

PLANTA HIDROELÉCTRICA EL CAJON.

La Planta hidroeléctrica El Cajón, actualmente en construcción, con cierto esquema de financiamiento por parte de la empresa: Constructora Internacional de Infraestructura S.A. de C.V. se encuentra en la parte occidental del país, en la Sierra Madre Occidental, a 47 kilómetros en línea recta de la Ciudad de Tepic, Estado de Nayarit, en dirección sureste, sobre el Río Santiago, entre los municipios de La Yesca y Santa María del Oro. Sus coordenadas geográficas son 21° 25' 41" de latitud norte, y 104° 27' 14" de longitud Oeste. Queda unos 60 kilómetros aguas arriba de la Planta Hidroeléctrica Aguamilpa, sobre el mismo río.



Mapa de localización geográfica relativa.

Geología y Geotecnia

Han sido abundantes los trabajos geofísicos, geológicos, de perforación, permeabilidad y piezometría. Se han excavado cuatro socavones y varias trincheras en las márgenes como apoyo a los estudios.

Adicionalmente, se han llevado a cabo amplios estudios en los bancos de materiales (aluvión del río y enrocamiento) y realizado una extensa campaña de investigaciones geotécnicas para definir los parámetros de resistencia, deformación y permeabilidad del macizo rocoso.

En la actualidad existen suficientes estudios y análisis geológico-geotécnicos de la geología del sitio y de las discontinuidades estructurales en el macizo rocoso. que han permitido prediseñar las obras civiles con suficientes márgenes de seguridad y estimar su costo con certidumbre.

La boquilla del Planta Hidroeléctrica El Cajón está enmarcada geológicamente por unidades de diversa litología y edad, desde rocas metamórficas del Precenozoico e ígneas del Oligoceno al Cuaternario. Existen rocas metavulcano sedimentarias, granitos, andesitas, flujos y emisiones piroclásticas ácidas, derrames basálticos, diques de composición granítica, andesítica y diabásica; depósitos vulcano sedimentarios, aluviones de paleocauce, depósitos pumicíticos, lacustres, de talud y de aluvión reciente.

Desde el punto de vista geológico estructural, el macizo rocoso del proyecto se encuentra intrusionado, basculado y claramente delimitado por fallamiento regional, que permitió la definición de bloques y subbloques. De acuerdo a los estudios realizados, las obras se emplazarán principalmente en roca ignimbrita de composición riódacítica, la cual se diferenció en 3 unidades denominadas TicU1, TicU2 y TicU3, entre estas unidades aparecen dos horizontes aglomeráticos, uno de 5 m de espesor entre las unidades 2 y 3, y otro de 22 a 25 m de espesor ubicado en la unidad 2.

Es en el macizo rocoso del sitio donde se ubican las obras y en especial en la margen izquierda. Esta situación implica que en la margen izquierda se prevea tener mayores tratamientos a la roca para la construcción de las obras exteriores y subterráneas.



Vista aérea del lugar de construcción de la planta, en su comienzo.

Hidrología

Temperatura media mensual máxima de 32° C en el mes de mayo y mínima de 23,2° C en el mes de enero. Evaporación media mensual máxima de 317,8 mm en mayo y mínima de 129 mm en diciembre. Precipitación media mensual máxima de 234,6 mm en julio y mínima de 10,7 mm en diciembre. Escurrimiento medio mensual máximo de 918,8 millones de metros cúbicos en el mes de agosto y mínimo de 83 millones de metros cúbicos en febrero. En la zona de las obras, la temporada de lluvias se presenta muy marcada entre los meses de junio a octubre y el estiaje entre los meses de noviembre a mayo. Durante el invierno se presentan lluvias en un porcentaje ligeramente mayor al 5% de la media anual.

Área de la cuenca aportadora	54,198 km ²
Volumen de escurrimiento medio anual histórico (1949-1997)	4,077 hm ³
Volumen de escurrimiento medio anual menos usos futuros (1998-2046)	3,357 hm ³
Volumen medio aprovechable	3,183 hm ³
Gasto medio aprovechable (1998-2046)	101 m ³ / s
Gasto máximo registrado	7,029 m ³ / s
Gasto de pico avenida de diseño para desvío	6,711 m ³ / s
Periodo de retorno	100 años
Gasto de diseño para el vertedor	15,900 m ³ / s
Periodo de retorno	10,000 años

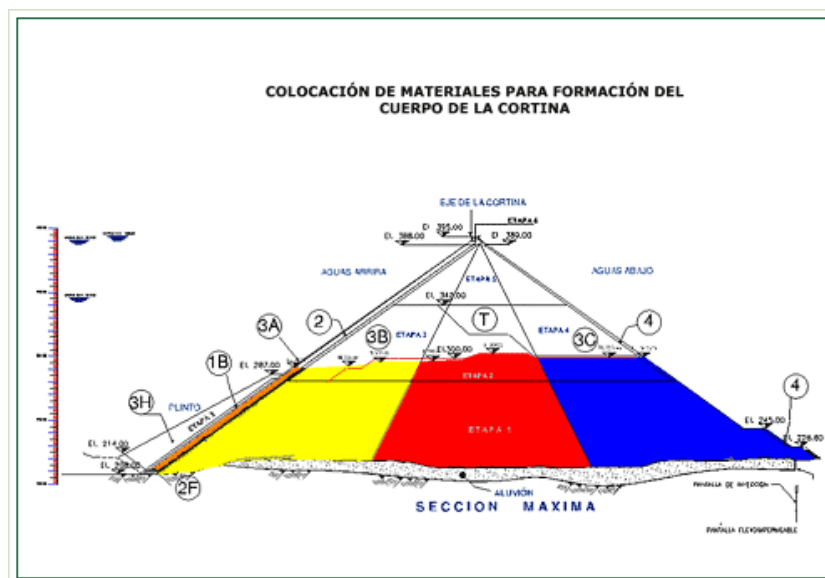
La cortina de la presa tendrá una altura total de 186 metros, y un largo de 611.5 metros. Es de rocas graduadas recubiertas con una capa de concreto lanzado, siendo la segunda más alta en el mundo en su tipo, solo después de la de Aguamilpa.



Mapa de la cuenca y área inundada.

CORTINA Y VERTEDEDOR.

Consiste en una cortina de enrocamiento con cara de concreto. El cuerpo de la misma se compone de materiales graduados que dan apoyo a la cara de concreto formada con tableros de aproximadamente 15 m. de ancho y de espesor variable. La cara de concreto se apoya en el plinto que, además de esta función, es la plataforma para realizar las inyecciones de consolidación y pantalla impermeable. Junto con un sistema de galerías excavadas en ambas laderas adyacentes al empotramiento de la cortina, éstas formarán el plano de estanqueidad.



La cara de concreto cuenta con un sistema de juntas y sellos de cobre y PVC; que son colocados en todas las juntas de la cara de concreto; así como en la junta perimetral plinto-cara de concreto. Estas protecciones deben garantizar que las filtraciones sean mínimas. Para medir éstas, se ubicó una galería filtrante al pie de la cortina en la zona aguas abajo, de tal manera que por ella se captan todas las

filtraciones que ocurren por el cuerpo de la presa y se pueda obtener el gasto de filtración en cualquier época del año.



Construcción de la cortina a Mayo 2006.

Cortina	
Tipo	Enrocamiento con cara de concreto (CFRD)
Elevación de la corona	395,00 m.s.n.m.
Elevación máxima del parapeto	396,50 m.s.n.m.
Elevación máxima de terracerías (aguas arriba)	391,70 m.s.n.m.
Elevación máxima de terracerías (aguas abajo)	393,00 m.s.n.m.
Longitud de la corona	550,00 m.s.n.m.
Altura total al desplante	186,00 m.s.n.m.
Elevación de desplante	210,00 ms.n.m.
Altura bordo libre	2,00 m
Talud aguas arriba	1,4 :1
Talud aguas abajo	1,4 :1



Vista del colado de las pilas del vertedor en Mayo del 2006.



Vista del canal de descarga del vertedor, a Mayo del 2006.

Vaso de almacenamiento	
Elevación al NAMINO	346,00 m.s.n.m.
Elevación de diseño (corresponde a la carga de diseño de la turbina)	380,07 m.s.n.m.
Elevación al NAMO	391,00 m.s.n.m.
Elevación al NAME	394,00 m.s.n.m.
Capacidad para azolve (EL. 319,50)	482,40 hm ³
Capacidad útil para generación	1 316,20 hm ³
Capacidad de control de avenidas	117,50 hm ³
Área al NAME	3 982,00 ha
Área al NAMO	3 852,00 ha
Área al NAMINO	2 087,00 ha

Obra de control y excedencias	
Tipo	Controlado
Avenida máxima probable	15 915,00 m ³ /s
Gasto máximo de diseño	14 864,00 m ³ /s
Gasto unitario máximo de descarga	207,01 m ³ /s/ m
Volumen de la avenida de diseño	5 238,00 hm ³
Periodo de retorno de la amp (Tr)	10 000 años
Velocidad máxima en la descarga	46,00 m/s
Carga sobre la cresta	22,00 m
Elevación de la cresta	372,00 m.s.n.m.
Longitud total de la cresta	72,00 m
Carga hidráulica máxima	20,70 m
Compuertas radiales	6 piezas
Dimensiones (ancho x alto)	12 x 20,70 m
Masa estimada de cada compuerta	178,00 t
Relación alto / ancho	1,73
Mecanismos para izaje	Servomotores
Elementos de cierre auxiliar	tablero de agujas
Dimensiones (ancho x alto)	12,0 x 22,05
Carga hidráulica máxima	22,05 m
Masa estimada del tablero	144 t
Mecanismos para izaje	Grúa pórtico

OBRAS DE TOMA.

Se localiza en la margen derecha. Consiste en una obra de toma de concreto reforzado y rejillas metálicas.

La obra esta diseñada para un gasto máximo de 14 864 m³/s e inicia en el canal de llamada excavado a cielo abierto.

Obras de generación	
<i>Obra de toma</i>	
Tipo	En rampa
Dimensiones del vano (ancho / alto)	6,244 x 7,95 m
Dimensiones de las rejillas (ancho, alto) por conducto	15.36 x 18.89 m
Elevación del canal de llamada	322,40 m.s.n.m.
Elevación umbral de compuerta de servicio	322,87 m.s.n.m.
Carga hidráulica máxima	71,13 m
Masa estimada de cada elemento	75,00 t
Mecanismos de cierre	Compuertas rodantes
Cantidad	2 piezas
Mecanismo de izaje	Servomotores
Mecanismos de cierre auxiliar	Compuerta rodante
Cantidad	1 pieza
Dimensiones (ancho x alto)	6,244 x 7,95 m
Elevación umbral de compuerta auxiliar	324.33 m.s.n.m.
Carga hidráulica máxima	71,13 m
Masa estimada de cada elemento	75,00 t

La zona de control está formada por el cimacio (moldura cóncava y convexa en forma de "s") y pilas de concreto reforzado para conformar seis vanos. Estos espacios huecos están equipados con compuertas radiales operadas por servomotores para el manejo del agua que, por demasías, llegue al embalse de la presa.

La estructura de control cuenta con dos compuertas deslizantes de servicio operadas con servomotores.



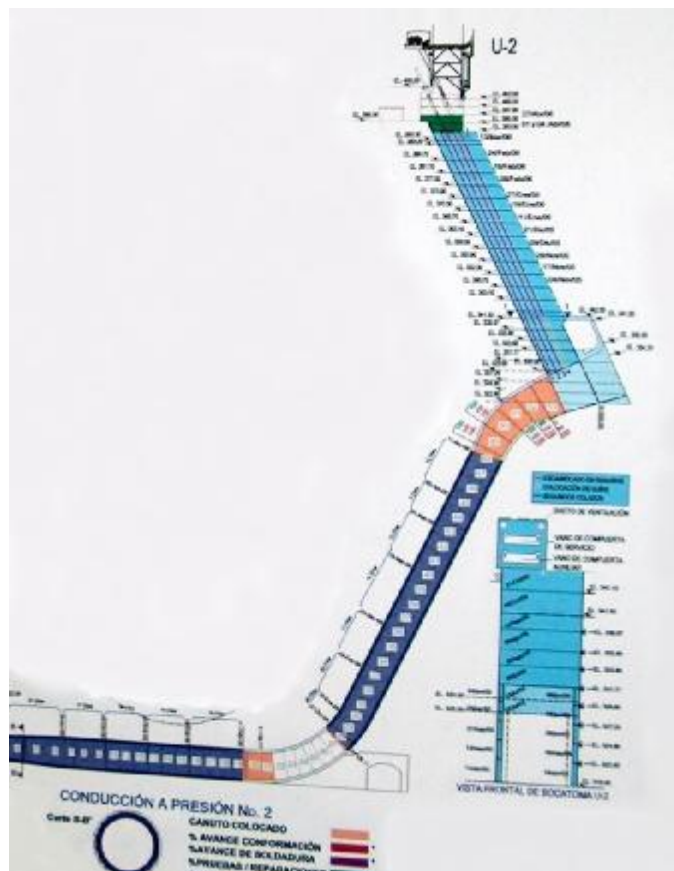
Construcción de bocatomas



Construcción de la cortina y bocatomas a Mayo del 2006.

LA TUBERÍA DE PRESIÓN

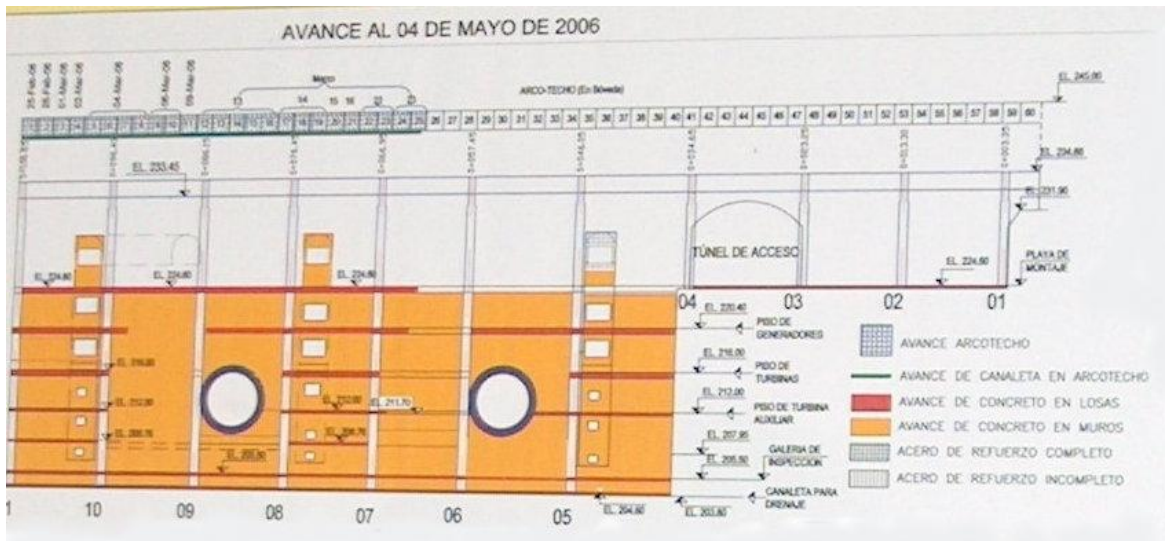
La conducción del agua hacia casa de máquinas es mediante dos túneles circulares a presión, de concreto reforzado en su primera parte y posteriormente revestidos con camisa metálica. Esta siendo fabricada en Ucrania, y ensamblada y soldada en el lugar.



Obras de generación	
<u>Tubería a presión</u>	
Tipo	Acero
Diámetro	7,95 m
Longitud (concreto)	15,95 m
Longitud (blindaje de acero)	235,40 m
Gasto de diseño	259,77 m ³ /s

CASA DE MÁQUINAS.

La casa de máquinas es subterránea y su ingreso será por un túnel vehicular.



Obras de generación	
<u>Casa de Máquinas</u>	
Tipo	Subterránea
Dimensiones (ancho/largo/alto)	22,20 x 107,05 x 49,80 m
Elevación piso de excitadores	224,20 m.s.n.m.
Potencia total instalada (generadores)	789,48 MVA
Grúa viajera (cantidad-capacidad)	2 x 400 t



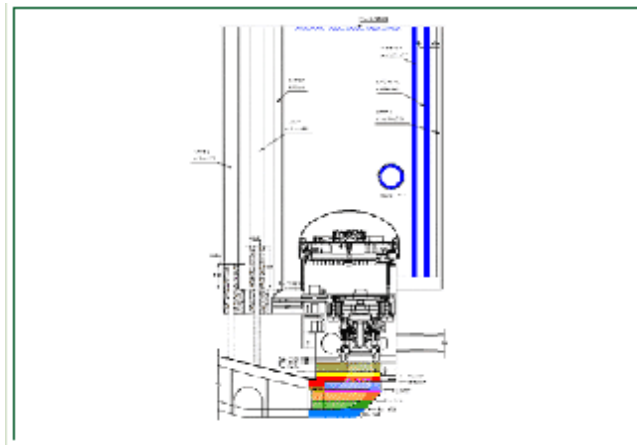
Vista de casa de máquinas en construcción.

La casa de máquinas se encuentra alojada en una caverna excavada en roca. Sus losas, muros y bóveda son de concreto reforzado, equipada con dos grupos turbogeneradores, las turbinas son de eje vertical. Se ingresa a ella mediante un túnel de acceso vehicular hecho especialmente para dar cabida a las partes más grandes de los equipos a instalar. Cuenta con un sistema forzado de ventilación por medio de tres lumbreras verticales y una lumbrera más para contener todos los cables de control, fuerza y medición.



Vista de la grúa de 400 toneladas y parte turbina 2, a Mayo del 2006.

En la casa de máquinas se instalarán dos grúas 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 de eje horizontal, para suministro de energía eléctrica para los servicios auxiliares de la central en caso de emergencia.



La energía se conduce a través de lumbreras verticales hasta la superficie, por medio de cables y barras de cobre, buses, (conductores de circuitos para distribuir datos o corrientes de alimentación) de fase aislada a los transformadores que van a elevar el voltaje de 17 a 400 kv.

La casa de máquinas está excavada en la roca, en la margen derecha del río, con las siguientes elevaciones:

Elevación parapeto borde de la cortina: El 396.50 m.s.n.m.,

Elevación del techo de la casa de máquinas: El 245.00 m.s.n.m.,

Elevación del nivel del piso de la casa de máquinas: El 224.80 m.s.n.m.

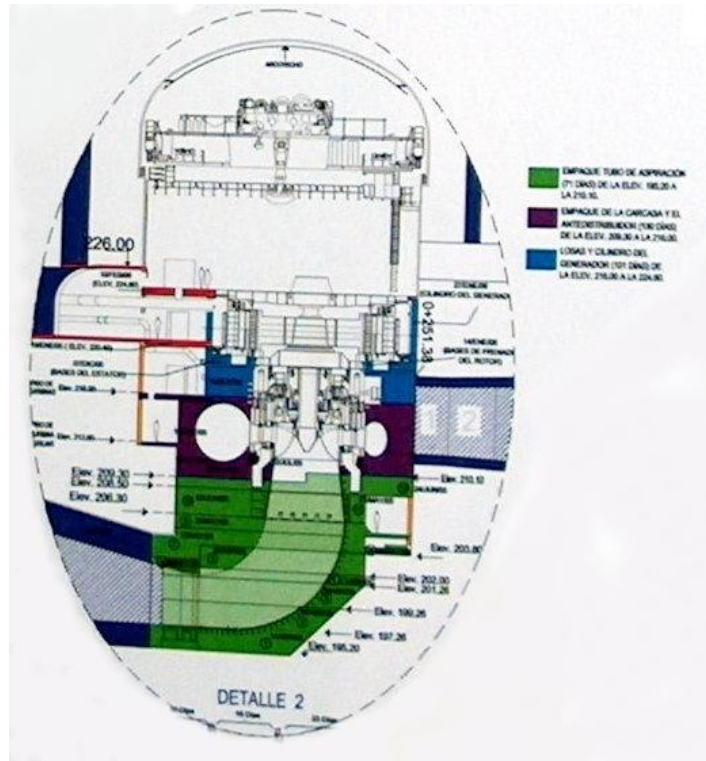
Además, se tienen Piso de generadores, Piso de turbinas, piso de turbina auxiliar, galería de inspección.

Elevación de la canaleta de drenaje: El. 204.60 m.s.n.m.

Excavación de tubería de desfogue: El 195.20 m.s.n.m.

TURBINAS Y GENERADORES.

Tendrá dos unidades turbo generadoras principales y una unidad de eje horizontal destinada para servicios propios, y cuando por algún motivo las unidades principales estén fuera de servicio.



TURBINAS: Dos unidades tipo Francis de eje vertical de 375 MW cada una, 150 revoluciones por minuto, directamente acopladas a su generador y excitador. Estarán fabricadas en Ucrania, y armadas en el lugar.



Armado de turbina No. 2, en Abril 2006.

Como el vaso de almacenamiento del agua es de muy bajo volumen, con un factor de planta de proyecto de 0.19, se usará, como la Planta Aguamilpa aguas abajo, como planta para picos, mejorando considerablemente la disponibilidad y la generación con las dos plantas en operación, al mejorarse la regulación de las aguas en el Río Santiago. Se espera construir otra planta aguas arriba sobre el mismo río, completando el proyecto, probablemente en un lugar llamado La Yesca.

Por ser del tipo rotor sumergido en la turbina, podrá arrancarse y estar lista para sincronizar en un tiempo del orden de 5 minutos.

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

GENERADORES. La capacidad instalada total es de 789.48 MVA.
Está compuesta por dos generadores, cada uno de 395 MVA, 375 MW, a 17 000 volts, 13 406 amperes, 0.95 factor de potencia, 48 polos a 150 revoluciones por minuto, directamente acoplados a su turbina.



Vista del campo en el rotor de unidad 2, en Mayo del 2006.



Vista de Casa de Máquinas a Mayo del 2006.

La planta en su operación será totalmente automática y a control remoto desde el Despacho de Carga de Área en Guadalajara, como se tienen otras plantas.

OBRAS HIDRÁULICAS COMPLEMENTARIAS.

La obra se complementa con la galería de oscilación y el túnel de desfogue, ambos excavados en roca.



Vista cimbra metálica en túnel de desfogue

<u>Galería de oscilación</u>	
Tipo	Subterránea
Dimensiones	16,0 x 66,70 m
Altura máxima	54,36 m
Dimensiones del vano para compuerta (ancho, alto)	7,30 x 9,74 m
Nivel del agua con un canal del vertedor en operación (5 750 m ³ /s) y 2 unidades	241,18 m
Nivel del agua sin unidades operando	217,00 m
Mecanismos de cierre	Compuertas deslizantes
Cantidad	4 piezas
Dimensiones (ancho x alto)	7,30 x 9,74
Carga hidráulica máxima	42,70 m
Masa estimada	60,00 t
Mecanismo de izaje (Grúa viajera)	75,00 t

<u>Desfogue</u>	
Tipo	Sección portal
Dimensiones (diámetro)	13,90 m
Longitud	310,33 m
Nivel del agua en el río con	
1 Unidad / 2 Unidades (Qdiseño)	220,38 / 222,10 m

El canal de descarga de 91 m de ancho es de sección rectangular revestido con concreto reforzado, cuenta con seis aireadores en el piso y está dividido por un muro longitudinal rematando en una cubeta deflectora (de desvío de la corriente).

SUBESTACIÓN ELEVADORA.

La subestación se ubicará en una plataforma exterior y será blindada.

<u>Subestación</u>	
Tipo	SF6
Tensión	400 kv
Área total en plataforma	15 252 m2
Elevación de la plataforma	340,00 m
Arreglo	Interruptor y medio
<u>Líneas de transmisión-subestación</u>	
Número de líneas	2
Longitud hacia la red	18 km
Calibre del conductor	1 113 ACSR
Tensión	400 kv

Transformadores que van a elevar el voltaje de 17 a 400 kV. La subestación será del tipo blindado, con dispositivos en atmósfera de hexafloruro de azufre (SF6) y se alojará en un edificio construido en una plataforma a cielo abierto; de manera similar se ubican los transformadores de potencia, casetas de ventilación, control, baterías y la subestación blindada de servicios auxiliares de la central con una tensión 13,8 kV.

La subestación elevadora, de 17 000 a 400 000 volts de la red de transmisión, estará en la superficie del terreno, a aproximadamente metros. Será encapsulada en SF6 con operación a control remoto desde el Despacho de Área desde Guadalajara, como se tienen otras subestaciones de esta tensión en el área.



Vista de torre del doble circuito a 400 KV en construcción, en Mayo del 2006.

La subestación elevadora tendrá dos líneas de salida a 400 000 volts, con una longitud de 18 kilómetros, y conductor calibre 1 113 KCM, construcción ACSR, hasta la subestación de enlace con las líneas del Sistema Eléctrico Nacional, llamada "Cerro Blanco".

ECOLOGÍA.

La construcción de la planta se está haciendo teniendo mucho cuidado en preservar el entorno, tanto en el aspecto de la flora como de la fauna, contando para ello con la asesoría del Instituto de Ecología de nuestro país, institución que es altamente reconocida a nivel mundial.

PERSONAL DE CONSTRUCCIÓN

El personal máximo durante el período de construcción fue del orden de 6 000 trabajadores, por lo que fue necesario construir la infraestructura de apoyo necesaria durante la construcción además de la permanente para la operación de la central hidroeléctrica.

Dentro de éstas encontramos las vialidades internas definitivas que comunican las principales estructuras del proyecto y los edificios e instalaciones para el personal, vialidades que miden aproximadamente diez kilómetros. También son parte de este grupo el almacén de alta y baja rotación, y el edificio de seguridad física.

Se construyó además, la clínica del IMSS (Unidad Médica Familiar 23-El Cajón) y un puente sobre el Río Santiago. Otras de las estructuras que comprenden las obras asociadas son: la carretera de acceso al proyecto hidroeléctrico El Cajón, el embarcadero, el comedor colectivo, el taller mecánico-eléctrico, almacenes diversos, depósitos de residuos peligrosos y el de ceniza volante.

Se provee transporte al personal los fines de semana para sus fines personales. Es interesante ver más de cien camiones de primera clase en convoy por la carretera muy sinuosa a la salida de la planta.

BENEFICIOS ECONÓMICOS

- Una derrama económica de 2,000 millones de pesos
- La creación de 10 mil empleos directos e indirectos
- El mejoramiento en las vías de acceso, para beneficio de 20 mil habitantes pertenecientes a 40 comunidades
- La generación media anual de 1 mil 228 Gwh, igual a 1.5 veces el consumo anual del estado de Nayarit
- Una capacidad instalada de 750 MW, lo que equivale a encender 7.5 millones de focos
- El ahorro anual de dos millones de barriles de combustóleo
- Un aumento en la generación firme de la Central Hidroeléctrica Aguamilpa, por la regulación del río Santiago y sus afluentes en la cuenca, así como
- Diversificar las fuentes primarias de energía en el Sistema Eléctrico Nacional.