

A partir del diseño de la presa de El Cajón, en base al análisis de las deformaciones esperadas, se notó que la deformación del enrocamiento afectaba principalmente al tercio de aguas arriba de manera mucho más significativa (zona 3B) que los siguientes dos tercios de aguas abajo, por lo que se introdujo la zonificación en tres zonas, apareciendo una zona central T, que después sería conocida como zona muerta. Esto se ilustra en la figura 1.3 (op. Cit.)

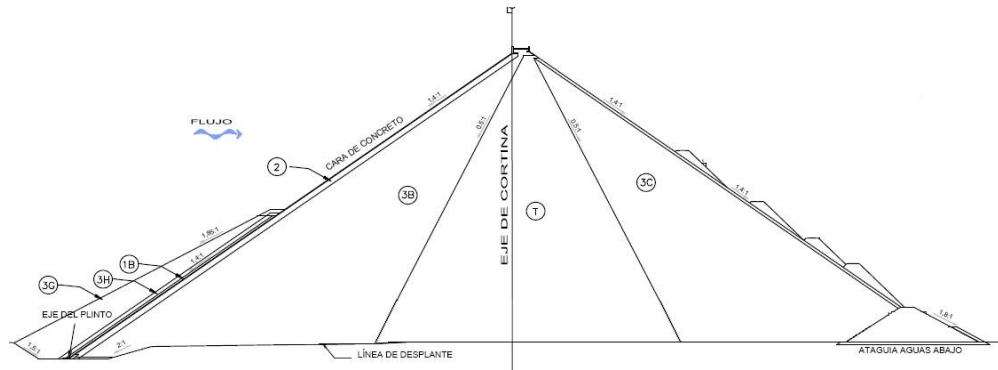


Figura 1.3 op. Cit. (Capítulo I, página 7) Sección máxima de la cortina ECC del P.H. La Yesca, en donde se muestra la zonificación actual de materiales.

Se ha observado en general que a menor tamaño de partícula del enrocamiento se obtiene una mejor compactación, lo que se traduce en pesos volumétricos mayores y en relaciones de vacíos menores. Esto mejora significativamente el comportamiento dinámico del enrocamiento frente a empujes laterales, dando una mayor estabilidad al enrocamiento.

La colocación de los materiales se realiza en capas, cuyo espesor va íntimamente ligada con el tamaño máximo de partícula de roca del material, es decir, el espesor de las capas colocadas es igual al tamaño máximo de partícula del material, es por eso que este tamaño es un dato sumamente importante para las especificaciones de construcción en la obra de contención.

En la construcción de El Cajón, se utilizaron tamaños máximos de rocas de 0.8 [m] en la zona de 3B, 1.0 [m] en la zona T y 1.4 [m] en la zona 3C, lo que dio buenos resultados, sin embargo debido al proceso de trituración de las rocas se presentaban sobre tamaños de roca mucho más frecuente de lo que se desearía encontrar. Lo que se traducía en cuantiosas pérdidas para el constructor para quitar los sobre tamaños de la cortina y cumplir con la especificación de Comisión Federal de Electricidad.

Fue por eso que para la construcción del P.H. La Yesca se propuso reducir esos tamaños máximos aún más, garantizando un proceso de trituración que hiciera cumplir las especificaciones. Se propuso adoptar un tamaño máximo de 0.6 [m] para la zona 3B, 0.8 [m] para la zona T y 1.0 [m] para la zona 3C.

Se espera que esta importante reducción del tamaño de las rocas que conforman la cortina de ECC del P.H. La Yesca mejoren notablemente el comportamiento de la presa ante el llenado del embalse en comparación a sus antecesoras: Aguamilpa y El Cajón.

Sección 3B construida con aluvi3n.

En la construcci3n del cuerpo principal de la cortina en los proyectos Aguamilpa y Caj3n se opto por utilizar la Ignimbrita, producto de las excavaciones de estructuras como el vertedor y obra de toma. Para el P.H. La Yesca se decidi3, para la zona del 3B el uso del aluvi3n en greña, producto de la explotaci3n de bancos de material a lo largo del cauce de los r3os Santiago y Bolaños. Esto debido a la facilidad de explotaci3n de los bancos, pero tambi3n en base a que la zona 3B de la cortina es la que recibe la mayor parte en las deformaciones debidas al empuje hidrostático. Al conformarse el material 3B por aluvi3n en greña, incluido un porcentaje importante de materiales mäs finos, que van desde arenas gravosas hasta arenas limosas; este material es mucho mäs susceptible a la compactaci3n. Adicional a esto la presencia de finos en el material otorgan una capacidad de contenci3n del agua en caso de presentarse filtraciones importantes por la cara de concreto. Por primera vez, en este tipo de proyectos se realiza la prueba de permeabilidad Matsuo Akai (véase anexo 2 Prueba de Permeabilidad Matsuo Akai) en el material 3B, en Aguamilpa y El Caj3n estäs pruebas no se realizaban, debido a que el material 3B estaba conformado por Ignimbrita, sin finos que pudieran retener el flujo de agua.



Figura 3.2 Excavaci3n de la prueba Matsuo Akai en el material 3B, el procedimiento de esta prueba esta detallado en el anexo 3.



Figura 3.3 Excavaci3n terminada de la prueba Matsuo Akai, puede apreciarse la presencia de finos entre las rocas de aluvi3n



Figura 3.4 Inicio de la saturación inicial en la prueba Matsuo Akai



Figura 3.5 Saturación de la prueba Matsuo Akai

Las secciones T y 3C aún están conformadas por Ignimbrita, estas dos partes representan un porcentaje muy importante del cuerpo de la presa en dónde se puede aprovechar el material excavado de estructuras como la obra de excedencias y la obra de generación, evitando al máximo la explotación de bancos de material para enrocamiento.



Figura 3.6 Vista de la cortina en dónde se puede apreciar la diferencia entre los materiales 3B y T en el P.H. La Yesca

Colocación del material 2 con esparcidora mecánica

El material 2 es un filtro de grava-arena que se obtiene procesando el aluvi6n extraído de los causes del Río Santiago y Bolaños. El aluvi6n es triturado en una planta diseñada para tal efecto. Para el P.H. La yesca se adopt6 reducir el material 2 hasta un tamaño m6ximo de agregado de una pulgada. El materiales clasificado como grava-arena limosa con índice pl6stico menor que 7% (medido en el material que pasa la malla No. 40) y contenido de finos entre 5 y 9 %, y con un porcentaje mayor al 35% de material que pase la malla No. 4. El material debe tener el contenido de humedad 6ptimo para alcanzar su m6xima compactaci6n.



Figura 3.7 Compactaci6n con rodillo liso vibratorio del Material 2 de la cortina de ECC del P.H. La Yesca. La Figura 3.6 muestra la posici6n de este material en la cortina.

El n6mero de pasadas del compactador, el contenido de agua 6ptimo y la relaci6n de vacíos m6xima (densidad seca m6nima) del material 2 son obtenidos en un terrapl6n de prueba, colocando capas de 40 cm de espesor m6ximo y compactando las capas con el rodillo especificado, dando 4, 6 y 8 pasadas y variando el contenido de agua. Para cada n6mero de pasadas se deber6n obtener al menos 5 puntos con diferente contenido de agua. Al graficar la relaci6n de vacíos vs. contenido de agua para cada n6mero de pasadas se deber6 obtener una rama ascendente y otra descendente, de manera similar a una prueba de compactaci6n de laboratorio. Se seleccionar6 como relaci6n de vacíos m6xima especificada la relaci6n de vacíos m6nima obtenida en estas pruebas m6s 10%, mientras que el contenido de agua 6ptimo ser6 el contenido de agua asociado a esta relaci6n de vacíos m6nima. Para garantizar que el material 2 llegue a la cortina con dicha humedad 6ptima se realizan maniobras de humectaci6n en los almacenes del material y se realizan monitoreos de la humedad antes de ser enviados los viajes a la cortina, considerando que el material perder6 alrededor de un punto porcentual de humedad en el camino a la cortina. Adicional a este proceso, es com6n aplicar un regado al material una vez tendido y antes de ser compactado, tal como se muestra en la figura 3.7.

Debido a su posici6n en la cortina, el material 2 actúa de manera cr6tica en la estabilidad de la presa, pues es la base que recibe la losa de concreto, es por lo tanto la primera parte de la estructura del cuerpo principal de presa que tomar6 las deformaciones al momento de aplicar el empuje en el llenado del embalse. Para minimizar las deformaciones, la compactaci6n de este

material debe seguir un proceso muy cuidadoso de control de calidad, para lo cual se realizan calas volumétricas para determinar peso volumétrico y relación de vacíos con una frecuencia de cada dos capas (véase anexo 1 Calas volumétricas)



Figura 3.8 Calas volumétricas en el material 2

Originalmente el material 2 en Aguamilpa, El Cajón y al inicio de la obra en el P.H. La Yesca; era colocado principalmente con motoconformadora, el proceso consiste en que los camiones articulados que transportan el material dejan sus cargas en montículos ligeramente separados. Un operador de motoconformadora esparce el material en el espesor especificado, guiándose por el ras del bordillo de concreto extruido. Una vez colocado en material es compactado con rodillos lisos vibratorios.



Figura 3.9 Motoconformadora colocando la primera capa de material 2 en el P.H. La Yesca

Al final de la construcción de la cortina del P.H. El Cajón, se introdujo el uso de una esparcidora mecánica sobre orugas. Idea que se retomó en el P.H. La Yesca con muy buenos resultados y una máquina mucho más eficiente. El proceso permite tiempos de colocación de material mucho mejores que con el uso de la motoconformadora, pues ésta se limita a la habilidad del operador, mientras que la esparcidora mantiene un ritmo fijo de colocación del material.

El proceso de colocación del material 2 va íntimamente ligado con la construcción del bordillo de concreto extruido. El proceso constructivo consiste en alinear la máquina extrusadora sobre los datos marcados por la cuadrilla de topografía, quienes tienen un seguimiento permanente del

alineamiento del equipo, para cumplir con el talud de proyecto y evitar espesores mayores a lo especificado en la etapa de construcción de la cara de concreto. La máquina extrusadora conforma la sección del bordo y se empuja hacia una nueva sección, apoyándose en la recién terminada. Transcurrida una hora después de la colocación del bordillo, se procede a la colocación del material 2 que consiste en enrasar el material hasta el nivel superior del bordo, sin embargo, dado el procedimiento de colocación por medio del pavimentador sobre orugas este tiempo de espera se puede acortar e iniciar en forma anticipada, posterior a la colocación se ejecuta la compactación dando el número de pasadas que se hayan determinado en el terraplén de pruebas. En forma cíclica una vez concluido el proceso de compactación de la capa, se coloca el bordillo superior, la secuencia es permanente hasta alcanzar la elevación 576 msnm. El proceso está ilustrado en las figuras 3.11 y 3.12



Figura 3.10 Proceso de colocación del bordillo del concreto extruido, primer paso en la colocación de una capa del material



Figura 3.11 Esparcidora Finisher, utilizada en la colocación del material 2 con excelentes resultados en el P.H. La Yesca



Figura 3.12 Equipo de compactación, rodillo RLV de 14 KN de peso estático en el tambor.

En la fotografía se puede apreciar la olla revolvedora de concreto del siguiente bordillo a colocarse.

Introducción del material 3B cribado como respaldo del material 2

El proceso original del tendido del material 2 va ligado al avance del material 3B, pues cada capa del material 2 se apoya directamente en el material 3B como se muestra a continuación en la figura 3.13

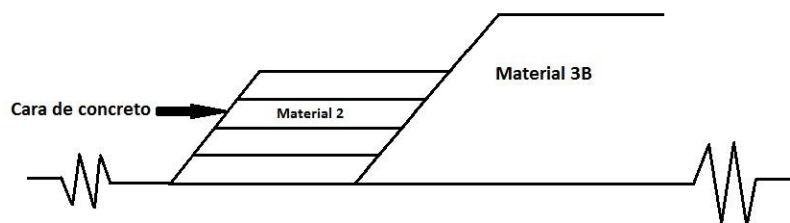


Figura 3.13 Imagen que ilustra la manera en que el material 2 se recarga sobre el material 3B.

El proceso original de colocación de estos dos materiales consiste en tender capas del material 3B con un tractor sobre orugas D8R, de tal forma que se genere una elevación del material 3B con respecto a la última capa colocada del material 2. De manera muy similar a como se ilustra en la figura 3.13. Esto se realiza con el apoyo del equipo de topografía que indican el talud de proyecto, en este caso es de 1.4:1, cada capa de 60 cm es compactada con 6 pasadas de rodillo liso vibratorio de 119 KN de peso estático en el tambor. El proceso se repite unas 3 o 4 capas de material 3B, lo que representan de 1.8 a 2.4 [m] de sobre elevación, este escalón es conocido como respaldo del material 2, una vez colocadas las capas de material 3B, el talud es afinado con

retroexcavadoras sobre orugas, una vez terminado, las mismas retroexcavadoras son usadas para construir dos rampas de acceso al material 2 para la entrada y salida del esparcidor sobre orugas que coloca el material, los camiones articulados que transportan el material, la olla de concreto extruido y la placa compactadora que sirve para compactar el material 2F . Cabe destacar que la colocación de capas de material 2 se detiene mientras dura el proceso de colocación de respaldo.



Figura 3.14 Retroexcavadora afinando el talud del respaldo de material 3B para el material 2 en el P.H. La Yesca.

Una innovación en el proceso de tendido del respaldo del material 3B en el P.H. La yesca consiste en la introducción de un nuevo material. Es conocido como material 3B cribado de 8 pulgadas a finos. El proceso consiste en extender la plataforma de material 3B longitudinalmente tanto como sé es posible para tener más espacio en las maniobras. Se tiende una capa del material 2, cuyo proceso ya se ha descrito: Inicia el proceso con la construcción del bordillo de concreto extruido, se transportan a la cortina dos medios viajes de articulados cargados de material 2F para la zona más cercana al plinto en ambas márgenes. Se enrasa con herramientas manuales y permite arrancar la capa del material 2. Una vez tendida la capa del material 2 con la esparcidora sobre orugas, se compacta el material con rodillos lisos vibratorios y el material 2F en la zona cercana al plinto en las márgenes es compactado con una placa montada en una retroexcavadora sobre orugas.

El material 3B cribado de 8 pulgadas a finos es colocado en forma paralela al material 2 en capas de igual grosor. El proceso de tendido es idéntico al que se utilizaba para el material 2 con la motoconformadora.



Figura 3.15 Material 3B cribado colocado en montículos (izquierda) y motoconformadora esparciendo el material (derecha).

Los camiones articulados dejan el material 3B cribado en montículos cercanos que son esparcidos con motoconformadora y después compactados con 6 pasadas del rodillo liso vibratorio, de igual forma a como se compacta el material 3B. Se han hecho pruebas de laboratorio para comprobar que la granulometría del material 3B cribado se encuentre dentro de los límites marcados por la especificación y calas volumétricas para verificar que el peso volumétrico húmedo y la relación de vacíos se cumplan con los valores establecidos para el material 3B.

Este nuevo proceso permite eliminar el tiempo perdido en la colocación y afinación del respaldo. Debido a que el espacio entre laderas se va ensanchando a medida que se gana altura, las capas del material 2 son cada vez más largas, de igual forma las capas para tender respaldo convencional del material 3B, de tal forma que con el proceso convencional de construcción del respaldo se perdían de 3 a 4 días en el avance en la colocación del material 2. La introducción del material 3B cribado permite seguir colocando ininterrumpidamente material 2, al tiempo de que se crea un espacio más abierto para las maniobras (con el respaldo convencional había la necesidad de abrir rampas de acceso y el espacio de maniobras se limitaba a los 6 [m] de ancho de capa del material 2).



Figura 3.16 Material 3B cribado colocado, antes de ser compactado.

En la fotografía puede apreciarse el espacio abierto que facilita enormemente las maniobras de colocación del material 2. Al fondo de la imagen se aprecian los articulados formados esperando su turno de descargar el material 2 en la esparcidora sobre orugas.

Utilización de bandas transportadoras y camiones volteo para el acarreo del material 3B de la zona de almacenaje a la cortina.

Desde el diseño y la planeación del P.H. El Cajón se propuso el uso de bandas transportadoras conjugadas con camiones volteos de alta capacidad para el acarreo de materiales para la construcción de la cortina de enrocamiento con cara de concreto. Sin embargo la idea no fue concretada sino hasta la construcción del P.H. La Yesca.

El transporte de material mediante cintas transportadoras, data de aproximadamente el año 1795. La mayoría de éstas tempranas instalaciones se realizaban sobre terrenos relativamente planos, así como en cortas distancias.

El primer sistema de cinta transportadora era muy primitivo y consistía en cuero, lana o una cinta de goma viajando sobre una cama de madera plana. Éste tipo de sistema no fue calificado como exitoso, pero provocó incentivar a los ingenieros para considerar los transportadores como un rápido, económico y seguro método para mover grandes volúmenes de material de una locación a otra.

Durante los años 20's, la instalación de la compañía H. C. Frick, demuestra que los transportadores de cinta pueden trabajar sin ningún problema en largas distancias. Ésta instalación se realizó bajo tierra, desde una mina recorriendo casi 8 kilómetros. La cinta transportadora consistía de múltiples pliegues de algodón de pato con cubierta de goma natural, que eran los únicos materiales utilizados en esos tiempos para su fabricación.

Durante la Segunda Guerra Mundial, los componentes naturales de los transportadores se volvieron muy escasos, permitiendo que la industria de goma se volcara a crear materiales sintéticos que reemplazaran a los naturales. La ventaja básica de los transportadores de cinta sobre otros tipos de transporte (como lo son camiones, trenes, transporte aéreo, etc.) es su variada aplicabilidad a los diferentes requerimientos de la industria. Diferentes estudios indican que hoy, los transportadores de cinta se han convertido en el primer método utilizado para el transporte de material.

Las cintas transportadoras no tienen competencia en cuanto a la capacidad de transporte. A una velocidad de 5 m/s y un ancho de cinta de 1600 mm, la cinta puede descargar más de 100 toneladas de material por minuto.

Para el P. H. La Yesca, se ha planificado una red de caminos de construcción que permiten el transporte de los materiales en volteos pesados fuera de carretera y/o de carretera, desde las diferentes fuentes de suministro como son las excavaciones de las estructuras ubicadas en ambos márgenes o desde los bancos de almacenamiento. Adicional a esto se ha implementado un

sistema de transporte mediante bandas estáticas (ilustrado en el plano de la figura 3.17) que permiten disminuir la distancia y los tiempos de transporte en volteos, mejorando enormemente la eficiencia de la colocación de material en el cuerpo de la cortina. Lo que se traduce en ahorros económicos importantes en la construcción de la obra de contención.

Para el transporte del material 3B proveniente de los bancos ubicados aguas arriba de la cortina, se tiene planificado que el acarreo se realice con volteos pesados fuera de carretera de 50'ton de capacidad, que lo transportan desde la zona de extracción hasta la zona del banco BD-1MD, en donde se descarga sobre una tolva de recepción en la que se separa por medio de un Alimentador Vibratorio Grizzly 1,68 x 9,14 m (66" x 30") la parte de la granulometría que no es necesaria reducirla de tamaño, esta porción de material cae directamente sobre una banda de 1,52 x 30,48 m (60" x 100") Y los tamaños mayores pasan a las muelas de la trituradora primaria 96,5 x 147,3 cm (38"x 58"), en donde son reducidos a tamaños aceptables para su colocación en la cortina, este material se descarga sobre la misma banda en la salida de las muelas del primario y ambos productos son llevados a la zona de recepción o al almacén por medio de un transportador de banda de 1,22 x 24,38 m (48" x 80") con movimiento hacia arriba o abajo y en forma lateral, el cual descarga en una tolva con capacidad de 200 toneladas, desde la cual por medio de compuertas tipo almeja accionadas hidráulicamente, se descarga sobre camiones para llevar el material a la zona de almacenamiento y para su envío a la cortina se hace a través del sistema de banda transportadora de 122 cm (48"). Cuando en forma visual se determine por parte del personal del Contratista, que el material aluvial no requiere ser procesado debido a que la granulometría en forma natural cumple con los requerimientos de la cortina, se informará para el envío directo sin pasar por el equipo de trituración a las zonas de almacenamiento o la cortina. Así como cuando se presente una incidencia mecánica con la banda transportadora se enviará el material en los volteos pesados de 50 T de capacidad de carga o similar hasta la zona de colocación en la cortina.

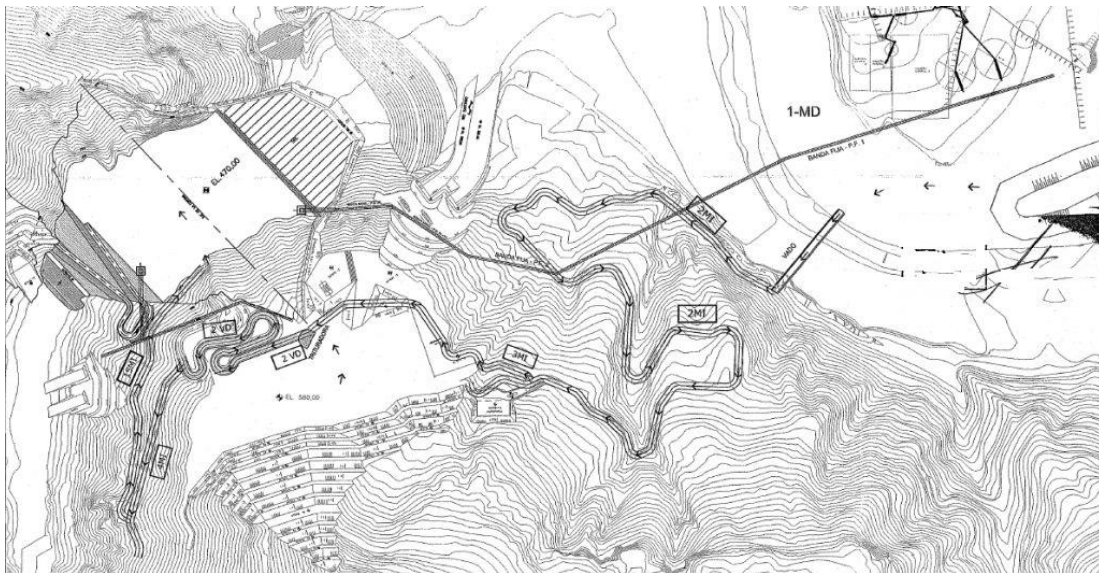


Figura 3.17 Plano en el que se muestra la ubicación de la banda transportadora de margen derecha desde la zona de almacenamiento del material 3B hasta la cortina

Las excavaciones de las estructuras son la principal fuente de suministro para los enrocamientos, para ello se dispondrá de personal del área de calidad que selecciona el material que se destinara a la cortina conjuntamente con el personal que asigne la Comisión. Este material aprobado se envía a un equipo primario 118 x 122 cm (44" x 48") por el que se procesa el material de enrocamiento, obteniendo un solo material con tamaños máximos de 50 cm. Esta acción permite que el material producto de la trituración cumpla con los requisitos granulométricos para las zonas de T y 3C principalmente, agilizando la colocación en la cortina por tratarse de un solo material. Ya procesado el material para los enrocados, se incorpora al sistema de banda transportadora instalado a cielo abierto en la margen izquierda para el acarreo de los materiales de la zona de excavación hacia la cortina en donde se recibe el material en una tolva con capacidad de 1000 toneladas que descarga sobre los volteos pesados que acarrean el material al sitio de colocación. En el caso de que se presente alguna incidencia mecánica en el sistema de banda, el material se enviará a la cortina en los volteos pesados de 50 toneladas de capacidad de carga. La obtención del material 4 será producto de las voladuras y de los bloques de roca mayores a un metro que no pueden ser recibidos en el triturador. La siguiente figura muestra un esquema del equipo de trituración utilizado en la construcción de la obra de contención del P.H. La Yesca.

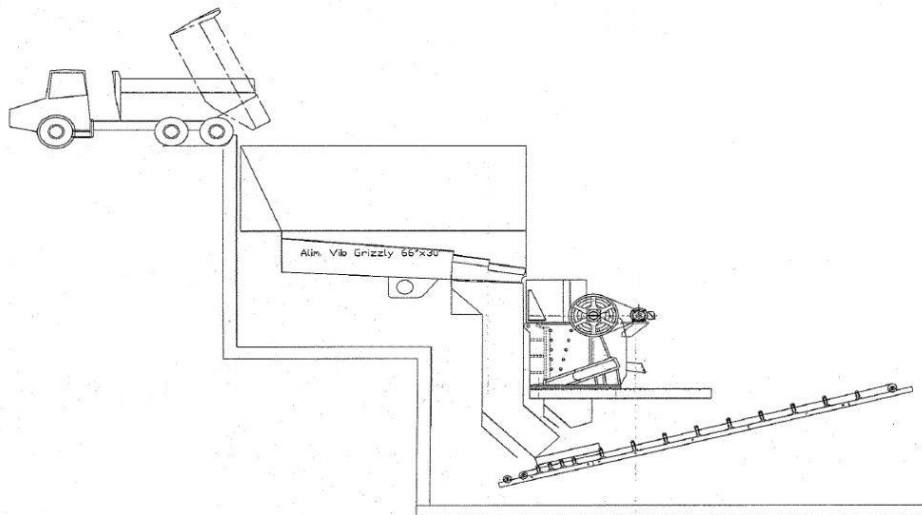


Figura 3.18 Equipo de trituración utilizado en el procesamiento del aluvi6n y del enrocamiento en el P.H. La Yesca

III.2 Cambio en los sistemas de sellos

La extensi6n de la cara de concreto aguas arriba de la cortina es demasiado amplia y si se realizara monol6ticamente tendr3a diversos problemas, tanto por las caracter3sticas mismas del concreto como por los movimientos que sufrir3 por la deformaci6n del cuerpo de la cortina lo que implica un riesgo por el agua que se filtrar3a a trav3s de las cuarteaduras de la losa, por lo que es necesaria realizarla en secciones y unir las mediante juntas. Estas deben tener un dise1o que evite que el agua se infiltre en las uniones de las secciones considerando que las losas tendr3n movimientos debido al asentamiento del cuerpo de la cortina, por lo que las juntas podr3n ser de compresi6n en el centro y de tensi6n en los extremos de la cara de concreto.

En la década de los 70's con la construcción de la presa de Foz do Areia surgió una nueva forma de realizar los sellos mediante el concepto de doble defensa que consiste en un sello de cobre en la parte inferior y un sello superior cubierto con arena limosa.

Este mismo concepto fue adoptado en Aguamilpa pero con varias mejoras con lo que se conformó un sistema de triple sellado colocado en las juntas perimetrales y de tensión. Para ese tiempo eran muy pocos los estudios de comportamiento que se tenían de este nuevo sistema de sello, por lo que para la construcción de la presa más alta del mundo en su tiempo se realizaron diversas pruebas para comprobar su desempeño. Para los sellos de PVC y de cobre se idearon equipos capaces de reproducir los movimientos registrados hasta ese momento en la Presa de Foz do Areia con el fin de recrear las condiciones a las que serán sometidos los materiales en una obra similar. Los estudios consistieron en realizar pruebas con diferentes espesores de los materiales para poder conocer cuáles serían sus deformaciones y hasta qué punto podrían resistir los movimientos esperados en la losa, así como a las presiones a las que serán sometidos en el embalse. Por otro lado también se probó con diferentes materiales granulares para poder determinar cuál era el más apto para funcionar como un sello impermeable. Se revisaron materiales como arena limosa fina y ceniza volante con diferentes materiales como filtros, colocándolos a diferentes presiones con lo que se pudo obtener los coeficientes de permeabilidad y su cohesión.

De los resultados en las pruebas realizadas por Comisión Federal de Electricidad se encontró que el sello de cobre de 1 mm de espesor y el de 12 mm de espesor para el sello de PVC fueron los materiales aptos para su colocación en las juntas de la presa de Aguamilpa como consecuencia de su resistencia y deformabilidad para absorber los movimientos más grandes esperados. Por su parte la ceniza volante puede reducir de forma considerable las filtraciones que puedan existir en la junta en caso de que exista una ruptura de los sellos de cobre o de PVC, es por ello que se decidió utilizarse en lugar del mastique que había sido utilizado en la construcción de presas en los pasados 15 años.

El sistema de triple sellado consta de un sello de cobre inferior apoyado sobre una banda de PVC, el sello de PVC ubicado en el centro del espesor de la losa de concreto y el contenedor de ceniza volante perforado que sustituyó el tradicional mastique que se colocaba en otras presas.

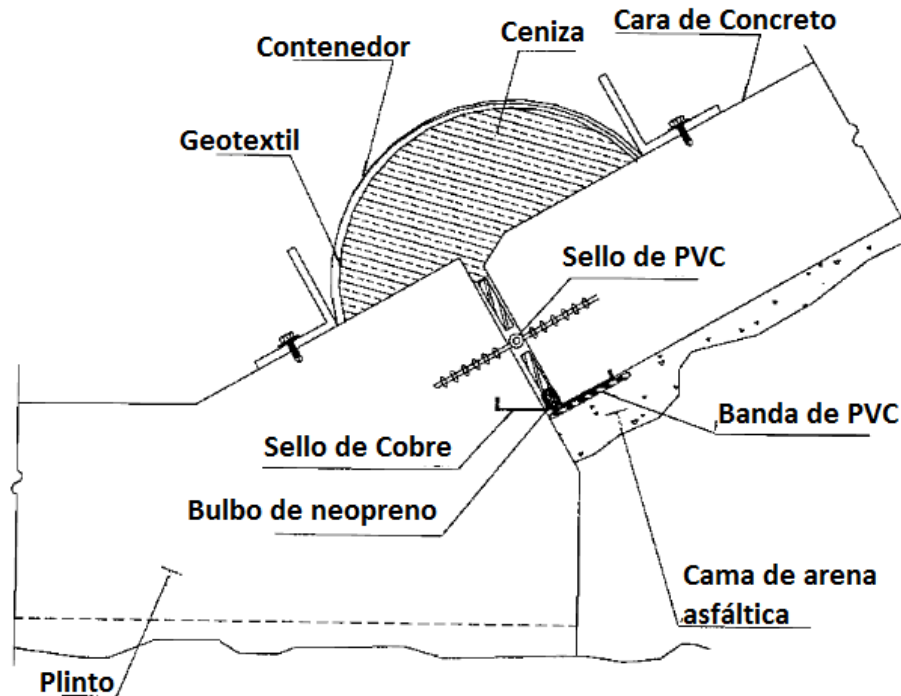


Figura 3.19 Junta Perimetral de la C.H. Aguamilpa

Para la C.H. El Cajón se tomó como base el modelo planteado para Aguamilpa y se le hicieron pequeñas adecuaciones en la junta de tensión y perimetral. Para la junta en este proyecto se dejó intacta la parte inferior, dejando la cama de arena asfáltica, la banda de PVC y en el sello de cobre inferior se tuvo la modificación del tamaño del bulbo cuya función es la de absorber el movimiento, siendo capaz de absorber desplazamientos entre las losas de hasta 11 cm. También se realizó la modificación de perforar los aleros del sello para mejorar la adherencia para que al estar sometido el sello de cobre a tensión no se desprenda del concreto fácilmente.

La parte que sufrió los cambios más significativos fue la sección intermedia en donde se dejó de usar el sello de PVC para cambiarlo por otro sello de cobre, siendo la razón fundamental para este cambio los problemas en la colocación del concreto en la parte inferior, ya que no se podía evitar que en ciertas partes inferiores existieran huecos de diferentes dimensiones por problemas de vibrado y por la posición incómoda del sello entre plinto – losa y losa – losa. El nuevo sello de cobre se ubicó en la parte superior de la losa de concreto con las mismas características del sello inferior a excepción de los aleros, lo cual significa que la colocación del segundo sello de cobre en la parte superior de las losas simplifica su instalación, realizándose después del colado y no requiriéndose ninguna protección especial durante esa etapa de la construcción. El sello de cobre fue fijado mediante un material adherente y por anclajes dejando preparaciones de barrenos en los patines desde su formación. Para el caso de la junta perimetral y la de compresión se dejó el espacio para colocar madera entre ambos sellos de cobre con la finalidad de que absorba los movimientos que presentan entre las losas y evitar así el contacto de las losas.

Por último el contenedor de ceniza tuvo la modificación de poseer un doble contenedor de lámina perforada cuyo objetivo sería el de confinar el geotextil que atrapa la ceniza y deja pasar el agua sin ninguna dificultad. Esto fue debido a que en el funcionamiento del contenedor en zonas visibles en Aguamilpa se pudo observar que hubo desprendimiento del geotextil de la lámina del contenedor, ocasionando obstrucción al paso de la ceniza y también por el cambio de espesor que tiene el geotextil al entrar en contacto con el agua, lo que se evita cuando está confinado. El desprendimiento fue a causa de la falla del pegamento de contacto que se utilizó para adherir el geotextil a la lámina del contenedor, migración de ceniza por el contenedor para tapar una posible apertura de junta dejando expuesto el geotextil que se expande con la humedad y ocasiona deformaciones y ondulaciones en el interior del contenedor que bien pueden obstruir el paso de ceniza de recarga.

La modificación en las juntas de tensión, compresión y perimetral quedó de la siguiente forma:

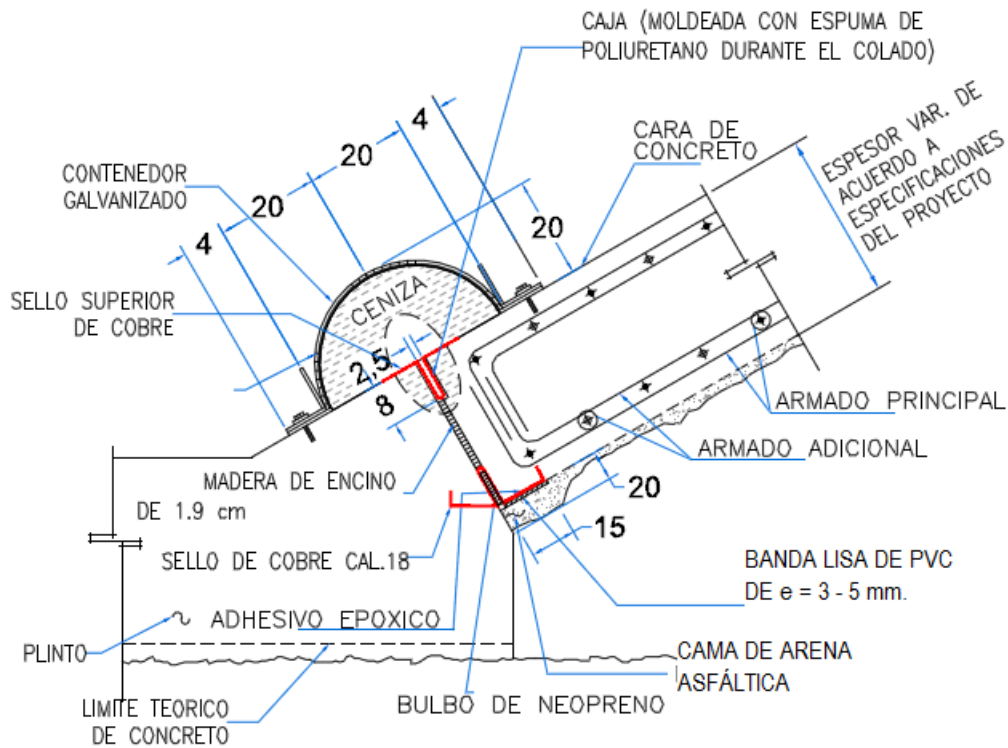


Figura 2.24 op. Cit. (Capítulo II, página 55) Junta perimetral de la C.H. El Cajón.

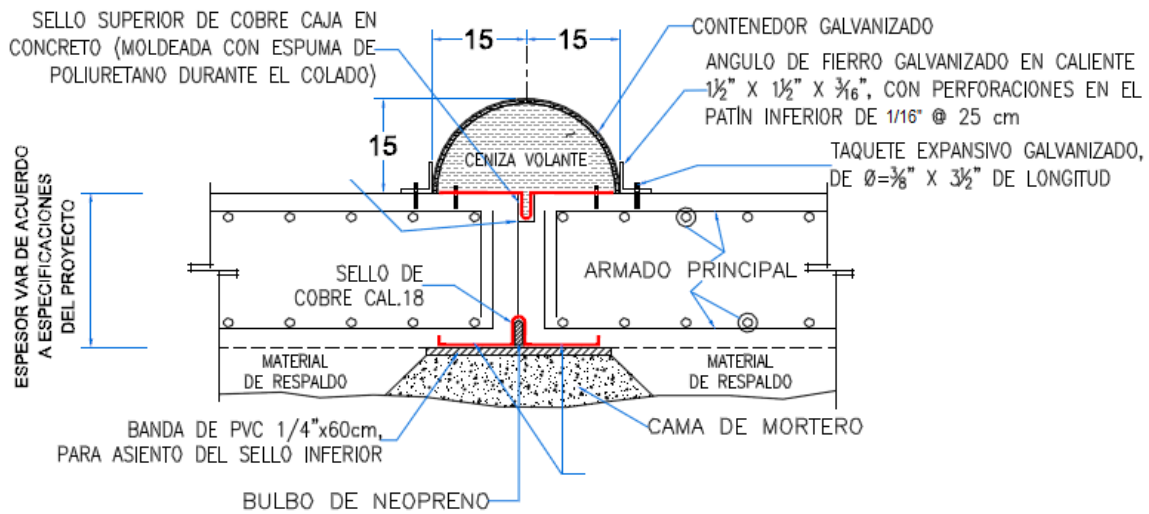


Figura 2.26 op. Cit. (Capítulo II, página 56) Junta de tensión de la C.H. El Cajón.

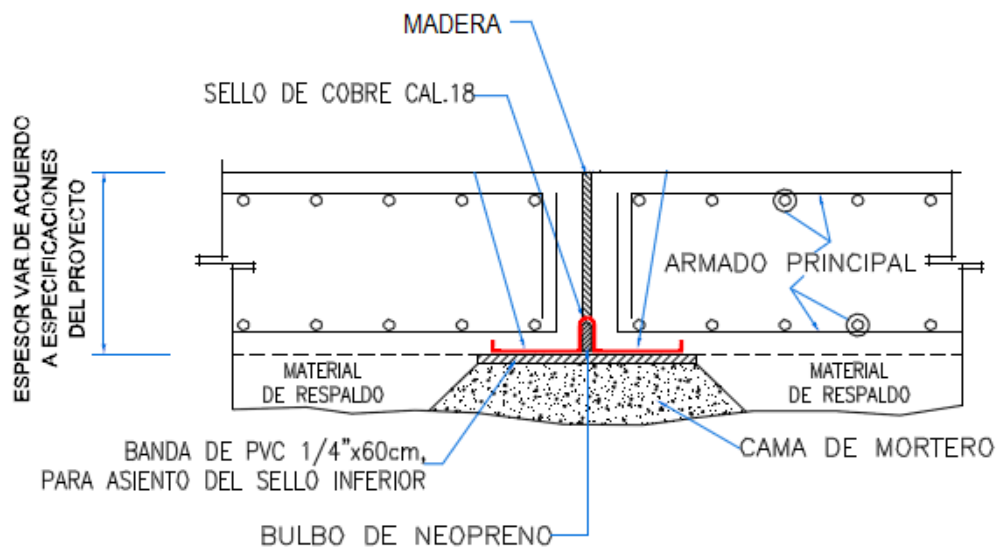


Figura 3.20 Junta de compresión de la C.H. El Cajón.

También existen juntas verticales de compresión en el que se suprime el uso de la madera, pero únicamente se realiza en 8 juntas verticales localizadas en el centro de la cortina.

En el P.H. La Yesca se usó el mismo sistema de juntas con muy pocas modificaciones y en algunos casos son casi imperceptibles. En las juntas de tensión y perimetrales las variaciones van desde cambios en los elementos de empotramiento del contenedor de ceniza, como el uso de un buje tipo T, se quitó la doble capa de banda adherente y se disminuyó el calibre del contenedor interior de ceniza de 24 a 20. En las juntas de compresión se cambió la madera de encino por hule EPDM dureza 60 – 65 Shore A de 1.9 cm de espesor, como se muestra en la figura 3.22

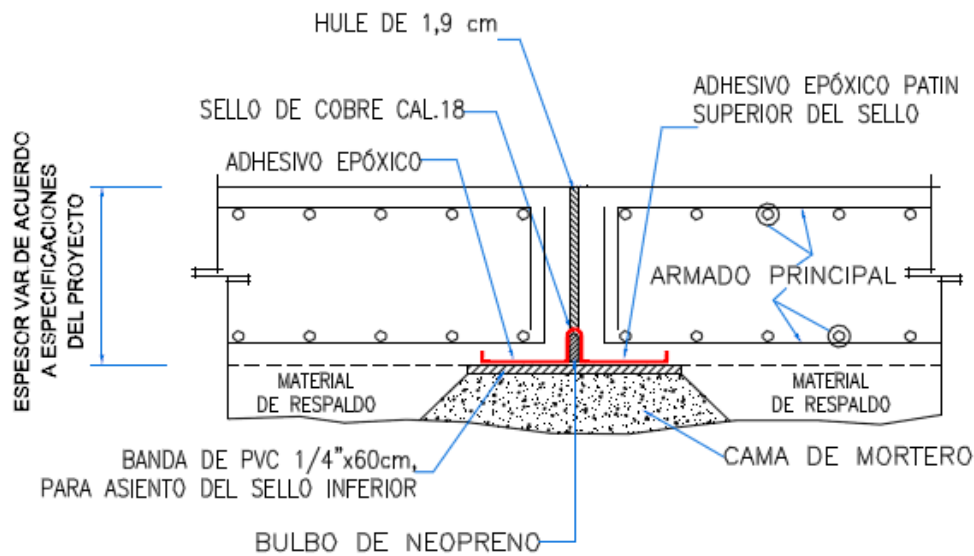


Figura 2.27 op. Cit. (Capítulo II, página 57) Junta de compresión del P.H. La Yesca.

El motivo que orilló al cambio de material en la junta de compresión es que se observó que la madera prácticamente no absorbe esfuerzos, si no que los transmite haciendo rígida a la junta. Por esta razón se han dado casos en Brasil en donde se han presentado problemas de penetración o cierre entre losas en la zona de compresión que causaron daños en la cara de concreto, por lo que la práctica actual es usar hule en lugar de madera buscando obtener mayor capacidad de absorción de movimientos de cierre o penetración de las losas.

De los estudios realizados por la Gerencia de estudios de Ingeniería Civil (GEIC) de la Comisión Federal de Electricidad se encontró que el hule EPDM dureza 60/65 es el material adecuado para utilizar en este proyecto porque tiene la capacidad de absorber las deformaciones a las que fue sometida en el modelo, aceptando como límite, esfuerzos cuatro veces mayores a los que fue sometido en el estudio. La separación entre las juntas de compresión estará regida por el espesor del hule, que en este caso será de 19 mm, dimensión que representa la máxima amplitud de movimientos de cierre antes de que las losas tengan contacto entre sí. En el estudio se observó que para el esfuerzo máximo definido en el modelado se tuvo una deformación de 5 mm, que representa el 26% del espesor del hule y para un esfuerzo 30% mayor se obtuvo una deformación de 6.5 mm.

Con el hule EPDM dureza 60/65 se favorece el movimiento de las juntas y evitan el contacto entre estas, teniendo además la propiedad de recuperar su forma original después de haber sido expuesto a las cargas, lo que es indicativo de la elasticidad del material que es requerido para este proyecto.

III.3 Cambio en el eje de la cortina

El proyecto Hidroeléctrico La Yesca se encuentra en una zona donde las condiciones no resultaron ser las adecuadas debido a que durante el proceso de construcción se descubrió que existen diversas fallas que podían poner en riesgo la seguridad de la obra. En ambos márgenes se hallaron fallas geológicas, siendo la de la margen izquierda la más importante por los diversos retos que impuso para la construcción de las obras de desvío, cortina y vertedor. Esta falla se le denominó Falla Colapso.

En la margen izquierda tuvo que ser modificada la obra de desvío a consecuencia de la mala calidad de la roca encontrada a lo largo de las tareas realizadas de excavación, así como que la falla colapso, compuesta por una capa extremadamente delgada de arcilla, cruza uno de los túneles afectando el revestimiento, por lo que se tomó la decisión de incrementar el espesor del recubrimiento de concreto en esta zona. La falla además generó que sobre de ella existiera una sección de suelo inestable de más de un millón y medio de metros cúbicos por lo que fue necesario la construcción de un monolito de concreto en el portal de entrada, prolongando los túneles de desvío en la sección de aguas arriba con la finalidad de darle estabilidad a la masa de roca que se encuentra por encima, además se realizó un descopete en la parte superior de la ladera para quitarle peso y detener el movimiento de la masa inestable del cerro.



Figura 3.21 Monolito y túnel falso en el portal de entrada de los túneles de desvío.

En el proyecto original se tenía contemplado que la ataguía aguas arriba se encontrara incorporada al cuerpo de la cortina, pero como consecuencia de los trabajos realizados para el manejo de la falla se tuvo que separar, lo que derivó en una ataguía de 36 m de altura, siendo mayor que la ataguía originalmente concebida como medida de seguridad y para mantener la capacidad de operación de los túneles.

En marzo del 2009 se desvió por completo el río, actualmente se encuentra operando satisfactoriamente como se puede observar en la figura .



Figura 3.22 Portal de entrada de desvío y ataguía aguas arriba.

En el caso de la obra de contención se tuvo el problema que la cimentación del plinto de la margen izquierda coincidía parcialmente con la falla, por lo cual se hicieron varios estudios y la recomendación que se realizó fue la de girar el eje de la cortina 14° hacia aguas abajo y con esto el desplante del plinto se realizaría en terreno firme, como se observa en la figura 3.25.

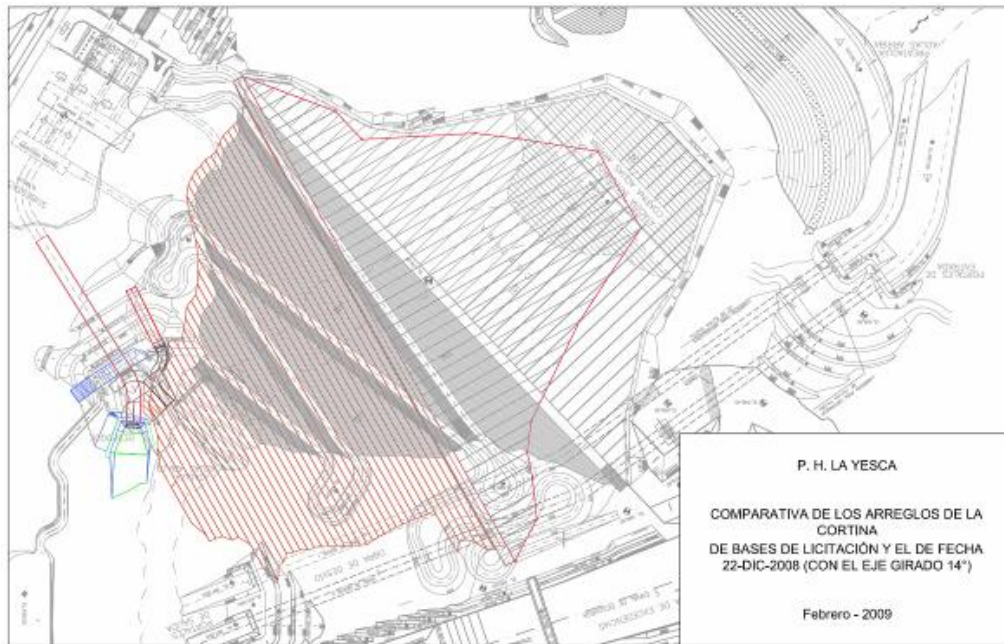


Figura 3.23 Reubicación del eje de la cortina.

En lo que respecta a las obras de generación, ubicadas en la otra margen, también se presentaron problemas a consecuencia de fallas geológicas y roca de mala calidad. Fue necesario modificar el proyecto original en el caso del túnel de desfogue y el túnel de acceso a casa de máquinas, proporcionando mayor seguridad en la estabilidad en el inicio de las excavaciones. Para el caso del túnel de desfogue se construyó un túnel ventana que permitió hacer la excavación subterránea en tanto se definía el proyecto y se daban las condiciones para establecer el portal definitivo. Dentro de la casa de máquinas se tuvo que modificar la ubicación de la playa de montaje debido a una confluencia de fallas geológicas, por lo que se movió al tímpano opuesto.

En la obra de toma se recorrió 10 m el talud frontal hacia el interior del macizo, a consecuencia de la mala calidad de la roca en la excavación a cielo abierto. En el área de subestación se encontró con el mismo problema de la calidad de la roca aunado con la presencia de fallas geológicas lo que provocó que se modificara el proyecto con abatimientos y crecimientos de los taludes y bermas.

La zona del vertedor presentó problemas con la geología, lo que originó que se modificara el proyecto original, incluyendo la cantidad de material que se iba aprovechar para su colocación en el enrocamiento de la cortina. Las pruebas de control de calidad indicaron que el material que se excavaría en esa zona es de mala calidad, siendo un bajo porcentaje el material aprovechable, por lo que se tuvo que recurrir a otros bancos de material para su explotación.