección a la fauna contendrá los siguientes aspectos:

a) Recorridos previos a la ejecución de las obras en las zonas en que se realizará el despalme, con la finalidad de identificar, ubicar y revisar madrigueras, nidos e individuos presentes. Los organismos que se encuentren serán ahuyentados y/o reubicados en la zona.

b) Establecimiento de un albergue para los organismos que, habiendo sido capturados pudieran recibir los cuidados suficientes para después facilitar su sobrevivencia de forma individual. Aquí también se tratará a los organismos que, eventualmente, resulten heridos durante los trabajos y que una vez restablecidos serán liberados.

c) Ejecución de campañas de concientización para evitar la caza, captura o cualquier otro medio de apropiación y aprovechamiento de las especies silvestres. Para ello se hará uso de carteles, trípticos de divulgación, carteles prohibitivos y restrictivos, videos y cualquier otro medio que tienda a fortalecer el objetivo de la campaña. Se solicitará la participación de la



SEMARNAT y la PROFEPA, como entidades responsables de la regulación y la vigilancia de la legislación en materia ambiental.

d) Cuando como consecuencia de la realización del proyecto se detecte la muerte de animales, previo aviso a la PROFEPA, se les preparará para su inclusión en cualquier colección científica del país, dando preferencia a las locales. Cada ejemplar preparado incluirá los datos necesarios básicos para su identificación y que permita ser utilizado como ejemplar de colección. En cada caso los especímenes se preparan siguiendo los procedimientos comunes a cada grupo.

e) Se promoverá la coordinación entre CFE y PROFEPA para que personal de la CFE pueda ejercitar labores de vigilancia, contando con la acreditación correspondiente.

f) Las campañas de educación ambiental también se realizarán en los sitios destinados a la construcción de los nuevos centros de población, y estarán dirigidos a los trabajadores y personal de los contratistas. La inclusión de pobladores locales estará sujeta a su disponibilidad y participación voluntaria.

g) Para el control de roedores se utilizarán:

-Dispositivos mecánicos que permitan la exclusión de organismos silvestres que puedan ser reubicados fuera de las áreas a ser afectadas.

-Cebos que provoquen una muerte dentro de un periodo de tiempo corto y que permita la recuperación del cadáver para su disposición adecuada.

-Cebos basados en compuestos naturales (rotenonas).

h) Para el control de insectos y arácnidos se evitará la utilización de insecticidas organoclorados y organofosforados, dándose preferencia a plaguicidas formulados a base de piretroides o compuestos similares, de baja toxicidad (en el ser humano) y preferentemente de espectro bajo, con baja capacidad de bioacumulación y de escasa o nula creación de resistencia. El control sobre estos organismos incluirá métodos mecánicos (mosquiteros y barreras plásticas, conos invertidos, etc.).

i) Para el caso de las poblaciones vectores de enfermedades en coordinación con la Secretaría de Salud y/o los Servicios Coordinados de Salud del estado de Nayarit, se establecerá un plan para el monitoreo de vectores epidemiológicos tanto para el área de obras como para los reacomodos. El plan de Servicios de Salud se aplicará desde los primeros meses de iniciada la construcción una vez que el Contratista se encuentre en el sitio y se establezcan los compromisos de colaboración interdependencias, y se seguirá hasta la entrega de los poblados de reacomodos a los propietarios y autoridades, o el inicio de la operación de la Central. Posterior a este período el seguimiento, como en todos los centros de población, será a cargo de las entidades rectoras del sector.



## Llenado del embalse

El programa de acciones para este rubro tendrá los siguientes lineamientos:

### *1. Pérdida de vegetación*

a) Promoción de la extracción de los productos forestales existentes en la zona del embalse. Se tratará de que esta extracción sea intensiva y que incluya aquellos recursos que originen beneficios a los poseedores y propietarios de la tierra: madera, postes, puntales, tutores, riostras, horcones, entre otros.

b) Promover la coordinación con entidades federales o estatales encargadas del manejo de los recursos forestales para que se implementen programas de aprovechamiento.

c) Promover el uso del suelo en el área del embalse entre las cotas del NAMO y del NAME, en actividades agropecuarias hasta un año antes de que se inicie el llenado del mismo, ello en coordinación con las entidades federales o estatales responsables del sector.

d) Establecer una vigilancia a lo largo del embalse a fin de identificar, en su caso, la presencia de malezas acuáticas. De ser detectadas, se realizarán las inspecciones necesarias para determinar el origen o fuente de las malezas y a partir de estas definir los puntos de control y acciones complementarias para evitar la infestación del embalse. Durante este período el control de lo que se identifique será mecánico, mediante retenidas, y su retiro de la superficie.

Asimismo, el material retirado será dispuesto en sitios donde no represente problema a la actividad ganadera y que no vuelvan a ser reincorporados al embalse por las fluctuaciones del mismo.

e) Como acciones complementarias a la pérdida de vegetación, en el programa se incluirán lineamientos de coordinación interinstitucionales con entidades federales y estatales a fin de definir estrategias para el uso y aprovechamiento de los recursos por las poblaciones asentadas en las inmediaciones del embalse.

f) Se restituirán las poblaciones de las especies catalogadas como amenazadas en el embalse, ubicándolas en zonas en las que no se prevé alteraciones futuras significativas.

Una de estas áreas será el polígono de protección y otra la franja remanente entre el NAME y NAMO.

### *2. Impactos a la fauna*

El programa de atención a los impactos sobre la fauna contendrán:



\* Realización de una vigilancia contra la cacería furtiva, como una medida de conservar el potencial cinegético de la región y la diversidad faunística. Dicha acción será propuesta a la PROFEPA para que se realice coordinadamente.

\* Rescate de fauna en las islas que se formarán durante en llenado, ya sean temporales o permanentes. La intervención en cada una de estas islas se hará de forma programada y sistemática hasta su completa sumersión. Los organismos capturados en estos sitios serán liberados de forma preferente en las áreas inmediatas o terrenos en los que la condición de la vegetación sea lo suficientemente buena para garantizarles refugio. La captura y transporte de los organismos se hará con los medios apropiados para garantizar su integridad. Previo a la ejecución del rescate de fauna se informará a la autoridad para que ésta determine los procedimientos para el seguimiento y control de la actividad.

### **Reacomodos**

Para la atención de los reacomodos, se tiene programado un Plan de Reasentamientos cuyos alcances generales son los siguientes:

#### *1. Selección de los sitios*

Para la selección de los sitios de los reacomodos se partirá de la opinión de los afectados, sus intereses, expectativas y localización propuesta por los mismos. Adicionalmente, se considerarán los aspectos de dotación de servicios e infraestructura a fin de que esto sea factible, tanto en lo económico como en lo técnico.

Los asentamientos se ubicarán de preferencia en terrenos previamente alterados y sin potencial productivo o bien que este sea bajo.

#### *2. Delimitación*

Las áreas elegidas se delimitarán de forma apropiada y a ellas se restringirá las actividades constructivas.

#### *3. Traza urbana*

El ordenamiento de las viviendas, equipamiento, edificios públicos y vialidades se hará siguiendo el relieve del terreno, evitando realizar cortes en los terrenos que requieran de posteriores trabajos de estabilización o aseguramiento.

#### *4. Construcción*

Los materiales requeridos para la construcción de los asentamientos (madera, paja, palma, roca, etc.) y que puedan ser obtenidos de la región, se extraerán de forma preferencial del área afectable por el embalse.



Se tratará de armonizar los asentamientos con el entorno circundante (integración paisajística), utilizando materiales, texturas y colores apropiados.

El diseño de las nuevas viviendas incorporará las costumbres y necesidades de las poblaciones, partiendo de sus demandas y de la facilidad o condicionantes para su construcción. Ello a fin de no alterar en demacía la forma de vida de las poblaciones relocalizadas.

### *5. Equipamiento*

El equipamiento de los nuevos poblados estará dirigido a la restitución de aquellos con que cuentan actualmente las localidades y algunos complementarios cuando las condiciones técnicas y económicas así lo permitan. Los servicios básicos serán agua, electrificación con fotoceldas y en el caso de El Ciruelo y La Playa, se analiza la posibilidad de introducir una línea de transmisión; control de excretas y control de residuos municipales.

También se dotará del equipamiento necesario para la restitución de las actividades de educación y culturales.

Los nuevos centros de población contarán con áreas jardinadas, acordes con el paisaje. Al ser sitios de ocupación permanente, las restricciones sobre las plantas a ser utilizadas será mínima.

### *6. Actividades productivas*

Se promoverá la instalación de huertos en los traspatios, instrumentando un programa con la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Gobierno del Estado de Nayarit.

Se aplicaran las mismas acciones que lo indicado para la pérdida de vegetación durante el llenado.

La información técnica necesaria en cuanto a los servicios que se pueden proporcionar a los nuevos poblados ya se tiene; sin embargo, una vez que las poblaciones a ser reubicadas determinen el sitio donde se construirá el nuevo asentamiento, dicha información se revisará y adecuará a las condiciones reales del sitio. La información que se disponga ha sido obtenida con base en entrevistas sostenidas con los pobladores afectados y a la experiencia que se tiene de la relocalización de comunidades en otros proyectos. Una vez que formalmente se inicie el proyecto se podrá conciliar con los afectados el plan definitivo de reasentamientos.



## **Operación**

### *1. Modificación al microclima*

Como medida de compensación para la afectación del microclima, se reforestarán y/o forestarán las zonas aledañas a las terracerías para retener la humedad del ambiente. Estas acciones se realizarán teniendo en cuenta la estructura de la vegetación circundante, dando preferencia a las especies que conserven el follaje durante más tiempo o aquellas de caducidad facultativa, una excelente alternativa será la utilización de especies de plantas que presentan una muy buena conservación de follaje y buen crecimiento en las etapas iniciales.

### *2. Impactos a la fauna*

Se establecerá un programa para el monitoreo de las especies sensibles ecológicamente como la nutria y el cocodrilo. En ambos casos, se estudiará la distribución espacial y temporal de las poblaciones, así como el número de los ejemplares existentes. A partir de los resultados se diseñarán las estrategias para su manejo, en su caso, en función de los resultados obtenidos y la relevancia de estos se determinará la necesidad de establecer un monitoreo, lo cual en su oportunidad se hará del conocimiento de la autoridad. Para el caso específico de los cocodrilos, se identificarán y ubicarán también los sitios de anidación, con el propósito de que tanto las crías como los juveniles puedan ser reubicados en áreas con mejores condiciones para su desarrollo y sobrevivencia. Esto previa consulta con la autoridad.

Para la realización de estas acciones se solicitará el apoyo de la SEMARNAT, para que, como instancia normativa, disponga del manejo adecuado de los ejemplares, cuyo destino puede ser la repoblación de áreas identificadas como hábitats de estos organismos y que actualmente requieren de incrementarse.

## **Etapas de abandono del sitio al término de la vida útil**

### **Estimación de la vida útil**

El PH El Cajón ha sido diseñada para una vida útil de 50 años. De acuerdo con los análisis realizados, se considera que durante este tiempo puede operar eficientemente.

### **Programa de restitución del área**

Para la construcción del proyecto serán ocupadas temporalmente algunas áreas: campamentos, oficinas, talleres, entre otros como ya se ha mencionado. Las áreas se restituirán conforme sean desocupadas. En síntesis, el programa considera el desmantelamiento de la infraestructura temporal, limpieza de los sitios, incorporación del suelo retirado al inicio de la obra, promoción del establecimiento de una cubierta vegetal y,



cuando se requiera, obras mecánicas para la conservación de suelo. Estas y otras medidas de mitigación se han comentado en puntos anteriores.

### **Planes de uso del área al concluir la vida útil del Proyecto**

Actualmente no se ha definido un plan de uso del área al término de la vida útil de la futura central. Lo anterior se debe a que es difícil realizar una planeación a un plazo tan largo como lo es la vida útil estimada para esta central (50 años); durante este período las prioridades y la estrategia del sector energético pueden cambiar o desarrollarse opciones tecnológicas que permitan continuar con el aprovechamiento hidroeléctrico del embalse.

Además también debe considerarse lo siguiente: a) el embalse puede destinarse a diversos usos (desarrollo de acuicultura, vía de comunicación, regulación del río Santiago, etc.), los cuales son regulados por diversas entidades gubernamentales, por lo cual ellas deberán participar en cualquier determinación que sobre el embalse se tome, y b) al fin de la vida útil proyectada el embalse estará integrado al paisaje de la zona.

Por lo anterior, lo más probable es que al término de la vida útil de este proyecto se evalúen las condiciones de la central, principalmente el azolve en el vaso, para determinar los posibles usos.





## V.- CONCLUSIONES

Los recursos disponibles en México para la generación de energía eléctrica son limitados, entre los que destaca el monto de capital necesario, que es muy elevado en todos los tipos de tecnología, considerando tanto los costos fijos (infraestructura) como los variables (combustible, operación y mantenimiento). Esta situación, precisamente, hace necesario aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece un mejor aprovechamiento de los recursos hidráulicos, que permiten evitar el uso de las tecnologías de generación de electricidad menos eficientes y contaminantes, además de los beneficios conexos a otras actividades económicas como la agricultura, la pesca y el turismo.

Con la infraestructura para la generación de energía eléctrica actualmente en operación, México tiene garantizado el suministro para un lapso de cinco años. Sin embargo, resulta necesaria llevar a cabo acciones en el mediano y largo plazo, para evitar un creciente desabasto de electricidad, cuyas consecuencias podrían tener amplias repercusiones en los ámbitos social y económico.

Se hace necesario volver la vista hacia la hidroelectricidad, como una de las fuentes naturales en la que se conjugan la disponibilidad, renovabilidad y limpieza, ante el agotamiento de los combustibles fósiles en un plazo, que se pronostica no mayor a los 50 años. El aprovechamiento del potencial hidroeléctrico, servirá para garantizar el abasto de energía en el largo plazo y disminuirá la dependencia que actualmente mantiene el sistema eléctrico nacional de los combustibles fósiles, permitiendo además, el ahorro de 2,000,000 de barriles de combustóleo al año.

En la realización del presente trabajo se pone al alcance un documento accesible que muestran los diferentes procesos y técnicas utilizadas en la construcción de una de las grandes obras de la actualidad como lo es el Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón”. Este proyecto, en conjunto con otros por construir y los ya existentes, contribuirá a solucionar el problema de generación de la electricidad del país en el largo plazo.

Entre los aspectos relevantes de éste proyecto se encuentran su cercanía con respecto a los centros de demanda futura y a la baja inversión que se requiere para incorporar la energía generada en esta central a las líneas de transmisión existentes en la zona. Por ello, y ante el permanente incremento en la demanda de energía eléctrica, la necesidad de construir centrales de generación que por sí mismas impacten significativamente en la oferta de energía, mediante el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, hacen del Proyecto Hidroeléctrico “El Cajón” una opción viable y beneficiosa para la economía nacional.



---

# ANEXOS



---

---

## ANEXO A.- ESTUDIOS TÉCNICOS

### **Tipos de climas**

El amplio gradiente altitudinal, la topografía y el mar influyen para que en la cuenca baja del río Santiago se presenten diversos tipos de clima: secos con lluvias de verano, en la parte este y centro; semisecos esteparios con lluvia de verano, en las áreas localizadas en la parte central de la cuenca; cálidos húmedos con lluvias de verano, asociados con altitudes menores a los 1000 msnm, principalmente en la parte baja de la cuenca y hacia la zona costera; semicálidos y con lluvias de verano, que son los que cubren la mayor parte del área; y templados con lluvias de verano en las partes altas de las sierras.

En toda la cuenca la temporada de lluvias ocurre entre los meses de junio a octubre. La marcada estacionalidad de las lluvias en la cuenca se explica principalmente por el efecto monzónico que se presenta durante la mitad caliente del año. Los vientos generados por este efecto transportan considerables volúmenes de humedad del Océano Pacífico hacia las áreas continentales. Las láminas de agua precipitada se ven influenciadas por la ocurrencia de ciclones, que aunque de forma general no penetran en la zona continental, si aportan irregularmente cantidades importantes de humedad durante los meses de agosto a octubre, siendo los elementos de mayor importancia en los patrones de lluvia de la costa central del Pacífico.

A escala local, el área de estudio se encuentra bajo la influencia de dos grupos climáticos: grupo de los cálidos y grupo de los secos.

El primero tiene influencia sobre la zona comprendida entre el Paso de La Golondrina y hasta la zona de la obra, incluyendo toda el área de ordenamiento, desde donde se continúa hacia el noroeste, siguiendo el cañón del río, hasta a la altura de la cortina de la Presa de San Rafael. En el sentido de aguas arriba, su influencia se extiende por arriba del segundo tipo climático, al que parece rodear dentro del área. El segundo tipo de clima ejerce su influencia a partir de Paso de La Golondrina y se extiende hacia el sureste hasta la confluencia de los ríos Bolaños y Santiago. Desde aquí se continúa en dirección NNO, por el cañón del río Bolaños hasta penetrar en el estado de Zacatecas y hacia el SE por el cañón del Santiago.

Por la condición topográfica del área de estudio, la distribución e influencia de los tipos de climas sigue una gradación térmica y de humedad, de tal forma que las áreas circundantes se encuentran influenciadas por climas del grupo de los cálidos y de los semicálidos. Los climas templados, al igual que en la generalidad de la cuenca, se presentan en las partes más altas de las serranías y eminencias montañosas aisladas.

En el área de estudio la distribución de la lluvia presenta ligeras variaciones con respecto a las áreas influenciadas por los tipos climáticos, y a diferencia de estos, su correlación con la topografía es menos marcada.



### **Descripción de la cuenca.**

La región hidrológica Lerma - Chapala - Santiago cubre una superficie de 125, 555 km<sup>2</sup>, de los que aproximadamente el 30% pertenecen al río Lerma, 8% al lago de Chapala, 62% al río Santiago y representa el 6.4% de la superficie del territorio nacional. En el estado de Nayarit, dicha región abarca una superficie de 11, 977.972 km<sup>2</sup>, que equivale al 43.0 % del territorio estatal.

El río Grande de Santiago se inicia en el Lago de Chapala y tiene una longitud aproximada de 562 km, con una cuenca aportante de 77, 185 km<sup>2</sup>, en la que se incluyen parte de los territorios de los estados de Jalisco, Nayarit, Aguascalientes, Durango, Guanajuato y San Luis Potosí. Desde su origen, en la elevación 1,524.6 msnm, el rumbo que sigue el curso del río se puede dividir en cuatro tramos, aunque el predominante es el Noroeste:

- 1) A partir de su límite con la cuenca de Chapala, hasta la confluencia con el río Cuixtla, sigue un rumbo general N 25° W, con un desarrollo de 188 km;
- 2) De la confluencia con el río Cuixtla a la presa Santa Rosa, el rumbo es S 38° W, con un desarrollo de 38 km;
- 3) De la presa Santa Rosa a la confluencia con el río Huaynamota el rumbo es N 45° y;
4. De la confluencia con el río Huaynamota hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, el rumbo es S 75° W a lo largo de 141 km.

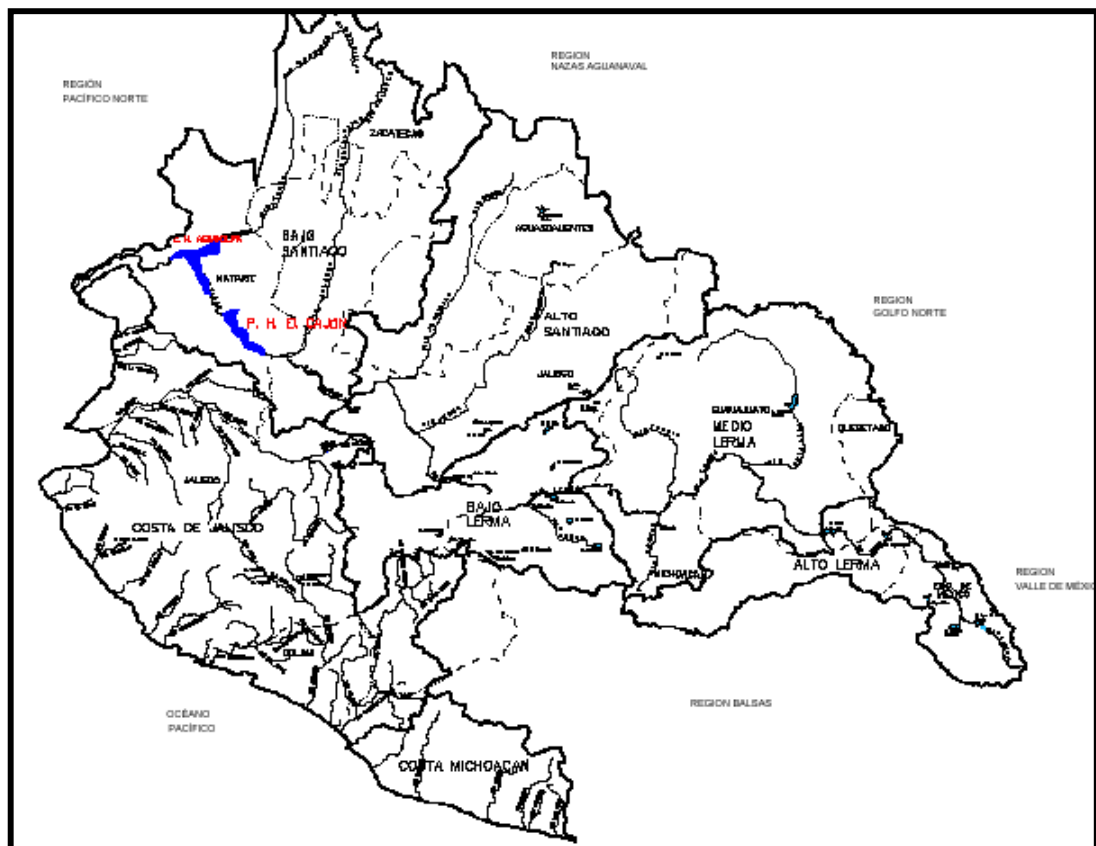
En lo particular, hasta el eje de la cortina del P. H. El Cajón, el área drenada es de 54,198 km<sup>2</sup>, lo cual representa aproximadamente el 43.2% de la superficie de todo el sistema Lerma-Chapala-Santiago.

La estructura orográfica de la cuenca del río Grande de Santiago se desarrolla toda ella, en general, hacia el parteaguas oriental de la Sierra Madre Occidental, es decir, con las características de una cuenca interna y su salida hacia el Pacífico ocurre por el único sitio posible, a través de un cañón sumamente estrecho y de longitud reducida. En sus primeros 60 km recorre los valles de Poncitlán y Atequiza en el Estado de Jalisco, para bajar después por una abrupta barranca de más de 400 km de longitud y con profundidades de alrededor de 500 m o superiores. Tal es el caso de lo que se observa a lo largo del sistema de falla de Zapopan, que llega a la base de los volcanes la Higuera y el México, en donde el río Santiago excavó un desfiladero conocido como la Barranca de Oblatos que tiene una profundidad de 610 m y está cortada en capas de lava basáltica y fragmentos de material explosivo.

El sistema montañoso que determina la estructura general del río Santiago, está formado por dos cordilleras que confinan a la cuenca por el sur, el suroeste, el oeste y noroeste. Dichas cordilleras pertenecen un tramo a la Sierra Madre Occidental que se confunde con



parte del Eje Neovolcánico en el tramo Guadalajara- Santiago Ixcuintla y un segundo tramo de esa misma Sierra que iría con dirección general al norte desde Santiago Ixcuintla, Nayarit, a Llano Grande, Durango. En el vértice de estos dos tramos está la salida del río al Pacífico. Viene después, una serie de cordilleras de dirección general suroeste-noreste, que como los dientes de un peine, dejan entre sí los espacios en los que se desarrollan las cuencas de los afluentes de la margen derecha. Citada desde el oriente cabe mencionar la Sierra de los Huicholes, que confina hacia el occidente al río Huaynamota; los cerros Águila, El Vaquero, Cosquiaque y Morones, entre otros, en cuya vertiente oriental se desarrollan los afluentes izquierdos del río Bolaños y en cuya vertiente oriental se desarrolla la cuenca derecha del río Juchipila. Por último, al oriente de los cerros de la Virgen, Laurel, Delgadillo, La Campana, Nochistlán, Salto del Perico, Los Negros, San Isidro, La Tapona, Juchitlán, La Gavilana, Agua Rica, y La Higuera, está ubicada la amplia y complicada hidrografía del río Verde y sus numerosos afluentes. El plano del sistema hidrológico Lerma-Chapala-Santiago, se presenta en la figura A-1.



**Fig.A-1. Cuenca del Lerma – Santiago.**

El colector general del río Grande de Santiago corre muy cercano a su parteaguas general izquierdo, en una forma tal que propiamente no existen los afluentes izquierdos.



El área de cuenca que contribuye por la margen izquierda es de 7, 500 km<sup>2</sup>, lo que significa apenas el 9.7 % del total. Por la margen derecha los afluentes son numerosos e importantes, al extremo de que estos contribuyen con 69, 685 km<sup>2</sup> (90.3 %), siendo las principales corrientes las que se indican en la tabla A.1.

**Tabla A.1 Principales afluentes en la margen derecha del río Grande de Santiago.**

<b>Afluente</b>	<b>Área de la cuenca hasta la confluencia del Río Santiago (km<sup>2</sup>)</b>
Río Verde, Grande o Belén	20, 502
Río Juchipila	8, 552
Río Bolaños	14, 757
Río Huaynamota	17, 529
Otros afluentes menores	8, 345
<b>Total</b>	<b>69, 685</b>

La pendiente media del río Santiago es de 0.46 % y el perfil del cauce se ha dividido en cuatro tramos, fácilmente identificables, en los cuales los valores parciales de pendiente son: de Poncitlán a Juanacatlán, 0.06%; de Juanacatlán a la confluencia con el río Verde, 1.40 %; de este punto hasta la confluencia con el río Huaynamota, 0.32 %, y por último; de esta confluencia hasta la desembocadura en el Océano, 0.070 %, con un tramo intermedio de pendiente cero representado por el embalse de Aguamilpa.

En particular el área a ser embalsada queda comprendida en la cuenca río Santiago – Aguamilpa, que drena una superficie de 6 027 km<sup>2</sup> y representa el último tramo del recorrido del río Grande de Santiago. Las subcuencas que tienen influencia directa en el embalse del P.H. El Cajón son río Bolaños – Huaynamota, río Barranquitas y río La Manga. La subcuenca del río Bolaños – Huaynamota esta comprendida en su mayor parte en el estado de Nayarit con una superficie de 4, 945.149 km<sup>2</sup> y en Jalisco solo ocupa 1,081.8 km<sup>2</sup> lo que representa el 17.8 y 1.4 %, respectivamente. Las superficies de la subcuenca río Bolaños – Huaynamota, del río La Manga y Barranquitas, se muestra en la tabla A.2.



**Tabla A.2. Área aportante en la cuenca propia del embalse del P.H. El Cajón.**

<b>Cuenca</b>	<b>Superficie aportante (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Observaciones</b>
Río La Manga	633.00	
Río Barranquitas	413.90	
Cuenca Bolaños-Huaynamota	1,265.13	De la porción de esta cuenca destacan dos arroyos: Palmillas y Santa Fe o Coapilla
a) Arroyo Palmillas	400.10	
b) Arroyo Santa Fe	249.00	
c) Escurrimientos diversos	616.03	
Superficie entre la estación La Yesca y la desembocadura del Río Santiago	2.00	Corresponde a la superficie no registrada por la estación hidrométrica
Superficie entre la estación El Caimán y el río Santiago	2.30	Corresponde a la superficie no registrada por la estación hidrométrica
Superficie aportante en la cuenca propia del embalse, sin considerar los afluentes principales (Santiago y Bolaños)	2,316.33	Dentro de estas cuencas y subcuencas no existen estaciones hidrométricas

### **Volúmenes escurridos.**

Los datos sobre de los volúmenes escurridos se han obtenido a partir de los registros de las estaciones hidrométricas El Caimán, ubicada sobre el río Bolaños, y La Yesca en la corriente del río Santiago. Las generalidades sobre la localización y operación de dichas estaciones se indica en la tabla A.3.



**Tabla A.3. Generalidades de las estaciones hidrométricas empleadas para la determinación de los escurrimientos para el área del embalse del P. H. el Cajón.**

<b>Estación</b>	<b>La Yesca</b>	<b>El Caimán</b>
<b>Corriente</b>	Río Santiago	Río Bolaños
<b>Area drenada (km<sup>2</sup>)</b>	84, 599	14, 755
<b>Coordenadas</b>	104° 05 25" LW 21° 11 35" LN	104° 04 50" LW 21° 12 05" LN
<b>Ubicación</b>	Mpo. de Hostotipaquillo Jalisco, en el cauce del río Santiago, a unos 500 m aguas arriba de la confluencia de este río con el río Bolaños.	En los límites de los estados de Jalisco y Nayarit, a 1.5 km de confluencia con el río Bolaños con el río Santiago. En el municipio de La Yesca, Nayarit.
<b>Equipamiento</b>	Escala, estructura de aforos (sistema de cable y canastilla, para aforos por sección y velocidad), registrador gráfico de niveles. Muestreo superficial de sólidos en suspensión, hasta 1971)	Escala, estructura de aforos (sistema de cable y canastilla, para aforos por sección y velocidad), registrador gráfico de niveles. Muestreo superficial de sólidos en suspensión, hasta 1971)

Para la determinación de los volúmenes de medios mensuales, ambas estaciones (El Caimán y La Yesca) tienen registros desde el año 1949. Para el efecto, CFE, recopiló los registros originales y obtuvo los escurrimientos que se indican en la tabla A.4.





**Tabla A.4. Volúmenes medios mensuales registrados en las estaciones hidrométricas de Comisión Federal de Electricidad en los ríos Santiago y Bolaños (Hm<sup>3</sup>).**

MES	La Yesca	El Caimàn	La Yesca + El Caimàn
Enero	112.7	32.6	145.3
Febrero	94.4	13.7	108.1
Marzo	109.0	7.0	116.0
Abril	104.9	7.0	111.9
Mayo	114.3	5.4	119.7
Junio	172.8	33.0	205.8
Julio	534.3	204.6	738.9
Agosto	637.1	270.2	907.3
Septiembre	562.7	195.3	758.0
Octubre	308.3	73.9	382.2
Noviembre	161.5	20.5	182.0
Diciembre	116.9	13.8	130.7
<b>SUMA</b>	<b>3, 028.9</b>	<b>877.0</b>	<b>3, 905.9</b>

Adicional a lo registrado en la tabla anterior, para determinar el volumen total escurrido hasta el sitio donde se construirá la cortina del P. H. el Cajón, se consideró la aportación de la cuenca propia, la cual es de 170.8 Hm<sup>3</sup>, por lo cual se estima que el volumen medio anual escurrido es de 4,076.7 Hm<sup>3</sup>, de los cuales el 21.5 % lo aporta el río Bolaños, el 74.3 % el Santiago y el restante 4.2 % es por la cuenca propia.

El carácter pluvial del río presenta una clara variación en los escurrimientos, que se incrementan significativamente durante la temporada de lluvias, de julio a octubre, y decrecen en la temporada seca del año, con ligeras variaciones debidas a los aportes intermitentes de fenómenos meteorológicos varios como los ciclones, que ocurren en la



mayor parte de la cuenca, y las nevadas que ocurren en las serranías septentrionales de la margen derecha. En la figura A-2, se muestra claramente el carácter estacional del escurrimiento.

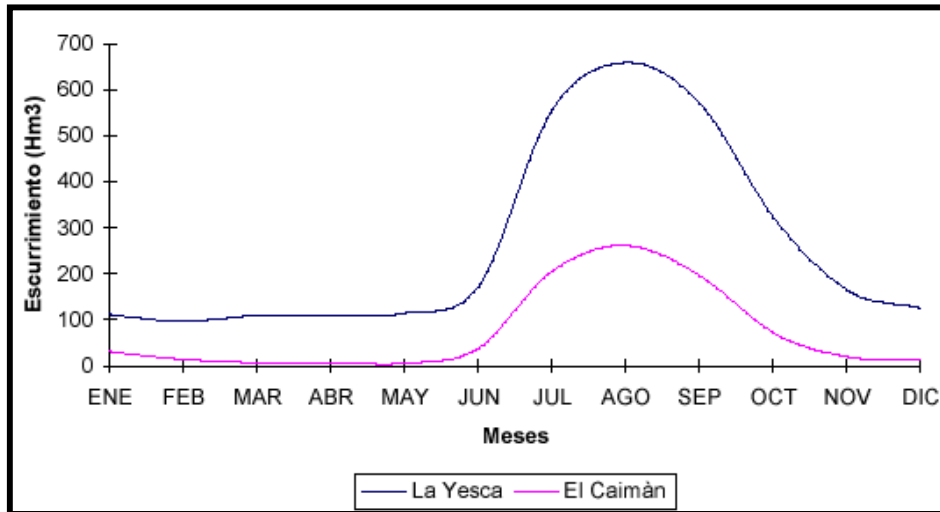


Fig.A-2. Escurrimiento medio mensual en las estaciones La Yesca y el Caimán.

### Gastos medios anuales y mensuales.

Los gastos medios anuales se calcularon sobre la base de la aportación media anual en millones de metros cúbicos, siendo los mismos registros de las estaciones utilizadas para calcular los volúmenes medios mensuales.

De esta forma, los gastos medios anuales registrados para las estaciones son  $95.66 \text{ m}^3/\text{s}$  para La Yesca y  $27.8 \text{ m}^3/\text{s}$  en El Caimán. El comportamiento de estos gastos es extremadamente variable y no parece tener un patrón de fluctuaciones periódicas, como se muestra en la figura A-3.

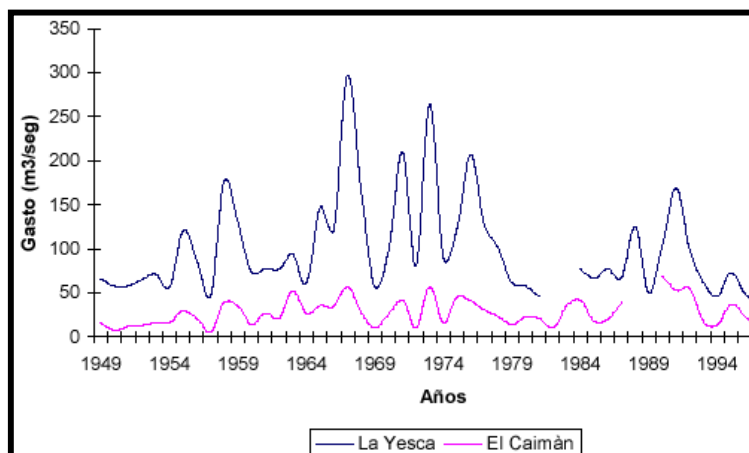


Fig.A-3. Variaciones en el gasto medio anual registrado en las estaciones la Yesca y El Caimán.



En cuanto a los gastos medios mensuales, estos siguen el patrón de la temporalidad de las lluvias, según se indica en la tabla A.5.

**Tabla A.5. Gastos medios mensuales registrados en las estaciones de La Yesca y el Caimán. (m<sup>3</sup>/seg)**

<b>MES</b>	<b>La Yesca</b>	<b>El Caimán</b>	<b>La Yesca + El Caimán</b>
Enero	42.08	12.17	54.25
Febrero	39.02	5.66	44.68
Marzo	40.70	2.61	43.31
Abril	40.70	2.70	43.17
Mayo	42.67	2.02	44.69
Junio	66.67	12.73	79.40
Julio	199.48	76.39	275.87
Agosto	237.87	100.88	338.75
Septiembre	217.09	75.35	292.44
Octubre	115.11	27.59	142.70
Noviembre	62.31	7.91	70.22
Diciembre	43.65	5.15	48.80
<b>MEDIO ANUAL</b>	<b>95.59</b>	<b>27.60</b>	<b>123.19</b>

### **Estimación de volúmenes disponibles para generación**

Una vez revisados los volúmenes que escurren hasta el sitio del proyecto, se hizo una estimación de aquellos disponibles para generación. Para ello, a partir de los datos descritos, se dedujeron los correspondientes a las extracciones que para diversos usos se sabe que se tendrán; entre estos se encuentran las dotaciones aprobadas en el diario oficial de la federación, con fecha 17 de noviembre de 1997, donde autoriza la extracción para



---

---

servicio urbano al estado de Guanajuato. También se excluyeron para fines de análisis, los retornos históricos de las aguas negras de la Cd. de Guadalajara.

De acuerdo con lo anterior, haciendo la suma algebraica de los aportes registrados en las estaciones La Yesca y El Caimán, y deduciendo de estos los relativos a las aguas de retorno de Guadalajara, los aportes del Lago de Chapala y el uso futuro en Guanajuato del agua para servicio urbano, incluyendo su proyección con base a las tasas de crecimiento de la población conocidas, finalmente se determinó que el volumen disponible para generación oscilará entre los 2,832 y 3,190 hm<sup>3</sup>.

## **Geología**

El Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, se ubica en la parte sur de la Sierra Madre Occidental, donde predominan rocas volcánicas del Terciario constituidas principalmente por tobas (ignimbritas) con texturas y grados de soldamiento muy marcados. Desde el punto de vista geológico-estructural, el sitio se encuentra en un segmento donde el río Santiago labra su curso en un macizo rocoso basculado (inclinado 22° hacia aguas abajo), intrusionado y claramente delimitado por dos fallas regionales una aguas arriba (Sobaco) y otra aguas abajo (Cantiles) que forman un bloque tectónico. Este bloque, en su parte central (área de la boquilla), está constituido por cinco unidades litológicas: Ignimbrita El Cajón (Tic); Unidad vulcano-sedimentaria (Tvs); depósito conglomerático en paleocauce (Tc); unidad de basalto (Qb); y depósitos lacústres y pumicita (Qlp). Afectan a la anterior secuencia litológica, cuerpos intrusivos en forma de diques y dique-estratos, de composición andesítica y diabásica.

## **Geología Regional**

La porción meridional de la Sierra Madre Occidental está compuesta, casi en su totalidad, por una secuencia calcoalcalina de más de 1,000 metros de espesor correspondiente al Oligoceno-Plioceno. Las andesitas, diacitas, riolitas y sus equivalentes prioclásicos representan a las rocas extrusivas. La granodiorita, tonalita y granito, a las intrusivas, y finalmente los diques aplíticos, monzotíticos constituyen, a las rocas hipabisales.

Los basaltos representan a las emisiones plio-Cuaternarias del Eje Neovolcánico, y sus equivalentes hipabisales, las doleritas, atraviesan a toda la columna estratigráfica.

Existen restringidos afloramientos de rocas sedimentarias constituidas por calizas, areniscas y limolitas, las cuales se depositan en ambientes lacustres.

Las rocas metamórficas encontradas se reducen a corneanas, las cuales fueron formadas por el metamorfismo de contacto que sufrió la roca ígnea extrusiva provocado por el emplazamiento de los intrusivos. El aluvión, los suelos y el talud representan los depósitos del periodo reciente.



## **Geología de la zona del embalse**

En la zona del embalse, los rasgos geológicos que se observan son la distribución reducida de la andesita a lo largo del mismo; aparece sólo en pequeñas ventanas, en ambos márgenes del río y en las barrancas labradas por algunos de sus afluentes.

La ignimbrita dacítica-riodacítica está ampliamente distribuida a lo largo del río, en ambos márgenes.

La ignimbrita riolítica es la roca más extensamente distribuida a lo largo del embalse; forma un paquete homogéneo de roca compacta, silicificada, que difícilmente podría presentar problemas de permeabilidad.

El basalto se presenta como testigos de erosión a lo largo del cañón del río Santiago, formando pequeñas terrazas. Aunque estratigráficamente ocupa la cima de la columna litológica, se observa topográficamente muy bajo (en elevación, del orden de 400 metros).

## **Geología del sitio del proyecto**

Desde el punto de vista geológico, la boquilla del PH El Cajón se encuentra enclavada en el grueso paquete ignimbrítico y vulcano-sedimentario propio de la porción sur de la Sierra Madre Occidental, en la zona de contacto de esta macroestructura con el segmento noroeste de la Faja Volcánica Transmexicana. Litológicamente se puede tipificar como un paquete ignimbrítico y vulcanosedimentario de más de 1,500 m de espesor, con intercalaciones de coladas básicas y cuerpos sedimentarios lacustres y calcáreos continentales aislados más jóvenes, con intrusión en todo el conjunto de diques de composiciones variadas.

La obra civil quedará alojada en su totalidad sobre ignimbritas, que son rocas ígneas extrusivas constituidas por tobas soldadas de composición riodacítica, que presentan una estructura masiva pseudoestratificada, de compacidad y dureza alta, color gris-rosáceo y con tres cambios texturales muy marcados: a) textura piroclástica soldada; b) brechoide soldada y c) piroclástica soldada con escasa presencia de líticos de pómez colapsada.

Esta misma unidad ignimbrítica se extiende hacia aguas arriba, a lo largo del cañón del Santiago y del arroyo Palmillas, aflorando en las zonas de pendientes pronunciadas.

En ambos márgenes del río existe material de depósito fluvial no consolidado (aluvión), formado por gravas y arenas mal clasificadas, producto de la desintegración de rocas locales o distantes, transportadas por el sistema del río Santiago y sus afluentes, formando playones en las desembocaduras de arroyos y meandros del río.

De acuerdo con la carta geológica escala 1:50 000, en el área del futuro embalse predominan las rocas ígneas extrusivas ácidas (casi 76% de la superficie), con algunos afloramientos de andesitas, tobas y basaltos, con rumbo y echado de flujos de las rocas ígneas de oriente a poniente.





## **Permeabilidad e índice de calidad de roca**

Los estudios realizados muestran que el vaso de almacenamiento no tendrá comunicación con otras cuencas, ya que a nivel regional esta zona es topográficamente la más baja.

En la zona de la boquilla se han estudiado con sumo detalle las propiedades del macizo rocoso, cuestión imprescindible en este tipo de proyectos. La permeabilidad de la roca en la zona de estructuras principales se ha clasificado como media a alta; empero, ésta es de carácter secundario, en el sentido de que la permeabilidad es propia de los accidentes geológicos presentes en el macizo rocoso y no intrínseca de las ignimbritas de la boquilla.

Las condiciones hidráulicas de la roca se mejorarán sensiblemente por la pantalla de inyecciones de impermeabilización que se construirá en conexión con la presa para garantizar el llamado cierre hidráulico de la boquilla, es decir, para evitar el flujo del agua embalsada hacia aguas abajo por flaqueo de la cortina.

Las condiciones de permeabilidad en ambas laderas, de acuerdo con los resultados de los estudios realizados por esta misma CFE, son las siguientes: en la margen derecha, el 52% de las pruebas indican roca impermeable a poco permeable; 37% corresponden a roca permeable; y el 11% de los resultados caen en el intervalo muy permeable a altamente permeable. En la margen izquierda la permeabilidad del macizo rocoso se divide en: 65% impermeable a poco permeable; 27% permeable; y 8% muy permeable a altamente permeable.

La calidad de la roca en la zona de la boquilla se ha evaluado a partir del índice RQD y considerando tres categorías que caracterizan a la unidad ignimbrítica:

roca poco fracturada, roca afectada por estructuras geológicas y zona de roca decomprimida.

La roca poco fracturada representa el 54% de la ignimbrita analizada. Sus valores de RQD se agrupan en dos rangos: 55-75% y 76-90%, por lo cual se califican como rocas de buena a regular calidad. El 35% del material estudiado corresponde a roca afectada por estructuras geológicas; sus valores de RQD son entre 50 y 25%, por lo cual se consideran rocas de mala calidad. El 12% restante es de la roca superficial que se asocia con roca decomprimida (es la capa superficial del terreno que tiene espesor de 12 a 25 m) y tiene valores RQD bajos, entre 0 y 25%.

Los resultados indirectos de resistividad obtenidos de sondeos eléctricos verticales, se utilizaron para apoyar la interpretación y extrapolación sobre la permeabilidad.



## Estratigrafía

Con base en los estudios efectuados en anteriores etapas, se estableció la secuencia litoestratigráfica del sitio. Las edades para cada unidad litológica se asignaron por correlación con zonas aledañas estudiadas.

A continuación se describen en orden cronológico las unidades aflorantes:

### Unidad meta-vulcanosedimentaria (Mmvs)

Está formada por intercalaciones de lavas y tobas andesíticas, así como posiblemente por grauvacas y areniscas; por su parecido se correlacionan con los afloramientos observados en la desembocadura del arroyo El Buruato en el río Santiago. Estas rocas fueron afectadas por metamorfismo de contacto, debido a la intrusión de un batolito de composición granítica (Tgr).

Se trata de una roca masiva de dureza alta, con textura porfidoblástica, en matriz de grano fino y blastos de feldespato potásico y plagioclasas, de color gris verdoso claro a crema, con tonos rosados, moderados a fuertes; presenta fracturamiento y bandeamiento bien marcado.

Su localidad de afloramiento tipo es en ambas márgenes a lo largo del arroyo Cantiles y en el banco de roca Puente como se observa en la figura A-5. Esta unidad presenta formas topográficas abruptas de pendientes fuertes y surcadas por pequeños arroyos.

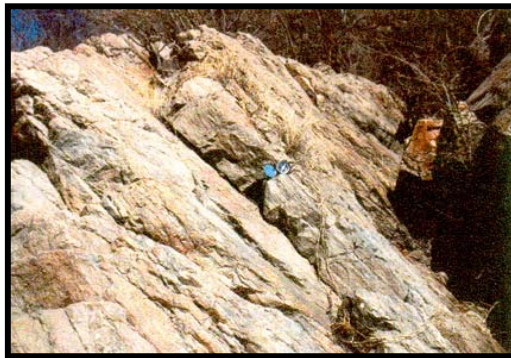


Fig. A-5. Vista de afloramiento de la unidad meta-vulcanosedimentaria (Mmvs)

Se encuentra distribuida principalmente en el extremo occidental del sitio estudiado, donde aflora en ambas márgenes del río, aproximadamente 1 km aguas abajo del Eje Socavones; se presenta en contacto discordante por falla con los depósitos vulcano sedimentarios (Tvs) y es intrusionada por un cuerpo granítico. Su espesor se desconoce.





## **Granito (Tg)**

Se trata de una roca de composición ácida, de color crema a gris claro, con tonos rosados en muestra fresca, de textura fanerítica-equigranular de grano grueso. En algunas zonas se observa una variante textural de grano fino (microgranito); intemperiza a color amarillo ocre con tonalidades oscuras, ocasionado por la argilitización de los feldespatos, en figura A-6.



**Fig.A-6 Afloramiento del intrusivo granítico en el arroyo Cantiles.**

Aflora en la porción W-SW del área y se le encuentra intrusionando a la Unidad metavulcano-sedimentaria; este granito se ha correlacionado con los cuerpos intrusivos de Cajones I y del Arroyo El Buruato-Paso de Lozada, interpretándose como parte de un batolito, que muy probablemente subyace a la Ignimbrita El Cajón.

Se presenta una segregación aplítica del granito (en forma de dique), con estructura fluidal vertical, masiva, compacta y de dureza alta por la abundante presencia de sílice; su textura es fanerítica de grano fino, compuesta por fenocristales de feldespato y cuarzo. Se encuentra intrusionando a la roca metavulcano-sedimentaria y al granito en el extremo W del área, su espesor es de 8 a 10 m y su longitud de afloramiento de unos 400 m; se le ha identificado principalmente por su tendencia a formar crestones, debido a su mayor resistencia a la erosión.

## **Andesita (Tom-ata)**

Es una roca compacta, fracturada, masiva y seudoestratificada, de color gris verdoso, con tonos claros a oscuros. En textura megascópica por lo general es porfírica, con fenocristales de plagioclasa con matriz afanítica. Esta roca está expuesta en las partes bajas en forma de ventanas en ambos márgenes del río Santiago, con pendientes de 8° a 25°. Raras veces llega a formar acantilados como producto de los procesos de erosión a través de los arroyos.



Su afloramiento está localizado en la margen derecha del río Santiago a unos 5.0 km aproximadamente aguas abajo de la boquilla.

### **Ignimbrita El Cajón (Tic)**

Está constituida por emisiones ignimbríticas de composición predominantemente riodacítica y presenta pseudoestratos gruesos en la base que le confieren a la roca un aspecto masivo; comúnmente, hacia la cima, los pseudoestratos se hacen más delgados; en forma general tiene una textura piroclástica, con cristales orientados (eutaxítica), es dura y compacta con coloraciones que varían del gris claro (blanquecino) hasta el gris violáceo, con tonalidades rosa y café, se aprecia en la figura A-7. Los cambios texturales tan marcados que presentan estas rocas han permitido diferenciarlas en tres miembros.



**Fig.A-7. Vista de la Ignimbrita El Cajón (Unidad 3) en la margen derecha, aguas abajo del eje.**

En la parte media de esta unidad se ha observado, tanto en la superficie como en el subsuelo (socavones y barrenos), la presencia de horizontes aglomeráticos formados por fragmentos de diversas litologías, principalmente de rocas porfídicas de composición intermedia, que se encuentran empacados en una matriz compuesta de material vítreo desvitrificado a criptocristalino (según análisis microscópico).

La distribución superficial del paquete ignimbrítico es amplia en ambas márgenes, sobre todo en la derecha, donde está mayormente expuesta; en esta misma margen se observó que el relieve está controlado por la pseudoestratificación en las partes bajas, con inclinaciones de 18° a 25° y en las partes altas de 25° a 35° con echados al SW; entre los planos de pseudoestratificación no es muy común la presencia de arcilla.

Esta unidad se encuentra en contacto discordante debajo de los depósitos vulcanosedimentarios (Tvs), su espesor estimado se calcula en 600 m aproximadamente y la edad que se le asigna por correlación con las ignimbritas del área del C.H. Aguamilpa, es del Terciario (Mioceno).



## Unidad vulcanosedimentaria (Tvs)

Está compuesta por una secuencia alternante de tobas híbridas con arenas arcillosas, areniscas tobáceas, tobas líticas y aglomerados, con granulometría variable desde granos finos hasta bloques medianos, de estructura masiva o estratiforme (variantes desde laminar hasta estratos de 2 m de espesor) y presenta cambios granulométricos graduales. Superficialmente estos depósitos son bastantes vulnerables al intemperismo, el cual profundiza a veces hasta 40 m con amplia formación de arcilla y tienden a formar escarpes pronunciados por efecto de la erosión.

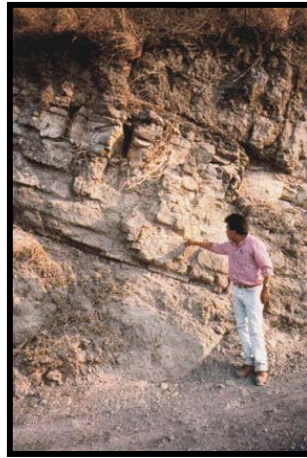
Con base en sus características litológicas, dureza y compactación, esta unidad se dividió en dos miembros:

El primer miembro (parte inferior) está constituido por un aglomerado que cubre a la unidad ignimbrítica, es de color gris claro con tonalidades rosáceas, de estructura masiva, bien compactado y de dureza media a alta; los fragmentos que lo forman tienen tamaño variable de 5 a 40 cm y a veces hasta de 70 cm y son principalmente de rocas porfídicas ácidas e intermedias de forma subangulosa, dispuestos caóticamente y cementados por cenizas arenosas y sílice. El fracturamiento presente, en general, está relleno de calcita y arcilla, encontrándose esta última en menor proporción. El espesor promedio del aglomerado es de 40 m, y en ocasiones llega a alcanzar hasta los 70 m, se aprecia en la figura A-8.



**Fig.A-8. Vista de la parte inferior (aglomerado) de la unidad vulcanosedimentaria (Tvs)**

El segundo miembro corresponde a la parte superior y se caracteriza por una alternancia de materiales piroclásticos, desde arena fina hasta fragmentos subangulosos y subredondeados, compuestos en su mayoría por pórfidos andesíticos y riolíticos, así como por clastos de ignimbritas y basaltos con tamaños variables de 0.5 a 25 cm (tobas brechoides, arenarcillosas y aglomerados); esta alternancia le confiere a la roca una pseudoestratificación claramente definida, con ángulos de inclinación entre 18° a 25°. Su dureza es de media a baja, lo que origina una roca poco compacta y en algunas ocasiones deleznable, esto se observa en la figura A-9.



**Fig.A-9. Afloramiento de la parte superior de la Unidad Vulcanosedimentaria (Tvs)**

Su distribución es muy amplia en el área estudiada y los afloramientos más conspicuos son los expuestos cerca de las fallas El Contacto y Sobaco en la margen derecha, así como en la zona del manantial de aguas termales y en las partes altas de la margen izquierda. El espesor de esta unidad es de 350 m, cubre discordantemente a la Ignimbrita El Cajón y subyace a las tobas terciario inferiores (Tti).

No se tienen edades absolutas de la Unidad vulcanosedimentaria. Por su posición estratigráfica, encima de la Ignimbrita El Cajón, y por haberse detectado un periodo de erosión entre ambas, se la asigna tentativamente al Mioceno Tardío.

### **Toba terciario inferior (Tti)**

Es una roca cristalina de composición riódacítica, de color violáceo a gris claro, con textura piroclástica, en una matriz cuarzo feldespática más fina, compacta, dura y masiva; intemperiza a un color café rojizo.

Estructuralmente se comporta como un cuerpo estratiforme, que aflora en forma alargada con orientación N32°W y un echado de 28° al SW; en la cima presenta una estratificación delgada de aspecto arenoso.

Aflora principalmente en las porciones SW y SE de la margen izquierda entre las cotas 275 y la 575; en la margen derecha se localiza en el extremo norte sobre el arroyo de la Falla Sobaco y en contacto tectónico con la Toba terciario superior (Tts), por la acción de la falla antes mencionada, entre las elevaciones 450 a la 650; su espesor se calcula entre los 60 y 70 m, aproximadamente.

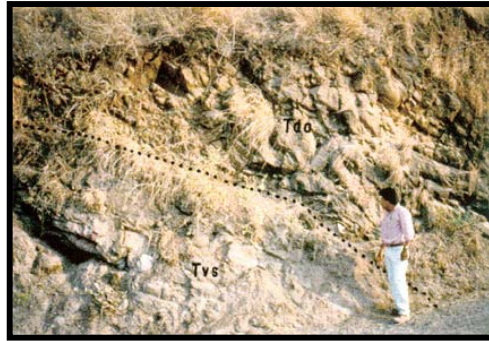
Descansa concordantemente sobre el paquete vulcanosedimentario (Tvs) y subyace a la cubierta de basalto terciario (Tb). Su edad tentativa sería Plioceno Temprano, por consideraciones estratigráficas.



### **Diquestrato ("sill") andesítico (Tda)**

Es una roca de color gris oscuro a gris verdoso, de textura porfídica, con fenocristales bien desarrollados de plagioclasa desde 0.5 a 2 cm en una matriz afanítica de grano fino; se altera a color café-ocre con tonos oscuros.

Se presenta como un cuerpo tabular interestratificado en la secuencia vulcanosedimentaria (Tvs), con espesores de 10 a 15 m; en algunos afloramientos tiene aspecto masivo (área del polvorín); se intemperiza fácilmente, con disyunción esferoidal como característica. Tentativamente se le ha asignado una edad del Terciario Tardío (Plioceno) y podría estar relacionado con el vulcanismo que dio lugar al basalto Terciario Tb como en la figura A-10.



**Fig.A-10.- Diquestrato andesítico (Tda) interestratificado en la Unidad vulcanosedimentaria (Tvs).**

Su distribución es amplia, se presenta en ambas márgenes del sitio y sus principales afloramientos se encuentran en el camino de acceso al proyecto, entre las cotas 430 y 435, y en la confluencia del arroyo Palmillas con el río Santiago, en ambas márgenes sobre la cota 230.

### **Basalto terciario (Tb)**

Se trata de una roca de color gris oscuro a negro, con tonos verdosos, que megascópicamente presenta una textura equigranular a porfírica, con una matriz más fina de tipo feldespática y ferromagnesiana; es una roca dura, compacta y masiva e intemperiza a amarillo ocre, que aflora en la porción nor-central y en la porción S-SE en ambas márgenes del área. Sus formas son alargadas, de varios kilómetros de longitud y tiene un espesor de 100 m aproximadamente; presenta características de un paquete lávico interestratificado y en algunos sitios existen rasgos de estructuras primarias, y presencia de corriente de flujo. Por denudación de la roca se forman lomeríos alargados y suaves. Su afloramiento tipo se observa en la margen izquierda, a unos 800 m aguas abajo del Eje Socavones, sobre la elevación 450 y en la porción nor-central de la margen derecha a la elevación 550. Se observa cubriendo a la Toba terciario inferior Tti, en la figura A-11 y su edad se podría situar a mediados del Plioceno.



**Fig.A-11. Afloramiento de la unidad Basalto Terciario (Tb) en la margen izquierda sobre el camino de acceso, observándose su fracturamiento y alteración.**

### **Toba terciario superior (Tts)**

Es una roca cristalina de composición riódacítica, color violáceo-café y verde con tonos claros, de textura piroclástica dura y compacta. Intemperiza de color café ocre a rojizo y se le observa estructura primaria de corriente de flujo.

Presenta horizontes bien definidos color verde claro, con textura piroclástica muy característica; en la cima del paquete tobáceo se observa una textura tipo arenoso, de grano fino a medio, en capas laminares, con una orientación N20°W y 30° al SW.

Aflora en ambas márgenes; en la izquierda, en la porción S-SE, desde los 425 hasta cotas superiores a los 650 m y cubre al basalto terciario (Tb) en forma concordante; en la derecha, sobre la porción N, se distribuye a lo largo de una franja de aproximadamente 700 m, casi paralela a la estructura de la Falla Sobaco. El afloramiento tipo está localizado en la margen izquierda en las elevaciones 490 y 530 m. Se le ha calculado un espesor aproximado de 100 m y una edad del Plioceno Tardío

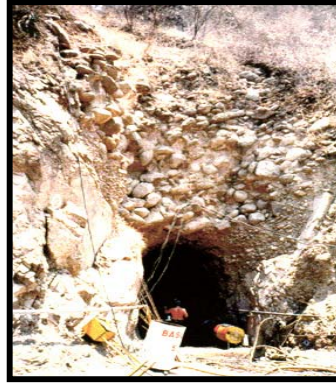
### **Depósitos conglomeráticos (Tc)**

Se localizan únicamente en la margen izquierda, a lo largo del río Santiago y generalmente se encuentran rellenando antiguos cauces labrados en la secuencia ignimbrítica. Están constituidos por un material de boleos con diámetros que oscilan entre los 0.10 y 0.30 m, empacados en una matriz que varía de areno-arcillosa a grava fina y pobremente cementados.

Están cubiertos y preservados por las coladas basálticas (Qb) y los depósitos pumicíticos (Qlp) por lo que su edad estaría situada en la cima del Plioceno; presentan espesores que varían de 5 a 10 m como mínimo, localizándose algunos afloramientos cercanos a la Falla Sobaco, así como en la zona del portal del Socavón 1 y muy próximos a la Falla V. Todos



estos afloramientos se encuentran situados a la cota 250 m como se observa en la figura A-12.

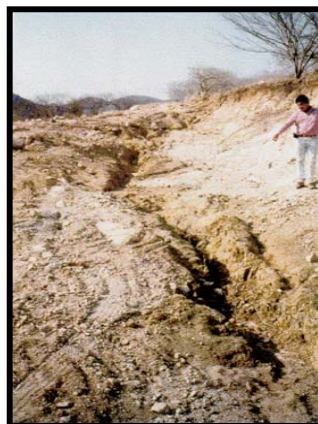


**Fig.A-12.- Vista de los depósitos conglomeráticos (Tc) en la zona del portal del Socavón No. 1 (margen izquierda, eje de la boquilla).**

### **Dique diabásico (Qdd)**

Es de composición andesítico-basáltica, de color verde oscuro a negro, con textura microporfídica en matriz afanítica. Generalmente sus afloramientos se presentan fracturados y alterados, observándose arcilla y en ocasiones calcita en sus contactos, por descomposición de las plagioclasas cálcicas; comúnmente adopta formas tabulares e irregulares, casi horizontales, verticales y onduladas a rumbo, variando sus espesores de 1 a 3 m y ocasionalmente de 10 m.

Estos cuerpos de profundidad intermedia son los más abundantes y se distribuyen con cierta frecuencia tanto en la margen izquierda (área de la Falla IV), como en la derecha (cañada de los diques, cerca del eje); algunos de ellos no alcanzan a aflorar en superficie, habiéndoseles detectado en los cortes de los caminos. Son poco resistentes a la erosión, formando depresiones angostas que en ocasiones constituyen escurrideros, como en la figura A-13.



**Fig.A-13.- Dique diabásico (Qdd) alterado por la circulación de agua.**



Estos diques son los más jóvenes del área, e intrusionan a toda la secuencia litológica. Por correlación regional de campo se les ubica en el Pleistoceno y a veces se intrusionan entre sí.

### **Basalto cuaternario (Qb)**

Es una roca de color gris oscuro a negro, de textura afanítica y con estructuras primarias de tipo columnar y vesicular, vistas en la figura A-14. Se localiza en la margen izquierda del proyecto (aguas arriba y abajo del eje). Aflora formando terrazas de 15 a 20 m de espesor, entre las elevaciones 255 y la 280.



**Fig.A-14. Vista del Basalto Cuaternario (Qb) con estructura columnar cubriendo a la Unidad Ignimbrítica (TicU3).**

Hacia aguas arriba del Eje Socavones se le observa cubriendo discordantemente a la secuencia vulcano-sedimentaria del Terciario (Ts) y aguas abajo se le encuentra cubriendo discordantemente a la Unidad 3 del paquete ignimbrítico. Como se considera que los dique diabásicos son su fuente alimentadora, su edad se asigna también al Pleistoceno.

### **Depósitos lacustres y pumicita (Qlp)**

Estos presentan una coloración variable del gris claro al verde rojizo, con tonalidades oscuras y se les observan elementos piroclásticos y epiclásticos interestratificados; los primeros están representados por pumicitas y los segundos por depósitos limo-arcillosos de origen lacustre.

Los afloramientos principales se encuentran en el área del campamento, en las proximidades del arroyo de la Falla IV, del arroyo Cantiles y del arroyo de la Falla Sobaco (almacén). Se ubican generalmente sobre la elevación 270 hasta la 350 m; el afloramiento de la zona Cantiles es el más extenso. Sus espesores varían de 1 a 15 m (datos de perforación) y se depositan en una posición horizontal, observándoseles en algunos sitios estratificación cruzada y gradual, en capas de 1 a 3 m de espesor, con fragmentos de composición riódacítica de 1 a 10 cm en la base y fragmentos de pómez de 2 mm hasta los





5 cm. Estos depósitos se distribuyen formando lomeríos suaves de pendientes bajas y principalmente en forma paralela a lo largo del río por la margen izquierda, como se aprecia en la figura A-15.



**Fig.A-15. Afloramiento de tobas pumicíticas y depósitos limo-arcillosos en la zona del campamento.**

### **Depósitos de talud (Qdt)**

Se distribuyen en ambas márgenes del río, entre las elevaciones 255 y 345. Los constituyen pequeños fragmentos de roca y grandes bloques de composición heterogénea, cuyos tamaños llegan a alcanzar varios metros y se encuentran contenidos en una matriz de suelo areno-arcilloso, originando un material semicompacto. Los espesores de estos depósitos, en general, no se conocen con exactitud; sin embargo, se han registrado espesores hasta de 35 m en la zona conocida como "circo de erosión" en la margen izquierda, tanto con obra directa (barrenos) como con prospección geofísica.

### **Aluvión (Qal)**

Se halla constituido por arenas, gravas y boleos mal clasificados, su composición es heterogénea y son producto de la desintegración de rocas distantes y locales, transportados por el río Santiago y sus afluentes.

Forman playones en los meandros del río y en las desembocaduras de los arroyos principales, vistas en la figura A-16. Su espesor registrado con prospección geofísica varía de 2 a 15 m y con obra directa el máximo detectado fue de 12 m en el barreno DR-4.



**Fig.A-16. Banco de material aluvial localizado en el área de Cantiles, situado a 1 km aproximadamente aguas abajo del eje de la boquilla.**



## **Fallas principales**

Los lineamientos interpretados regionalmente se agrupan en 2 sistemas principales de fallamiento orientados NW-SE y N-S, además de otros menores de rumbo NE-SW y E-W.

El primero es considerado el más antiguo de la región, ya que está cortado y desplazado por estructuras relativamente más jóvenes, de orientación NE-SW y N-S.

El esquema de lineamientos detectados regionalmente se refleja en los sistemas definidos a detalle en ambas márgenes en la zona de la boquilla.

Las fallas que afectan al área de estudio se presentan por lo general paralelas y escalonadas, formando. Tal es el caso del pequeño graben denominado La Golondrina, con un rumbo NNW-SSE, limitado al oriente por la falla del mismo nombre y al poniente por la falla El Caracol, las cuales fueron cartografiadas con longitudes aproximadas de 13 y 19 km, respectivamente. Este graben se localiza a 10 km al SE del eje de la boquilla y tiene alrededor de 1.5 km de ancho. Existen varias estructuras importantes por su magnitud, alejadas de la zona del embalse, como por ejemplo dos en la margen derecha de 15 km de longitud, una denominada Falla Manga Larga orientada N-S y la otra, sin nombre, NW-SE; la primera se encuentra a 12 km y la segunda a 11 km, al este de la boquilla. En la margen izquierda existen otras estructuras de cierta importancia, como es el caso de la Falla La Brea que se localiza a 4 km al sur del proyecto, con orientación NE-SW y que alcanza una longitud de 7 km. Otra más aparece a 9 km al SW del eje de la boquilla, con una longitud de 8 km y una orientación NW-SE, que se ha denominado Falla San Pedro.

Es muy importante mencionar que, a escasos 2 km al este de la boquilla, se encuentran dos estructuras importantes por su cercanía a la obra. Una, con orientación NE-SW y que se extiende aproximadamente 2.5 km a lo largo del arroyo Palmillas, en tanto que la otra denominada Palmillas tiene una tendencia N-S y alcanza los 3 km de longitud. Hay otras de menor magnitud, de 2 a 3 km de largo, como es el caso de la Cantiles y el Sobaco, ambas orientadas N-S.



## **ANEXO B.- BANCO DE MATERIALES**

### **Generalidades para la explotación de bancos**

Para explotar cada banco de materiales se deberá tener caminos de acceso a cada uno como el que se observa en la figura B-2. Una vez que se cuente con ellos se hará la remoción de la capa vegetal, suelo vegetal, materia orgánica y roca si es que ésta presenta alteración o condiciones de intemperismo que afecten sus características mecánicas.

Se delimitará topográficamente la zona explotable y mediante un levantamiento se confirmará el volumen potencial del banco, para proceder a la explotación.

La limpieza de la capa vegetal se hará con tractor D8 o similar, como se muestra en la figura B-1. El material producto del desmonte y despálme se dejará a los lados de la sección a explotar para proteger la superficie expuesta al término de la explotación del banco.



**Fig.B-1. Zona en proceso de despálme**

Si el banco queda dentro del embalse de la presa, todos los materiales de despálme serán retirados de la zona, siendo depositados en áreas previamente aprobadas por la Inspección y/o Supervisión de obra.



**Fig.B-2. Caminos de acceso a la zona del proyecto y banco de materiales**



---

---

Se describen las principales características geológicas de los bancos de material (grava-arena, arcilla y enrocamiento), dando especial atención a su localización, extensión, estructuras que los afectan, así como las condiciones físicas de la roca, basadas en estudios sísmicos de refracción. También se programan barrenos con recuperación de muestra, para determinar el índice de calidad de roca (RQD). El análisis de las características de cada banco permitirá contar con información para evaluar su potencial y definir los requerimientos de los materiales para el proyecto.

En cada banco se obtuvieron los siguientes datos:

- Ubicación y delimitación
- Características litológicas, estructurales y calidad de roca.
- Espesor de la capa de intemperismo y descomprimida.
- Selección del sitio y obtención de muestras.
- Determinación de propiedades índice en el Laboratorio de los Materiales.
- Estimación del volumen.
- En los bancos de roca se definieron además, las orientaciones preferenciales de las discontinuidades, para elegir los mejores sitios de explotación.

Los bancos de materiales que se explotarán son los que se indican en la tabla II.1.

### **Preparación del sitio**

Debido al tipo de proyecto por ejecutar, no existe una preparación del sitio como tal; las actividades correspondientes a: desmontes, despalmes, excavaciones, compactaciones, nivelaciones, cortes y rellenos, forman parte de la construcción propia de las estructuras del P.H. El Cajón. A continuación se muestran los datos correspondientes a alturas de cortes, volúmenes de material por remover, así como el manejo, traslado y disposición final de materiales sobrantes, relacionados con las estructuras principales del proyecto.

La tabla B.2 muestra los datos relacionados con altura promedio y máxima de los cortes por efectuar para las diversas estructuras que constituyen el proyecto.



**Tabla B.1.- Bancos de préstamo y desperdicio requeridos para la construcción del P.H. El Cajón**

No.	MATERIAL	NOMBRE	SUPERFICIE (ha)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	EXTRACCIÓN
1	Roca	Vertedor	12	9,000,000	Explosivos
2	Arcilla	Aguacalinte	2.1	31,750	Tractor y Cargador
		Manantial	0.5	5,750	
		Campamento	1.5	22,500	
3	Limo	Palmilla	0.3	9,200	Tractor y Cargador
		Palmita	0.3	7,000	
4	Aluviòn	Aguacaliente	3.0	75,250	Retroexcavadora, draga y cargador
		Cantiles	2.2	86,800	
		Palmita	0.7	36,000	
		PalmillasM.D.	1.6	41,730	
		PalmillasM.I.	1.1	26,460	
		Peña	0.6	14,463	
		Brasil	2.0	39,550	
		Remanso	1.1	36,750	
		Peñamorada	2.0	80,000	
		Cantil 2	1.0	18,201	
		El Limòn	1.2	47,730	
		Arroyo Palmillas	2.5	45,000	
5	Desperdicio	Margen Derecha	23.8	2 a 5 millones	Cargador. Se ubican en la zona del embalse por debajo de la cota de inundación.
6	Desperdicio	Margen Izquierda	18.1	2 a 4 millones	Cargador. Se ubican en la zona del embalse por debajo de la cota de inundación.

FUENTE : Estudios Geotécnicos, Bases de Licitación El Cajón,CFE

El ordenamiento territorial de cada uno de los bancos se puede ubicar en los planos de arreglo general de la obra, en los anexos de este documento.



**Tabla B.2 Alturas de cortes significativos, máximos y promedio**

<b>Estructura</b>	<b>Altura máxima de cortes a cielo abierto (m)</b>	<b>Altura máxima de excavaciones subterráneas (m)</b>
<b>Obras de generación</b>		
Casa de máquinas	75.0	50.0
<b>Obra de toma</b>	76.5	---
Tuberías a presión	---	117.0
Galerías de oscilación	---	64.0
Túnel de desfogue (portal)	99.0	---
Subestación	46.0	---
<b>Obras de desvío</b>		
Túneles de desvío (portal de entrada)	64.5	---
Túneles de desvío (portal de salida)	83.0	---
<b>Obra de excedencias</b>		
Vertedor	113.0	---
<b>Altura promedio de cortes</b>	80.0	77.0

FUENTE : Estudios Geotécnicos, Bases de Licitación El Cajón,CFE

El diseño de las estructuras demanda la altura de los cortes indicados en la tabla anterior; sin embargo, estos cortes se realizan por banqueros que varían entre 6 y 9 m, con el propósito de estabilizarlos por medio de anclaje, drenaje, malla electrosoldada y concreto lanzado, de acuerdo a las necesidades geológicas del terreno en cada una de las estructuras.

Adicionalmente, para cortes altos a cielo abierto se prevén bermas o banquetas en niveles variables entre 20 y 50 m de altura, también para fines de estabilización.

La tabla B.3 muestra los volúmenes de material excavado o removido en las diversas estructuras que constituyen el proyecto.



**Tabla B.3.-Volúmenes de material producto de excavación de las estructuras del proyecto**

Estructura	Excavación (m <sup>3</sup> )
Obras de desvío	142,152.00
Obras de contención	1,567,824.62
Obras de generación	245,320.00
Obras de excedencias	7,321,430.15
Total	9, 276, 726.62

FUENTE : Estudios Geotécnicos, Bases de Licitación El Cajón,CFE

La forma de manejo, traslado y disposición final de material sobrante, el volumen extraído de los cortes se aprovecha en su mayor parte en la formación del cuerpo de la cortina, ya que en el caso del P.H. El Cajón, esta estructura será de materiales graduados, por lo que para su formación se requiere de materiales rocosos de diferentes tamaños, según la capa que se va construyendo. Todo el material que no cumpla con los requisitos especificados en el diseño de esta estructura, será desechado y transportado a los bancos de desperdicio mediante el siguiente procedimiento:

- **Manejo.** Esta actividad incluye la clasificación y carga del material. El proceso se inicia después de cada voladura con el objeto de limpiar el área para permitir las actividades previas a la siguiente voladura. Primeramente se procede a seleccionar el material según su tamaño para su transporte al sitio de colocación, o en su caso, a la zona industrial donde será procesado para adecuarlo a las especificaciones del proyecto. El material sobrante se carga en camiones de volteo fuera de carretera o camiones convencionales mediante la utilización de cargadores y/o traxcavos con la capacidad suficiente para depositar dicho material en los vehículos de carga utilizados.



**Fig.B-3. Voladura en la zona de estructura de control**



- **Traslado.** Una vez cargado el material, es transportado como se muestra en la figura B-4 directamente a través de los caminos que se construirán y formarán parte de la vialidad para construcción, hasta los bancos de desperdicio ubicados cerca de las márgenes izquierda y derecha del río Santiago, aguas arriba de las estructuras principales del proyecto.



**Fig.B-4. Traslado de material**

- **Disposición final.** El material será depositado en los bancos de desperdicio, extendiéndolo con tractores de oruga y formando terrazas o plataformas como se observa en la figura II.5 para proporcionarle estabilidad e impedir posteriormente deslaves en sus taludes, en el entendido de que está establecido que estos depósitos queden a una elevación menor que el NAMINO (Nivel de Aguas Mínimo de Operación), con el objeto de que en ningún caso lleguen a emerger del embalse, evitando con ello cualquier efecto paisajístico posterior a la terminación de la obra.



**Fig.B-5. Disposición del material de desperdicio**





## Explotación y utilización de bancos de materiales

### - Bancos de aluvión y limos

Los bancos de aluvión y limos son depósitos aluviales localizados sobre el cauce del río o en sus márgenes tal y como se aprecia en la figura B-6.



**Fig.B-6. Recolección de depósitos aluviales**

Para dar acceso a estos bancos se construyen caminos de terracerías que comunican el cauce del río con plataformas donde se pretende almacenar los materiales.

Previamente a la explotación, se procede al acondicionamiento del sitio, consistente en desmonte, despalme y regularización de la superficie.

La explotación de estos bancos se realiza en dos etapas. En la primera, mediante el uso de tractores para acumular el material y para cargarlo se utilizan trascabos de oruga o cargadores sobre neumáticos con cucharón frontal; el acarreo se realiza mediante camiones de volteo a los almacenes asignados, disponiendo de todo el material existente por arriba del nivel del río. En la segunda etapa se utilizan dragas o retroexcavadoras que extraen el material por debajo del nivel del río hasta alcanzar el fondo del banco o hasta donde permita el alcance máximo del equipo.

Los bancos se explotarán de aguas arriba hacia aguas abajo, dejando un bordo de protección que evite que la corriente del río pase al área en explotación, evitando de esta manera perder volumen por caídos debido a la erosión de la corriente de agua. Se agotarán los bancos en forma vertical antes que horizontalmente, hasta completar el espesor deseado o encontrar la roca, lo que suceda primero. Se formarán rampas para que los camiones al salir de los bancos, eliminen la mayor parte del agua en el material, el agua será canalizada nuevamente al río.



La utilización del aluvión será inicialmente para la construcción de las ataguías y posteriormente, mediante cribado y trituración, para producir agregados para concretos en la zona industrial, figura B-7.



**Fig.B-7. Producción de agregados para concreto, zona industrial del proyecto**

El limo se utiliza comúnmente para incluirse como parte del material de desplante de las ataguías en presencia de agua y dar impermeabilidad a la cimentación.

Si el material producto de la excavación no cumple las especificaciones aplicables, deberá ser dejado en el banco debidamente identificado, o bien, deberá transportarse a un depósito materiales de desperdicio.

Los bancos de aluvión y limo que se tienen considerados para la construcción del P.H.El Cajón se indican en la tabla B.4. Estos bancos, por encontrarse en el cauce del río, quedarán ahogados en los embalses de la presa de Aguamilpa y del P.H. El Cajón, una vez terminada la obra.



**Tabla B.4 Bancos de aluvión y limo para la construcción del P.H. El Cajón**

<b>Bancos de material</b>			
<b>No.</b>	<b>Aluvión</b>	<b>No.</b>	<b>Limo</b>
1	Agua Caliente	1	Palmita
2	Cantil 1	2	Palmilla
3	Cantil 2		
4	Palmita		
5	El Limón		
6	El Remanso		
7	Palmillas margen derecha		
8	Palmillas margen izquierda		
9	Arroyo Palmillas		
10	La Peña		
11	El Brasil		
12	Peña Morada		

FUENTE : Estudios Geotécnicos, Bases de Licitación El Cajón,CFE

#### **- Bancos de arcilla**

Estos bancos son formados por depósitos aluviales que se localizan en las áreas de topografía suave y que por las condiciones propias de la región no son abundantes.

Para la selección de los bancos de arcilla se realizaron estudios determinando las características físicas, áreas y volúmenes potenciales.



---

---

Con base en lo anterior, sólo fue posible localizar tres bancos de arcilla denominados: “Campamento”, “Agua Caliente” y “Manantial”; el primero de ellos, localizado dentro de lo que será el embalse del P.H. El Cajón; el segundo y tercero se ubican aguas debajo de las estructuras del proyecto.

Los accesos a estos bancos de arcilla son actualmente de terracería, y deben ser mejorados o modificados posteriormente para permitir el acceso de los equipos de acarreo que llevarán el material del banco a los almacenes o a las ataguías, según sea el caso.

El acondicionamiento de estos bancos consiste en delimitar primeramente el terreno y hacer su reconocimiento para modificar los cauces naturales que cruzan el banco, y mantener las pendientes necesarias durante el proceso de explotación para evitar el encharcamiento y saturación de humedad del material. Previo a la explotación, se realiza el desmonte y despalde sobrepassando perimetralmente 5 m para permitir la formación de cunetas que lleven los escurrimientos pluviales fuera del área de trabajo, y a la vez ir formando los taludes con relación 0.5:1 hasta llegar al fondo del banco. De acuerdo con los datos proporcionados por los estudios previos, se conoce que el espesor promedio de los bancos varía entre 1 y 1.5 m, lo cual indica que podrá explotarse en una sola etapa.

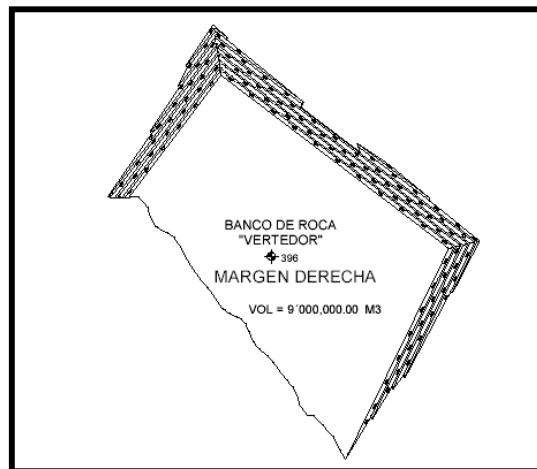
Para la explotación de la arcilla se utilizan tractores que cortan el material en franjas horizontales debastando el banco en capas sucesivas sobre toda la superficie hasta agotar el potencial, momento en el que se concluyen las actividades de explotación. Al concluir la explotación, queda una superficie irregular con espesores variables de arcilla que dependen de la configuración del estrato subyacente, ya sea de roca u otro material distinto, siendo hasta este momento en el que se puede proceder al inicio de actividades para la restauración del terreno y la reforestación.

#### **- Bancos de roca**

Para la construcción del proyecto, en particular para la presa, cuya cortina será de enrocamiento con cara de concreto a la elevación 394.5 msnm, se tiene considerado explotar el citado banco "El Vertedor", que se localiza aguas abajo del eje de la cortina sobre la margen derecha del río Santiago, a una distancia de 200 m del eje de la cortina, entre las elevaciones 396 y 500 (figura B-8 y figura B-9).



**Fig.B-8. Panorámica del banco “El Vertedor”**



**Fig.B-9. Proyecto de explotación del banco de roca “El Vertedor”**

De este banco se pretende extraer roca, para lo cual el ataque se realizará de la parte superior a la parte inferior, iniciándose con el desmonte, despalme y retiro del suelo vegetal, mismo que será almacenado en un lugar estratégico con la finalidad de recuperarlo para su uso posterior en la restauración de la misma zona.

Es importante señalar que considerando las dimensiones del banco “El Vertedor”, se ha determinado por métodos geológicos que con alturas de explotación del orden de 5 m, se pueden extraer alrededor de 9,000,000 m<sup>3</sup> de material. Sin embargo, con base en sondeos más profundos actualmente se ha considerado que el volumen de roca requerido para la formación de la cortina y para los agregados podrá extraerse de este sitio.



Para la producción industrial de la roca, se formarán banquetes de entre 9 y 15 m de altura con taludes de 0.25:1, con bermas de 6 m de ancho entre cada banquete.

Contarán con cunetas para drenar el agua de los escurrimientos causados por las lluvias. Para el acarreo del material se construirán caminos de acceso dirigidos a cada banqueta que se utilizarán posteriormente para los trabajos de reforestación del banco.

La figura B-10 muestra el arreglo final y procedimiento de explotación de este banco.

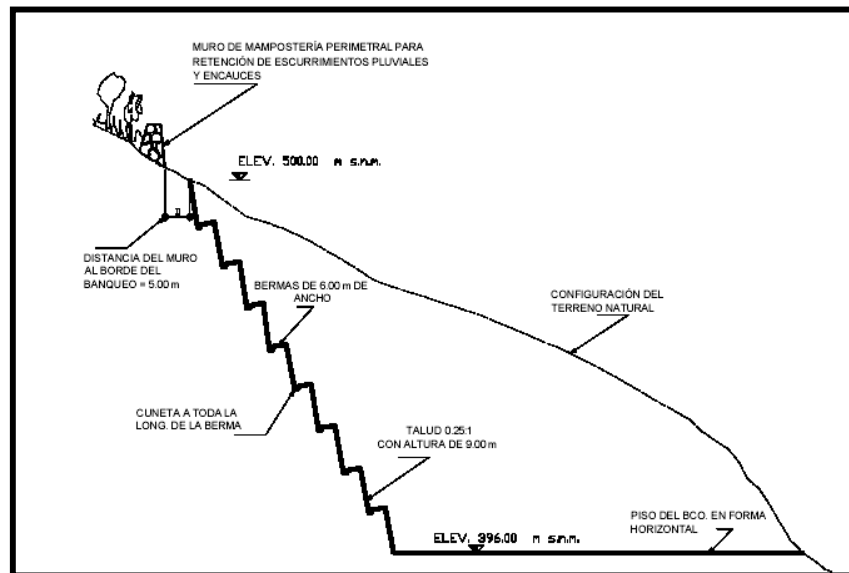


Fig.B-10. Sección máxima al centro del banco "El Vertedor"

## Almacenes

### - Almacenes de materiales

Estos sitios son terrenos que deben de contar con las siguientes características:

- Ser sensiblemente planos.
- Ubicados en sitios accesibles.
- Ubicados en las cercanías de la periferia de la obra.
- En sitios en donde no se afecten las áreas de construcción del proyecto.

Las actividades que se desarrollan comúnmente para acondicionar los terrenos para almacén de materiales son:

- Desmante.
- Despalmes.



- Regularización de la superficie.
- Revestimiento con materiales pétreos.
- Nivelación para dar pendiente a los escurrimientos pluviales.
- Modificación mediante canalización de los arroyos existentes en el sitio.

El uso que se da a estos sitios es el de almacenar en ellos de manera independiente, los distintos materiales que se requieren durante la construcción del proyecto, tales como: roca, materiales pétreos triturados, grava - arena de río, arcillas y limos. Estos almacenes se van formando y creciendo o decreciendo conforme a la explotación y su utilización en los sitios de la obra hasta finalizar la construcción, momento en el cual se deben dar las condiciones para la restauración del terreno en cuestión.

Para el proyecto se tiene identificado un sitio en la margen derecha, cuya superficie es de 16.5 ha y está ligado con vialidades tanto al banco El Vertedor como a los frentes de obra de las estructuras principales.

#### **- Almacenes de desperdicio**

Estos sitios se pueden definir como los tiraderos industriales a donde van a dar todos los materiales de desecho que se generan durante la construcción de la obra, tales como: concretos producto de demolición, roca, aluvión, gravas y arenas contaminadas, limos y arcillas.

El sitio seleccionado está aguas arriba de la presa, a una elevación tal que permite que todo el material del tiradero quede ahogado dentro del embalse. Se ubicará un tiradero en cada margen. Para la localización del sitio se tomaron las siguientes consideraciones: preferentemente que fuese una cañada o un cantil con desnivel que permita el balconeo del material hasta un sitio donde no reduzca el cauce natural del río ni afecte los sitios de construcción de la obra, que el material se pueda ir acumulando desde la parte baja del tiradero e ir creciendo con el depósito del material en forma de rampa o talud con el ángulo de reposo que adquieran los materiales con el balconeo.

Dadas las características del sitio para el tiradero, no se requiere acondicionamiento del mismo, salvo una pequeña plataforma en la parte alta de la cañada o cantil para que el equipo de acarreo haga maniobras para acercarse al borde del tiradero. Se construirán los ramales a los caminos de acceso ya existentes que ligen a las plataformas con las vialidades internas de la obra. Los ramales que se construyan para llegar al tiradero serán caminos de terracería provisionales que al finalizar la obra quedarán abandonados.



# ANEXO C

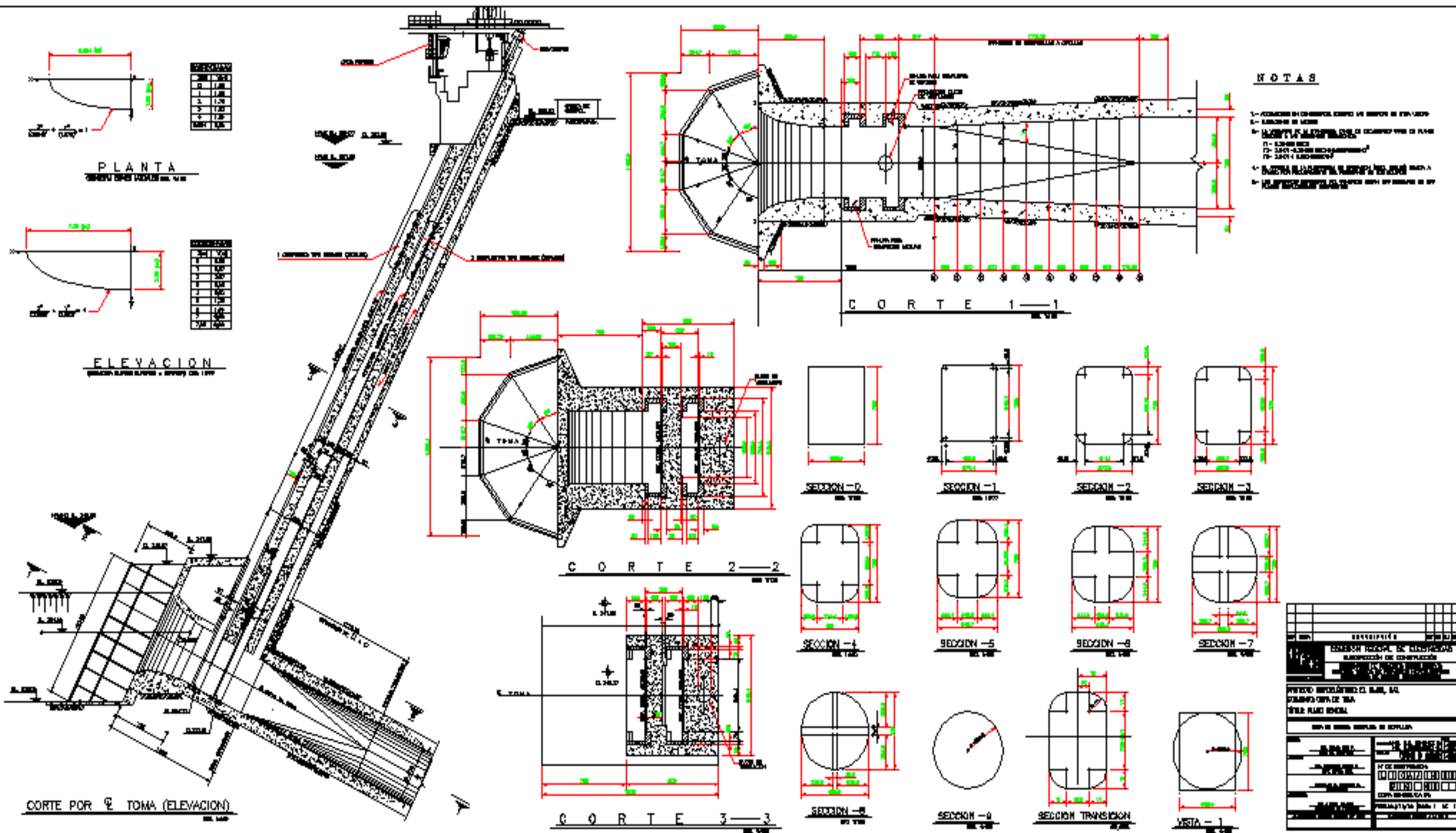
## PLANOS DEL PROYECTO











- NOTAS**
- 1- ACERCA DE DIMENSIONES VERIFICAR EN SITIO.
  - 2- VERIFICAR EN SITIO.
  - 3- MATERIAL DE CONSTRUCCION DE ACORDO CON EL PLAN.
  - 4- 1- 1000000
  - 5- 2000-1000000
  - 6- 2000-1000000
  - 7- 2000-1000000
  - 8- 2000-1000000
  - 9- 2000-1000000
  - 10- 2000-1000000

PROYECTO		FECHA	
<b>ESPECIALIDAD DE INGENIERIA</b> <b>INGENIERIA DE CONSTRUCCION</b>			
<b>TITULO DEL PROYECTO</b> <b>PROYECTO DE CONSTRUCCION DE UN EDIFICIO DE OFICINAS</b>			
<b>UBICACION DEL PROYECTO</b> <b>AV. CENTRAL No. 100</b>			
<b>PROYECTADO POR</b> <b>ING. JUAN PABLO GARCIA</b>			
<b>REVISADO POR</b> <b>ING. JUAN PABLO GARCIA</b>			
<b>APROBADO POR</b> <b>ING. JUAN PABLO GARCIA</b>			
<b>FECHA DE EMISION</b> <b>10/10/2010</b>			
<b>ESCALA</b> <b>1:100</b>			
<b>PROYECTO No. 100</b>			
<b>PROYECTO No. 100</b>			







---

---

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1) PROSPECTIVA DEL SECTOR ELÉCTRICO 2002-2011, SECRETARIA DE ENERGÍA.
- 2) OBRAS HIDRÁULICAS, Francisco Torres Herrera, Edit. LIMUSA, México D.F. 1987.
- 3) PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO “EL CAJÓN”, NAYARIT, Constructora Internacional de Infraestructura (CIISA) S.A de C.V.
- 4) MANIFIESTO DE IMPACTO AMBIENTAL MODALIDAD REGIONAL DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO “EL CAJÓN”, NAYARIT, CFE.
- 5) IMPACTO AMBIENTAL, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994.
- 6) BASES DE LICITACIÓN PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO “EL CAJÓN”, NAYARIT, CFE .

## **PUBLICACIONES ELECTRÓNICAS**

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

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