



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL  
PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJÓN, EN EL ESTADO DE  
NAYARIT”.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A:

**SALVADOR HERNÁNDEZ MONDRAGÓN**

DIRECTOR DE TESIS:  
ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO.

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/078/05

Señor  
SALVADOR HERNÁNDEZ MONDRAGÓN  
Presente

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

**"PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO EL CAJÓN, EN EL ESTADO DE NAYARIT."**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. ANTECEDENTES
- III. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL P.H. EL CAJÓN"
- IV. DESCRIPCIÓN DE LA CORTINA DE ENROCAMIENTO
- V. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA
- VI. CONCLUSIONES

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 29 Junio 2005.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc.

***AGRADECIMIENTOS .***

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Por el conocimiento técnico y humano brindado.

A mis padres, Lucía Mondragón Colín y Salvador Hernández García. Por su amor, confianza, apoyo, entrega y buen ejemplo.

A Violeta P. Neumann Castillo, la mujer de mi vida.

A mis hermanos, Orlando y María Elena, por su amistad y apoyo incondicional.

Al Ing. Carlos M. Chavarri Maldonado, por la oportunidad y confianza que me brindo para realizar este trabajo, además de sus enseñanzas dentro y fuera de las aulas de la Facultad.

A toda mi familia por el apoyo brindado en cada momento.

A mis amigos: Hugo, Kory, Miguel Mateos, Miguel Amaya, Javier, Simón, Erika, Roberto, Edgar, Jesús Nava y Jesús Roldan.

A Fundación ICA por impulsar el desarrollo profesional de los futuros Ingenieros del País.

A los Ingenieros: Rodolfo Rosas, Arturo Ortega, Martín Ojeda, Raúl Torres y Aarón Díaz. Por las enseñanzas y consejos brindados a lo largo de mi estancia en el P.H. El Cajón.

***“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU”.***

***Salvador Hernández Mondragón.***

"El trabajo nos libera de tres grandes  
males:  
el aburrimiento, el vicio y la pobreza."  
*Voltaire*

"Ser radical es coger las cosas por la  
raíz,  
y la raíz del hombre es el hombre mismo"  
*Karl Marx*

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL  
CAJON**

---

***INDICE.***

<b>INTRODUCCION</b> .....	6
<b>ANTECEDENTES</b> .....	11
<b>CAPITULO I. “DESCRIPCION GENERAL DEL P.H. EL CAJON”.</b>	
I.1. GENERALIDADES.	
I.1.1. SISTEMA HIDROLOGICO SANTIAGO.....	16
I.1.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA.....	17
I.1.3. CLIMA.....	18
I.1.4. GEOLOGIA.....	18
I.1.5. OBJETIVOS DEL PROYECTO EN MATERIA ENERGETICA.....	21
I.1.6. IMPACTO AMBIENTAL.....	22
I.1.7. IMPACTO SOCIAL.....	23
I.2. ESQUEMA GENERAL DEL PROYECTO.	
I.2.1. CAMINOS DE ACCESO.....	24
I.2.2. OBRAS DE DESVIO.....	27
I.2.3. OBRAS DE CONTENCION.....	33
I.2.4. OBRAS DE GENERACION.....	34
I.2.5. OBRAS DE EXCEDENCIAS.....	38
<b>CAPITULO II. “DESCRIPCION DE LA CORTINA DE ENROCAMIENTO”.</b>	
II.1. CARACTERISTICAS GENERALES PARA LA PRESA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO.....	42
II.2. DISEÑO GEOTECNICO DE LA CORTINA.....	46
II.3. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES PARA LA CORTINA. ....	57
II.4. PLINTO.....	63
<b>CAPITULO III. “PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA”.</b>	
III.1. DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO.....	68
III.2. ORIGEN, EXPLOTACION Y TRANSPORTE DE LOS MATERIALES.....	70
III.3. ETAPAS DE CONSTRUCCION.....	82
III.4. COLOCACION DE MATERIALES EN CORTINA	
III.4.1. PREPARACION DE LA CIMENTACION.....	86
III.4.2. COLOCACION.....	87
III.4.3. COMPACTACION.....	97
III.4.4. BORDO DE CONCRETO EXTRUIDO.....	99
III.5. CARA DE CONCRETO DE LA CORTINA.....	100
III.6. MUESTREO Y PRUEBAS DE LOS MATERIALES PARA LA CORTINA.....	105
<b>CONCLUSIONES</b> .....	114
<b>ANEXOS</b> .....	118
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	119

## ***INTRODUCCION.***

Las grandes obras de infraestructura son el andamiaje permanente que ha permitido al País progresar y desarrollarse. Para su realización, por un lado es indispensable concebirlas con creatividad y por otro planearlas detalladamente. En su planeación y en su construcción, deben tomarse en cuenta tanto aspectos propios de la Ingeniería Civil y electromecánica, como económicos, sociales y ambientales.

El desarrollo de la infraestructura hidráulica nacional fue vigorosamente impulsado por el Gobierno de México a partir de la Revolución; para entonces ya habían sido construidas en nuestro país varias obras hidráulicas de importancia como la Hidroeléctrica Batopilas en 1889 que es la primer central hidroeléctrica del País. También resalta la Presa Necaxa, en el estado de Puebla, terminada en 1909, para suministro de electricidad para la Ciudad de México, y la presa La Boquilla sobre el río Conchos en Chihuahua que empezó a operar en 1916 para generación de electricidad y para riego.

En 1926 fue creada la Comisión Nacional de Irrigación, por el Presidente Plutarco Elías Calles, que en ese mismo año inició la construcción de la presa de arco Presidente Calles en Aguascalientes, terminada cinco años más tarde, y de la Venustiano Carranza (Don Martín) en Coahuila; ésta última con una característica novedosa: el vertedor de demasías fue equipado con 24 compuertas de funcionamiento automático. Dos años más tarde, en 1928, se inició la presa Abelardo L. Rodríguez, inmediata a Tijuana, Baja California, cuya construcción fue realizada frente a dificultades geológicas importantes, que la hicieron famosa fuera de nuestro país.

Las últimas tres presas mencionadas, fueron construidas por empresas norteamericanas, y en ellas participaron pequeños grupos de entusiastas jóvenes ingenieros mexicanos, ávidos de aprender. La rápida capacitación de estos grupos resultó fundamental para el desarrollo de la ingeniería hidráulica en nuestro país; la experiencia obtenida permitió el inicio de otras, en las que ya no fue necesaria la intervención de empresas extranjeras. Estas ya fueron realizadas directamente por la Comisión Nacional de Irrigación, que además tuvo la fortuna de contar con la colaboración de varios ingenieros norteamericanos, quienes habían dirigido o participado en la construcción de las presas referidas. Decidieron permanecer en México para continuar su labor, esta vez en el papel de asesores. Lo cual fue crucial para el inicio de una época de actividad creciente, cuyos frutos de enorme beneficio para el país, hicieron posible que, 30 años más tarde, pudiéramos a nuestra vez realizar contribuciones de interés a este campo, allende las fronteras.

En 1937 es creada la Comisión Federal de Electricidad, CFE, por el Presidente Lázaro Cárdenas.

Ejemplos recientes de construcción exitosa de grandes presas en México, son las de Aguamilpa, en Nayarit, sobre el río Santiago, próxima a su desembocadura en el Pacífico y Huites, en Sinaloa, sobre el río El Fuerte, ambas obras tienen propósitos múltiples: generación hidroeléctrica, control de avenidas e irrigación.

En el caso de Huites, se plantó el record mundial en rapidez de colocación de concreto, en esa época.

Como datos de interés general sobre las presas en México pueden destacar los siguientes:

- Actualmente existen poco menos de 5 000 presas con altura entre 5 y 265 m.
- La presa con mayor capacidad de almacenamiento, La Angostura, sobre el río Grijalva, Chiapas, puede contener hasta 18 km<sup>3</sup> de agua, más del doble que el lago de Chapala, 8 km<sup>3</sup>.
- La capacidad acumulada de las principales presas del país, a finales del siglo XX, es próxima a 180 km<sup>3</sup>, casi 23 veces de la de Chapala.

Una aportación a la ingeniería de presas, importante en México y en el extranjero, la podemos encontrar en El Infiernillo, de 150 m de altura, considerada la más alta en su época (1960-1964), construida con "enrocamiento y corazón delgado de arcilla compactada", a cargo de ICA. En esa región la arcilla escasea; para construir la cortina fue necesario diseñar un esbelto corazón central, de arcilla impermeable, que soportara el empuje del agua retenida en el embalse. La mayor parte de los respaldos (a ambos lados del corazón), fue construida con enrocamiento (fragmentos de roca de diversos tamaños, resultado de voladuras en cantera).

En 1960, la resistencia al corte de los enrocamientos y su deformabilidad, no habían podido ser verificados experimentalmente en ningún país, dado el tamaño y complejidad de los equipos requeridos para ensayarlos y la dificultad de su operación. Para ensayar los enrocamientos de El Infiernillo, el Profesor Raúl J. Marsal (posteriormente doctor Honoris Causa de la UNAM), ideó y diseñó equipos especiales. El equipo más importante entonces diseñado y construido fue una enorme Cámara de Compresión Triaxial, cuyo recipiente exterior constaba de una esfera de placa de acero soldada de 4.3 m de diámetro, capaz de soportar una presión interior de hasta 25 kg/cm<sup>2</sup> (equivalente a la presión bajo el agua, a 250 m de profundidad), fue fabricada en Guadalajara.

En el laboratorio de El Infiernillo, por primera vez se verificaron de manera confiable los parámetros de resistencia de los enrocamientos, empezando por los de esa obra. Los resultados fueron usados en la revisión del diseño de la cortina.

Más adelante el equipo fue empleado para ensayar los enrocamientos de otras presas, tanto mexicanas como extranjeras; entre las primeras: Malpaso (Chiapas), El Granero (Chihuahua), La Angostura (Chiapas), y Las Piedras (Jalisco); entre las segundas: Mica, sobre el río Columbia, en Canadá, y Chivar (Colombia); también

fue ensayado un basalto sano de California, enviado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos.

Posteriormente, el equipo del laboratorio de enrocamientos fue trasladado a la Ciudad de México, e instalado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Hoy la Cámara Triaxial (que alojaba en su interior el equipo para pruebas de resistencia al corte de enrocamiento) se encuentra en exhibición en los jardines del Museo Tecnológico de la CFE, en el Bosque de Chapultepec de la Ciudad de México.

Por otra parte, durante la construcción de El Infiernillo y posteriormente, fue necesario verificar el comportamiento de las masas de enrocamiento de la cortina, y compararlo con el determinado en los ensayos de laboratorio. Con tal propósito el profesor Marsal ideó una serie de dispositivos.

En 1968, el profesor Raúl J. Marsal y el Ing. Luís Ramírez de Arellano, recibieron conjuntamente el Premio Middlebrooks, otorgado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), por la publicación de un artículo en el que describieron el comportamiento de la presa El Infiernillo, durante su construcción y el inicio de su operación.

La cortina de Chicoasén con 265 m, su altura equivale a cuatro y media veces la de una de las torres de la Catedral de la Ciudad de México que es la más alta del continente Americano y la cuarta a nivel mundial. En esta hidroeléctrica fueron instaladas 5 unidades generadoras, de 300 MW cada una; sus turbinas y generadores están alojados en una caverna excavada en la roca a 200 m de profundidad.

En Chicoasén también fue necesario edificar una cortina con materiales locales, es decir tierra y enrocamientos, en condiciones para las que no existían muchos antecedentes. No debía ser de concreto, pues el perfil irregular de la barranca y la gran altura de la obra hacían indispensable que la cortina tuviese cierta "flexibilidad".

Además de extensas investigaciones geológicas, fueron determinadas en el laboratorio las propiedades mecánicas de los materiales disponibles en la región. Finalmente se optó por construir el corazón de la cortina con arcilla mezclada con lutita (roca blanda), ambas locales, con respaldos de enrocamiento; los trabajos ocuparon tres años y medio.

A principios de los años noventa se proyectaron y construyeron dos nuevas centrales hidroeléctricas con características muy diferentes, pero que una vez más constataban la calidad y eficiencia de la ingeniería mexicana.

La Presa de Zimapán es la segunda cortina de concreto más alta del país y décima en el mundo en su tipo.

Es la primera que funciona con aguas residuales para generación de energía eléctrica. Ahí descarga el drenaje profundo de la ciudad de México, posee el túnel



## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON

---

de conducción más largo (21 Kms.), desde la obra de toma hasta la casa de máquinas, con una caída que es la máxima hasta ahora lograda.

La Presa de Zimapán es la primera que se diseña con un concepto de desarrollo regional para buscar desconcentrar, en parte, la zona metropolitana del centro del país.

Su cortina tiene una altura total de 203 m, equivalente a un edificio de 70 pisos. El diámetro del túnel de conducción de aguas hasta la sala de maquinas es de 4.70 m.

Un aspecto importante es que al utilizar aguas residuales en su funcionamiento, contribuye a la purificación y reutilización de las mismas.

Al momento de la construcción y puesta en operación de esta central, se creó un corredor industrial que tendrá como beneficio estimado 100 mil nuevos empleos. Posibilidad de que dos millones de habitantes se instalen en una o varias ciudades a lo largo del corredor, y que los poblados de ahí se extiendan.

Finalmente, la Central Hidroeléctrica Aguamilpa Solidaridad, concluida en el año 1994, construida por CFE e ICA. La Presa esta conformada por una enorme cortina de concreto y rocas con una altura de 187 metros, considerada la más alta de América Latina en su tipo. Las aguas que forman su embalse alcanzan un volumen de 6,950 millones de metros cúbicos que se extiende a lo largo de 50 kilómetros sobre el río Santiago y 20 kilómetros sobre el río Huaynamota. La fuerza hidráulica de estos ríos impulsa tres gigantescas turbinas con una potencia de 960 megawatts que generan 2,131 kw/h medios anuales, siendo de las más importantes del país en cuanto a producción de energía eléctrica.

En su construcción se superaron muchos obstáculos y se pudo terminar poco más de un año antes de lo establecido. Lo que represento un nuevo logro para ICA y asociados.

Entre uno de dichos problemas, fue la presencia de una avenida extraordinaria en 1992 que desbordo la ataguía de aguas arriba y causo daños a la porción de cortina construida hasta el momento. Se contaba con una altura de 92 m de las losas de la cara de concreto. Dichos daños no fueron significativos y el proceso continuó a pasos acelerados.

Ahí se construyeron túneles de desvió con rugosidad compuesta, lo que disminuye a la mitad el riesgo de colapso.

De hecho, esta central sirve de modelo para la proyección y construcción de la Central Hidroeléctrica el Cajón, sin que lo anterior signifique que sean iguales.

Actualmente existen en el mundo alrededor de 36,000 presas, de las cuales 22,000 se ubican en China, 6000 en Estados Unidos y 1017 en México.

Casi diez años después de Aguamilpa, se comienza con un nuevo reto, la construcción y puesta en marcha de la Central Hidroeléctrica El Cajón.

Una nueva oportunidad de demostrar la capacidad de la Ingeniería Nacional.

En el presente trabajo, se analizara y describirá el procedimiento constructivo aplicado para la cortina de enrocamiento del P.H. El Cajón, desde los aspectos que definen sus características, materiales, explotación de los bancos de material, acarreo, colocación hasta la compactación sobre el cuerpo de la cortina.

Desde un punto de vista objetivo, basado tanto en los Procedimientos Constructivos, Normas, Informes y Planos vigentes, emitidos por CFE y CIISA; así como de la experiencia de los Ingenieros asignados a las áreas de interés; y finalmente en la observación, análisis y experiencias propias.

Otros elementos propios de la cortina, como lo son el Plinto y la Cara de Concreto, se mencionaran de manera resumida, sin profundizar su análisis puesto que escapan del alcance del presente trabajo.

Este trabajo consta de Antecedentes, donde se hace una breve descripción del contrato que da lugar al Proyecto, así como de las empresas involucradas. Tres capítulos, en el primero de ellos se describen las características propias del lugar donde se construye la obra, así como las partes constituyentes del Proyecto. En el segundo, se describen las características propias de la Presa de Enrocamiento con Cara de Concreto específica para el P.H. El Cajón. Y en el tercer capítulo, se detalla el proceso constructivo, desde la explotación hasta la compactación de los diferentes materiales. Una sección con las conclusiones obtenidas. Anexo, con los planos mas representativos de la cortina y finalmente la Bibliografía en que esta sustentada este trabajo.

## ANTECEDENTES .

La Comisión Federal de Electricidad, mediante la licitación pública internacional Num. 18164093-011-02, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 3 de septiembre de 2002, lanzo a concurso los trabajos relativos la “construcción de las obras civiles, electromecánicas y obras asociadas, procura, montaje, ingeniería, transporte pruebas y puesta en servicio de dos unidades turbogeneradoras”. Obras que en su conjunto se denominan “Proyecto Hidroeléctrico el Cajón”, En el Estado de Nayarit.

Para la realización de este proyecto, la Comisión Federal de Electricidad, cuenta con la autorización de la Honorable Cámara de Diputados en el presupuesto de egresos de la Federación para el ejercicio fiscal 2002, la autorización de la Secretaria de Energía y la autorización de la Comisión Intersecretarial de Gasto y Financiamiento.

Las actividades se desarrollaran bajo la modalidad de contrato mixto de obra pública financiada, regido por la Ley de Obras Publicas y servicios relacionados con las mismas y su reglamento.

El 9 de abril de 2003, en la Ciudad de México D.F. Empresas ICA Sociedad Controladora, S.A. de C.V. (BMV y NYSE: ICA), la empresa de ingeniería, procuración y construcción más grande de México, anuncia ese día que la empresa Constructora Internacional de Infraestructura, S.A. de C.V. (CIISA), y el banco WestLB AG, sucursal Nueva York, (WestLB) firmaron el contrato del crédito puente para el financiamiento del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón para la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Los socios de CIISA son: ICA, a través de sus subsidiarias, Promotora e Inversora Adisa, S.A. de C.V. e Ingenieros Civiles Asociados, S.A. de C.V., con 61%; La Peninsular Compañía Constructora, S.A. de C.V., con 20%; y Energomachexport Power Machines, con 19%. Dichos porcentajes de participación cambiaron respecto a los anunciados originalmente, mismos que han sido autorizados por la CFE.

El miércoles 26 de marzo se firmó el contrato para la ejecución del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, entre CIISA y la CFE. Contempla un periodo de ejecución de 1,620 días y un esquema de contratación de obra pública financiada con precios mixtos; según el cual, una parte del contrato será con precios unitarios y otra a precios alzados. Los trabajos de construcción se iniciaron el 26 de Marzo.

El financiamiento del proyecto consta de dos etapas: La primera, por US\$90 millones, es un crédito puente para financiar el inicio de los trabajos del proyecto. La segunda etapa, que se encuentra en proceso de estructuración, permitirá contar con US\$748 millones, recursos necesarios hasta la terminación del proyecto.

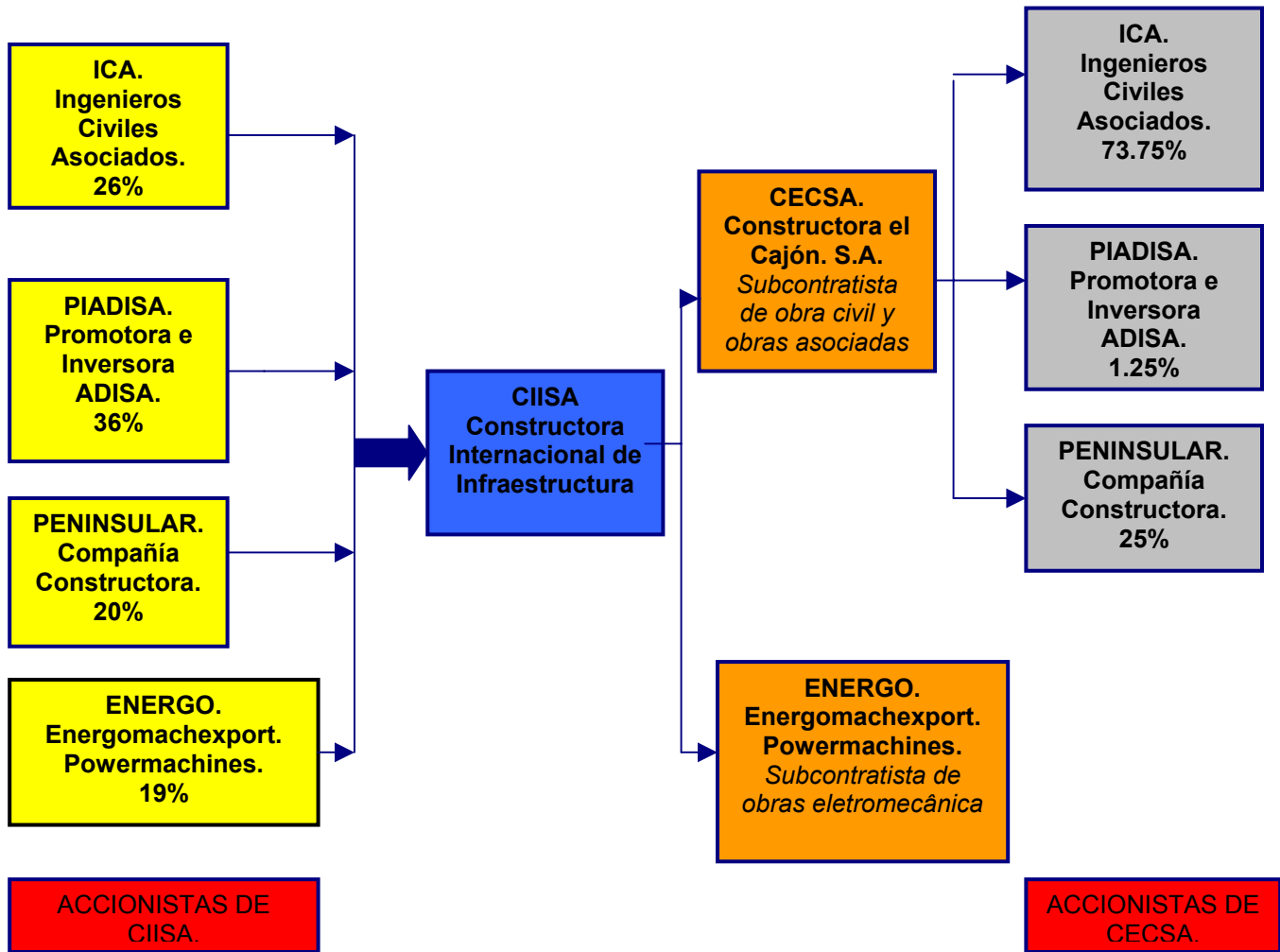
## **PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON**

---

Los desembolsos del crédito financiarán el costo en efectivo necesario para la construcción del proyecto y se realizarán con la aprobación de un supervisor independiente que tomará en cuenta no sólo los aspectos técnicos y económicos, sino también, los aspectos ambientales, legales y financieros del mismo, de acuerdo al programa de ejecución presentado en la oferta del concurso. El tratamiento contable que se le dará al proyecto se encuentra en proceso de definición, por parte de la compañía y sus auditores.

ICA ha acumulado amplia experiencia en la construcción de presas, a lo largo de sus 55 años de vida. Ha participado en la construcción de 50 presas, de las cuales 17 son centrales hidroeléctricas, con una capacidad de generación total de más de 11,000 MW. Nueve de éstas se han realizado en México, con una capacidad conjunta que supera los 5,600 MW, siendo las más importantes: El Infiernillo, Chicoasén, Huites y Aguamilpa. Es de resaltar que en los casos de Huites y Aguamilpa participó con Energomachexport Power Machines, mientras que en Huites participó con La Nacional, empresa controladora de La Peninsular. ICA la empresa de ingeniería, procuración y construcción más grande de México, fue fundada en 1947 y ha realizado obras de construcción e ingeniería en 21 países. Las principales unidades de negocio de ICA son Construcción Civil y Construcción Industrial. A través de otras subsidiarias, ICA también desarrolla vivienda, administra aeropuertos y opera túneles, autopistas y servicios municipales bajo títulos de concesión y/o cesiones parciales de derechos. Energomachexport Power Machines es la empresa rusa líder en la venta de equipos para la procuración, transmisión y distribución de energía eléctrica, así como para el bombeo de gas, equipo de transporte y ferrocarril. Cuenta con 35 años de experiencia en el desarrollo de complejos proyectos de generación de energía y con operaciones a nivel mundial. La Peninsular Compañía Constructora, S.A. de C.V. es una sociedad mexicana constituida en 1978, filial de la empresa mexicana La Nacional, S.A. de C.V., cuenta con amplia experiencia en la construcción y aportará sus capacidades en la parte civil del proyecto.

ESQUEMA DE LAS ORGANIZACIONES PARTICIPANTES.



***CAPITULO I. "DESCRIPCION  
GENERAL  
DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL  
CAJON"***

## EL CAJON



*Aspecto que tendrá la Central Hidroeléctrica El Cajón al final de su construcción. Vista aguas abajo.*

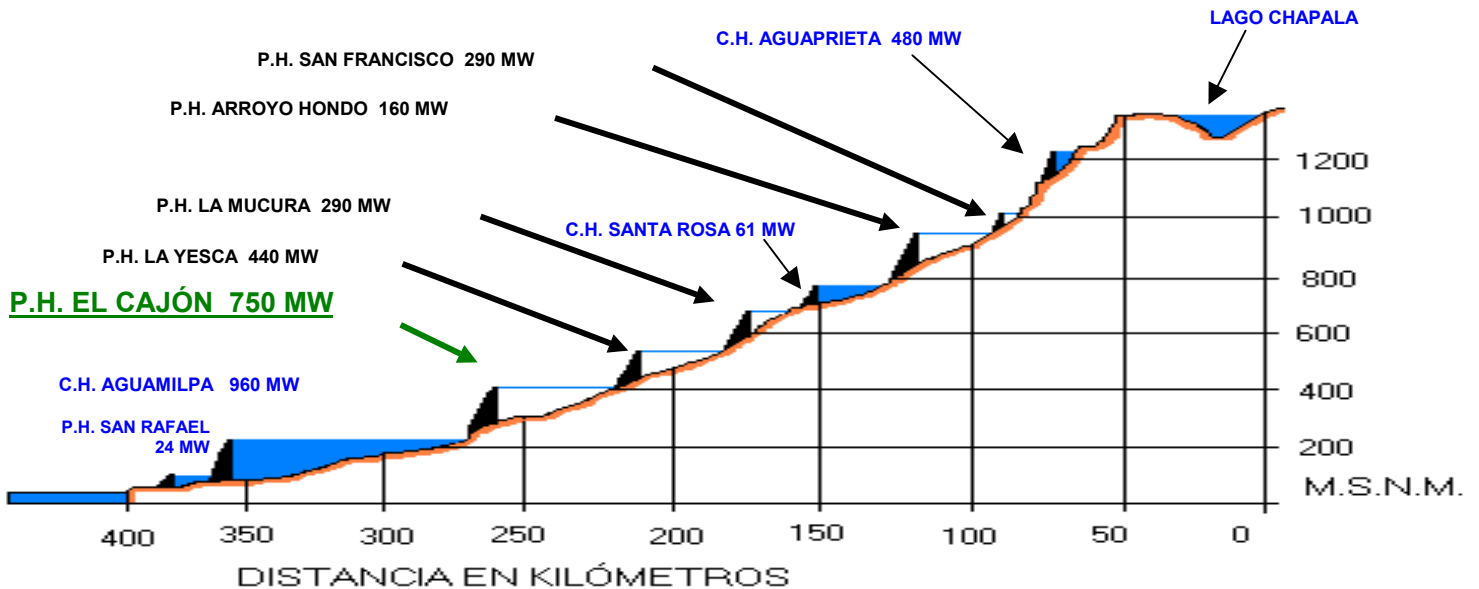
## CAPITULO I. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON.

### I.1. Generalidades.

#### I.1.1. Sistema Hidrológico Santiago.

A partir del Lago de Chapala, hasta su desembocadura en el mar, el río de 475 kilómetros de longitud recibe el nombre de **Río Santiago**, el cual cuenta con un área de aportación de 78, 419 km<sup>2</sup>. La cuenca del Alto Santiago comprende el área drenado por el cauce principal, desde la salida del Lago de Chapala hasta la Presa Santa Rosa (a 150 km del lago). Tiene una extensión territorial de 36, 077 km<sup>2</sup> y un total de seis cuencas; de las cuales las más extensas son Juchipila y Santa Rosa. La cuenca del Bajo Santiago comprende el área drenada por el cauce principal, desde la salida de la presa Santa Rosa hasta su desembocadura en el océano Pacífico. Cuenta con 5 cuencas y tiene una extensión de 42,342 km<sup>2</sup>. Las cuencas más extensas son Carrizal y Bolaños. (fig. I.1)

#### SISTEMA HIDROELÉCTRICO DEL RÍO SANTIAGO COMO PARTE DEL SISTEMA HIDROLÓGICO SANTIAGO:



(Los P.H. San Francisco, Arroyo Hondo, La Mucura y La Yesca se encuentran en etapa de estudio o de licitación)

Fig. I.1 UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS, CONSTRUIDOS, EN PROCESO O LICITACION. SOBRE EL SISTEMA SANTIAGO.



## PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON

El Sistema Hidrológico Santiago incluye a los Ríos Santiago, Huaynamota, Bolaños, Juchipila, Verde y el Lago de Chapala. Tiene un potencial hidroenergético de **4,300 MW** por medio de 27 proyectos contemplados, de los cuales el P.H. El Cajón, con 750 MW, representa el 17.44 % del potencial total del Sistema. El Cajón forma parte del plan global de aprovechamiento hidroeléctrico del Río Santiago, y ocupará el segundo lugar en cuanto a potencia y generación del sistema, después de la C.H. Aguamilpa (con 960 MW), y el noveno lugar en el ámbito nacional.

### I.1.2. Ubicación Geográfica.



Fig. I.2. UBICACIÓN GEOGRAFICA

La hidroeléctrica El Cajón se localiza en el estado de Nayarit, a 47 km en línea recta al Sureste de la ciudad de Tepic, en los municipios de Santa María del Oro y Yesca, en terrenos de la comunidad de Cantiles. La zona del proyecto se encuentra localizada en las coordenadas geográficas  $21^{\circ}25'45''$  de latitud norte y  $104^{\circ}27'14''$  de longitud oeste. Se ubica sobre el río Santiago aproximadamente a 60 km aguas arriba de la C. H. Aguamilpa-Solidaridad. (fig I.2)

El Cajón forma parte del Sistema Hidrológico Santiago, que comprende 27 proyectos con potencial hidroeléctrico de 4 300 MW, del cual se ha desarrollado el 32 %. Está conceptualizado como una planta para suministrar energía de pico con potencia total instalada de 750 MW y producción media anual de 1 228 GWh. Beneficiará a la Central Hidroeléctrica Aguamilpa, incrementando la energía firme, en el almacenamiento del embalse del Cajón.

### **I.1.3. Clima .**

- 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 m<sup>3</sup> en el mes de agosto y mínimo de 83 millones de m<sup>3</sup> 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 o sequía pronunciada entre los meses de noviembre a mayo. Durante el invierno se presentan lluvias en un porcentaje ligeramente mayor al 5% de la media anual.

### **I.1.4. Geología .**

Existe un profundo conocimiento de la geología del sitio y de las discontinuidades estructurales existentes en el macizo rocoso. 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 que han permitido prediseñar las obras civiles estimando las cantidades de obra y costo de las mismas con mayor certidumbre.

La boquilla del P.H. El Cajón esta enmarcada geológicamente por unidades de diversa litología y edad, desde rocas metamórficas del Precenozoico e ígneas del Oligoceno al Cuaternario. Existen rocas metavulcanosedimentarias, granitos, andesitas, flujos y emisiones piroclásticas ácidas, derrames basálticos, diques de composición granítica, andesica y diabásica; depósitos vulcano sedimentarios, aluviones de paleocauce, depósitos pumiciticos, 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 fracturamiento regional, que permitió la definición de bloques y sub bloques. De acuerdo a los estudios realizados, las obras se emplazaran principalmente en roca ignimbrita de composición riódacítica, la cual se diferencio en 3 unidades denominadas TciU1, TicU2 y TicU3, entre estas unidades aparecen dos horizontales aglomeraticos, 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. 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 subterráneas.

Cabe mencionar que la CFE proporcionó, a manera de contribución para la revisión de las condiciones geológicas del sitio, aunque sin que implicara responsabilidad alguna de su parte, un Informe geológico para la etapa de preconstrucción<sup>1</sup>, editado por la Superintendencia de Estudios de la Zona Pacífico Norte de la CFE, y que se incluyeron en las bases del concurso.

CIISA tomó en cuenta los aspectos mencionados al elaborar el programa de construcción de las obras del proyecto y consideró las condiciones geológicas que influyen en las actividades de construcción, sobre todo en aquellas que se refieren al tratamiento de la roca y que se integran a los ciclos de excavación, como: anclaje, drenaje, concreto lanzado, colocación de marcos metálicos o ademes de concreto, etc. Así, tiene la responsabilidad de garantizar la estabilidad de las estructuras y excavaciones durante su construcción, llenado del embalse y durante todo el tiempo de vida útil de la planta.

De la misma manera, CFE realizó estudios geológicos para el desarrollo del P.H. El Cajón, tanto en su etapa de factibilidad como en su etapa de preconstrucción; el primer estudio Geológico data de 1994 y se complementó con información del año 2001.

Este estudio se entregó también dentro de las bases, con el objetivo de que sirviera de base para preparar la oferta técnica y económica, aunque las conclusiones e interpretaciones que de él se obtuvieran serían responsabilidad, en este caso, de CIISA, la cual verificó la información y realizó los estudios

---

<sup>1</sup> "Informe geológico en la etapa de preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, Nay.", SEZPN, CFE. 1995

geológicos complementarios, necesarios para obtener el diseño ejecutivo del proyecto.

Se presentan a continuación tablas con datos principales sobre el sitio de la Obra:

<b>Meteorológicos</b>		
Temperatura máxima/mínima (ambiente)	46 / 6,5	°C
Temperatura de diseño máxima/mínima (ambiente)	46 / 6,5	°C
Temperatura máxima promedio verano (ambiente)	42	°C
Temperatura mínima promedio verano (ambiente)	21,5	°C
Zona climática/Ambiente	Cálida subhúmeda/Rural	
Humedad relativa verano/invierno	36,4 / 48,6	%
Humedad relativa promedio	38	%
Aceleración horizontal máxima del terreno para sismo base de operación	0,2g	Gal
Aceleración horizontal máxima del terreno para sismo máximo creíble	0,3g	Gal
Presión barométrica	98	kPa
Velocidad del viento	110	km/h
Altitud para casa de máquinas	221,05	
Altitud para subestación	340	m
Temperatura máxima del agua	31,77	m
Temperatura promedio del agua	27,18	°C
Temperatura mínima del agua	23,83	°C
<b>Hidrológicos</b>		
Área de la cuenca	54 198	km <sup>2</sup>
Escurrimiento medio anual	3 326,35*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Escurrimiento medio mensual	277,20*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Avenida máxima registrada	7 029,0	m <sup>3</sup> /s
Gasto medio anual	105,48	m <sup>3</sup> /s
Gasto medio aprovechable	100,4	m <sup>3</sup> /s
Periodo de registro	51	años

### **I.1.5. Objetivos del Proyecto en materia energética.**

El P.H. El Cajón está diseñado para suministrar energía pico con potencia total instalada de **750 MW** por medio de 2 unidades turbogeneradoras de **375 MW** cada una. De esta forma, el aprovechamiento hidroeléctrico considera una Central equipada con dos grupos turbogeneradores los cuales permitirán una generación media anual total de **1 228,637 GWh**.

Además, el embalse contribuirá a regular los escurrimientos de cuenca propia y beneficiará a su vez a la C.H. Aguamilpa, ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río, incrementará su generación firme en **69,912 GWh** y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor.

<b>Generación</b>		
Factor de planta	0,187	
Generación media anual	1 228,637	GW/h
Generación media anual firme	864,386	GW/h
Generación media anual secundaria	364,251	GW/h
Generación media anual firme (Incremento en la C.H. Aguamilpa Nay.)	69,912	GW/h

Así la generación media anual total será de **1 298,549 GWh**.

Su finalidad principal es la producción de energía eléctrica, en operación conjunta con otras plantas previstas y ya construidas a lo largo del río y con factores de planta bajos para atender picos de consumo.

### I.1.6. Impacto ambiental.

Desde el comienzo de las primeras etapas de las obras, se tuvo especial cuidado en lo referente a los estudios previos del Impacto al medio ambiente en el sitio del proyecto. CIISA tiene el objetivo de reducir de manera importante cualquier afectación directa a las diversas especies de flora y fauna que se han encontrado en los lugares de las obras.

La Mitigación de estos efectos es de primordial importancia, por lo que se ha procurado preservar ejemplares de los animales encontrados para su recolección y posterior liberación en otro lugar con características ambientales similares, a una distancia prudente de los lugares de los trabajos.

De la misma forma se han recopilado ejemplares de la flora de los sitios donde fue necesaria la tala de árboles y retiro de vegetación para construir la Infraestructura necesaria del proyecto.

Organización del área de Protección Ambiental y Medio Ambiente de CIISA.

De acuerdo a los requerimientos establecidos en lo referente al impacto ambiental, autorización para el cambio de terrenos forestales y especificaciones particulares del P.H. El Cajón, CIISA cuenta con la siguiente estructura para el área de protección ambiental en el proyecto:



## **I.1. 7. Impacto Social.**

Parte fundamental de los estudios previos de factibilidad para el P.H. El Cajón se relacionaron con la afectación directa o indirecta a las comunidades asentadas dentro del área de las obras del proyecto. Esta afectación se presenta principalmente en lo que será la futura área del embalse.

Personal de CFE se trasladó a los 12 poblados afectados para informarles sobre los alcances del proyecto, siempre respetando los puntos de vista de los pobladores y haciéndoles notar los beneficios que traería esta obra para la región, explicando que en caso de ser necesario un reacomodo de la población afectada, se les compensaría con apego a derecho.

El embalse del proyecto tendrá una superficie de 3,942 Ha, de las cuáles corresponden a 4 municipios de Nayarit en la siguiente proporción: La Yesca con 2,134 Ha. (54.1%), Jala con 505 Ha. (12.8%), Santa María del Oro con 879 Ha. (22.3%), Ixtlán del Río con 259 Ha. (6.6%) y a 1 municipio de Jalisco: Hostotipaquillo con 165 Ha. (4.2%).

El área del futuro vaso involucra la afectación parcial de 14 predios, cuya tenencia de la tierra corresponde a 4 de propiedad ejidal (21.8% del área de embalse), una comunidad indígena (58.7%), y 9 propiedades privadas (4.4%), el resto corresponde a la zona federal del río Santiago.

Mediante un censo realizado por CFE en el 2003, se identificaron 12 asentamientos humanos, de los cuales "El Ciruelo", con 100 habitantes, es el de mayores dimensiones, los 11 poblados restantes cuentan con población menor a 30 habitantes. El total de los pobladores es de 173 agrupados en 68 viviendas, de los cuales el 9% pertenece al grupo étnico Huichol.

CIISA por su parte, cuenta con un asesor en gestión social, el cual realiza actividades de apoyo e interrelación con las comunidades.

Es importante señalar que una vez terminado el proyecto, se pretende que la clínica del IMSS sea permanente, y cuente con la infraestructura humana y material suficiente para dar servicio no sólo a los trabajadores permanentes de la Central sino también a las comunidades cercanas que no fueran reubicadas y que requieran sus servicios.

Entre algunos otros de los beneficios del Proyecto se encuentran:

-Derrama económica en la región, durante la construcción por 2000 millones de pesos.

-Creación de 10000 empleos directos e indirectos durante su construcción estimada en 54 meses.

- Mejorar las vías de acceso a la zona serrana, beneficiando a 20000 habitantes de 40 comunidades.
- Generación media anual de 1228 GWh, equivalente a 1.5 veces el consumo anual del Estado de Nayarit.
- Capacidad instalada de 750 MW equivalentes a encender 7.5 millones de focos.
- Ahorro de 2 millones de barriles de combustóleo al año.
- Aumentar la generación firme de la C. H. Aguamilpa por la regulación del río Santiago y sus afluentes en la cuenca.
- Diversificar las fuentes primarias de energía en el Sistema Eléctrico Nacional.

## **I.2. Esquema General del Proyecto.**

### **I.2.1 Caminos.**

Se habilitaran 21 km de caminos con un ancho de 10 a 12 m, y con pendientes menores al 15% . Clasificándose en caminos auxiliares, caminos de construcción y caminos definitivos, para comunicar las diferentes instalaciones definitivas y de apoyo. Los caminos incluyen la construcción del Puente sobre el río Santiago.

Los caminos incluyen actividades de topografía, despalme, excavación y/o barrenación, carga de explosivos, voladura, carga transporte, colocación y transportación del material, obras de drenaje, pavimentos y señalización, de acuerdo al tipo de camino y con base en el proyecto y procedimientos de calidad, seguridad y medio ambiente.

El grupo básico de trabajo se integra por tractor D8R, perforadora sobre orugas IR track drill, compresor IR 750, cargador 966 o retroexcavadora 320 y camiones fleteros.

Para los caminos de auxiliares los materiales de relleno no se le incorpora humedad y tampoco son compactados, se uniformiza la superficie de rodamiento y semicompacta con tractor de orugas.

Los caminos de construcción se terminan con superficie de rodamiento nivelada con motoconformadora y compactada con rodillo liso vibratorio.

Para los caminos definitivos, los materiales de sub-base y base serán procesados dentro de la zona industrial y serán colocados mediante esparcidor y compactadores vibratorios. La carpeta asfáltica se hará con mezcla en caliente procesada y acarreada desde el banco Guadalupe a 62 km del proyecto, tendida con esparcidor y compactada con equipo neumático y plancha.



### Camino principal.

Tiene una longitud aproximada de 43 km, inicia en el cruce con la carretera estatal al poblado de Santa Maria del Oro y el camino a Cerro Blanco. Pasa por los poblados de Cerro Blanco, Rincón de Calimayo y el Buruato.

Tramo km 0+000 al 7+275. Comprende la construcción total con trabajos de topografía, despalme, excavación, y/o barrenacion, carga de explosivos, voladura, carga, transporte, colocación y compactación, obras de drenaje, pavimentos y señalización. El sentido de ataque de las terracerias será de acuerdo al cadenamiento del km 0+000, al 7+275 con la finalidad de ir abriendo acceso desde inicio y conectar lo antes posible por medio de un acceso con el camino ya construido.

Tramo del km 7+275 al 42+861. Comprende la terminación del camino con sub-base, base, carpeta, cunetas, obras de protección, drenaje y señalización.

Para el demonte y despalme se utilizara un solo grupo de trabajo conformado por un tractor sobre orugas CAT D8R. Para la excavación, un tractor CAT D9, un cargador CAT 966, una perforadora hidrotrack Commando 300 y camiones fleteros.

Para la formación de terraplenes, se usaran dos grupos de trabajo de un tractocompactor CAT 815, y una pipa de agua de 8000 litros.

Las terracerias con un solo grupo de trabajo de tres motoconformadoras CAT 120H, un compactador mixto CAT 563c, un tractor sobre orugas CAT D6H y una pipa de agua de 8000 litros.

La sub-base con un equipo de un esparcidor DEMAG 110, un compactador mixto CAT 563c y una pipa de agua de 8000 litros.

Para la base hidráulica, un equipo similar a la sub-base mas una petrolizadora y una barredora autopropulsada.

La carpeta asfáltica con un esparcidor DEMAG 110, dos compactadores neumáticos CAT PF-300, un vibrocompactador tandem CAT CB634c, una petrolizadora y una barredora autopropulsada.

El sello de material 3-A con el mismo equipo de compactación de la carpeta y un esparcido.

Las terracerias tendrán como actividad final los arropes de taludes con el material producto de los depalmes.

Puente de cruce del río Santiago.

Este puente forma parte de las obras de infraestructura del P.H. El Cajón, en el Estado de Nayarit.

Debido a la magnitud del proyecto y para garantizar la vialidad requerida para su construcción, se diseñó y construyó un puente sobre el Río Santiago que se localiza aguas abajo de la cortina del tipo denominado Doble Voladizo, con un arreglo de claros de 64.00 m + 110.00 m + 64.00 m y una longitud total de 238.00 m; la superestructura es de concreto con sección cajón y peralte variable y la subestructura es también de concreto con sección cajón. Con cimentación superficial con relleno de material producto de las excavaciones en su interior, y relleno exterior de concreto ciclópeo (fotografía I.1)

Dicho Puente fue inaugurado el 18 de Enero de 2005, junto con 53 nuevos km de carreteras, por el Presidente Vicente Fox.



*Fotografía I.1. PUENTE SANTIAGO 3 MARZO 2005*

### **I.2.2. Obras de desvío.**

Se consideran como parte de las obras de desvío, los túneles, las lumbreras y plataformas para el cierre provisional y definitivo, así como las ataguías aguas arriba y aguas abajo (fig.I.3).

Se conforma por 2 túneles de sección portal ubicados en la Margen Izquierda del río, excavados en roca, revestidos de concreto hidráulico de acuerdo a lo indicado en los planos proporcionados por la CFE, así como concreto lanzado en bóveda, diseñados para transitar una avenida de  $6481 \text{ m}^3/\text{s}$ . Los túneles de desvío, de 734.09 y 811.05 m de longitud y sección portal de 14 x 14 m. (fig I.4)

Comprenden las actividades de excavación en dos secciones mediante banqueo, concreto hidráulico, tratamiento de taludes con anclas de fricción, concreto lanzado, marcos metálicos, malla electrosoldada y drenajes.

La excavación de los túneles se hará con ocho frentes de trabajo en total, un frente en cada túnel aguas arriba y aguas abajo, los cuatro restantes se abrirán por medio de una ventana de acceso o túnel crucero.

Los portales de entrada y salida serán excavados en roca, cada túnel deberá contar con una lumbrera revestida de concreto para alojar y operar los obturadores para el control del flujo de agua. La CFE cuenta con las compuertas para cierre provisional y cierre final de los túneles; estas estructuras se han utilizado en otros proyectos y sólo requieren restauración.

El nivel del piso del túnel 1 es inferior al del túnel 2. Este último cuenta con una lumbrera para la compuerta del cierre final de la presa e iniciar el llenado del embalse. La compuerta se deslizará por medio de un malacate, a través de una lumbrera vertical revestida de concreto; el mecanismo instalado estará en la plataforma junto al marco que soportará la compuerta durante el cierre final.

El canal de llamada de los túneles de desvío se hará mediante excavación a cielo abierto en roca.

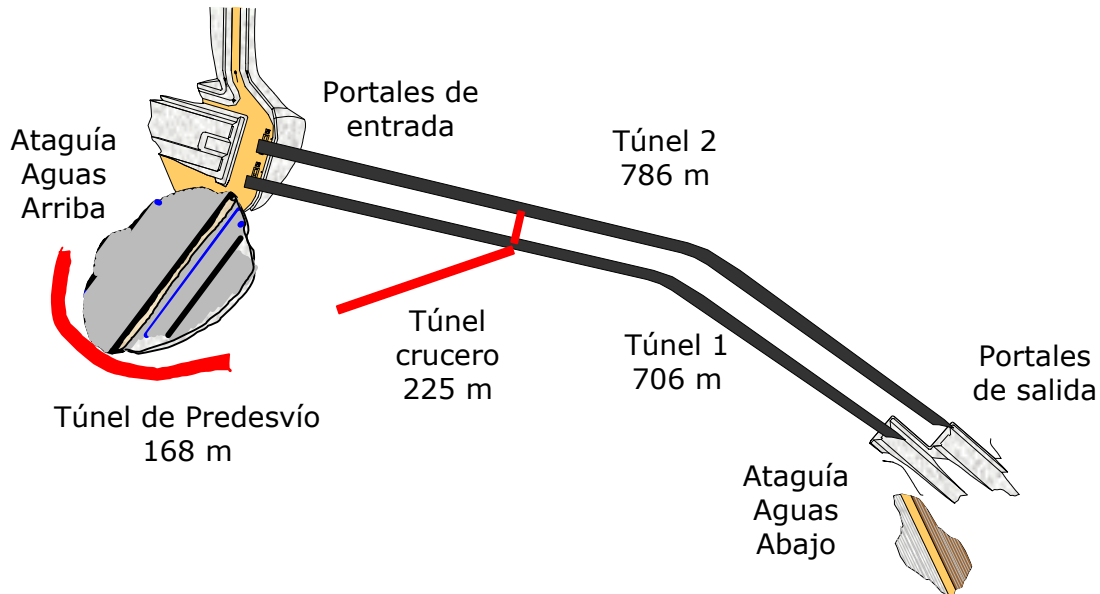


Fig 1.3 TUNELES DE DESVIO.

Cualquier modificación propuesta por CIISA se consideró de manera integral en las afectaciones en lumbreras, tratamientos, excavaciones, equipamiento electromecánico, etc. La obra de desvío se complementa con dos ataguías, las cuales están construidas con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas Ataguías (una a cada lado de la cortina, denominadas Ataguía Aguas Arriba y Ataguía Aguas Abajo) 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.

Una aportación de CIISA en cuanto al diseño de la Obra de Desvío se refiere, es la construcción de la obra de Predesvío, que consistió de un túnel ubicado en la margen derecha del río, a un costado de la Ataguía aguas arriba. Para el desvío del río por el túnel 1 en marzo de 2004, el predesvío se obturó provisionalmente por medio de un bordo con material de relleno y posteriormente con un tapón de concreto para obturarlo de forma permanente.

Fue necesario realizar la construcción de las Ataguías antes del período de lluvias del año 2004.

Es importante señalar que una vez concluido el proyecto la Ataguía aguas abajo será retirada, mientras que la Ataguía aguas arriba no será retirada.

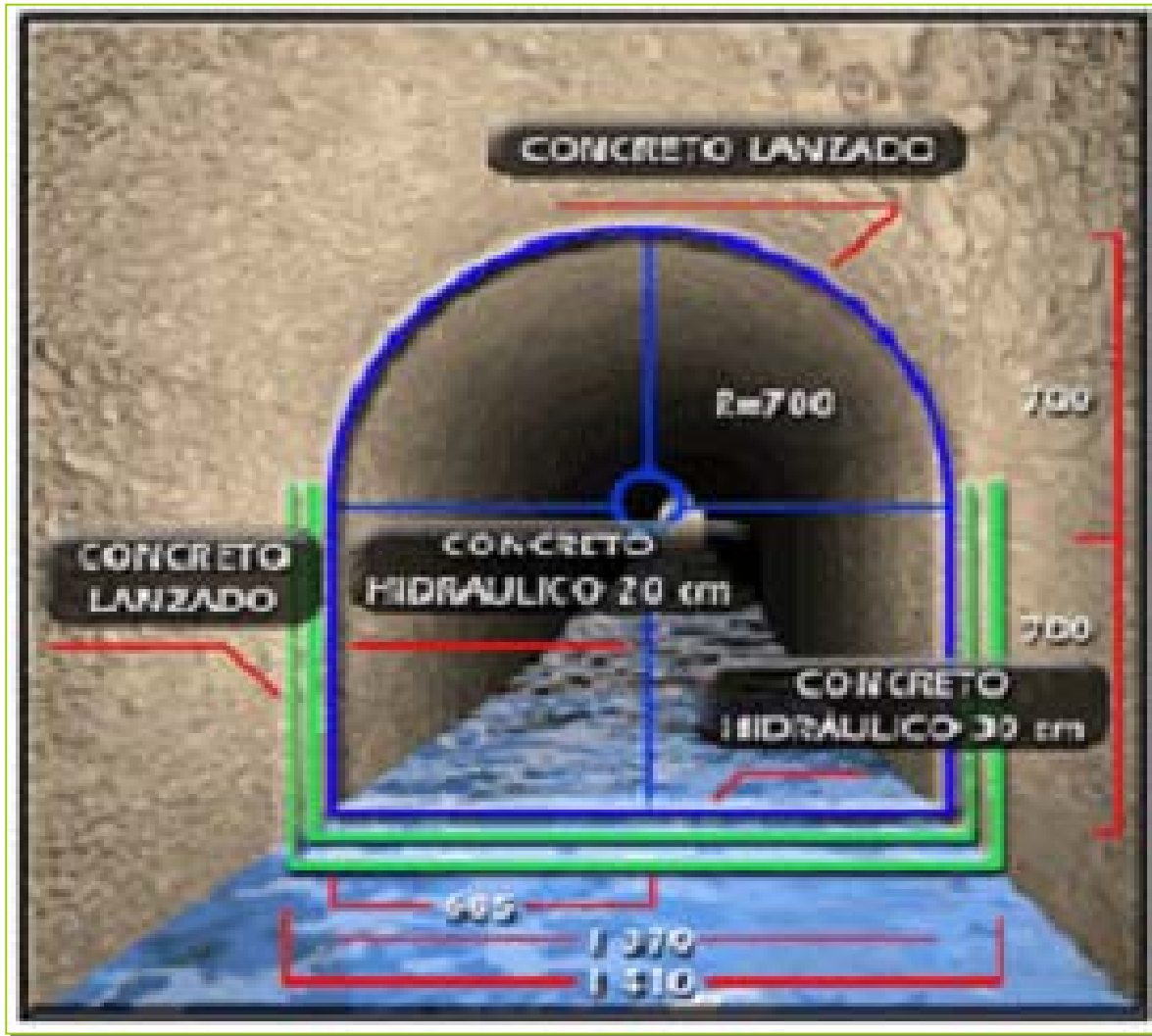


Fig 1.4. CONCRETO HIDRAULICO Y LANZADO EN PISO, MUROS Y BOBEDA.

A continuación se presentan tablas con información general de esta Obra:

<b>Obra de desvío</b>		
Tipo	Túnel	
Longitud (túnel 1/ túnel 2)	734,09 / 811,05	m
Número de túneles	2	
Gasto máximo de diseño	6481	m <sup>3</sup> /s
Volumen de la avenida	1 930,39* 10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Elevación de entrada (túnel 1/ túnel 2)	223 / 227	m
Elevación de salida (túnel 1 / túnel 2)	220,50 / 220,50	m
Elevación de la plataforma de operación para obturadores de cierre provisional del Túnel 1	268,5	m
Elevación del umbral de obturadores de cierre provisional del Túnel 1	222,848	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre provisional Túnel 1 (Fase de cierre)	226,5	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre provisional Túnel 1 (Fase de recuperación)	236,5	m
Elevación de la plataforma de operación para obturadores de cierre provisional del Túnel 2	268,5	m
Elevación del umbral de obturadores de cierre provisional del túnel 2	226,851	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre provisional Túnel 2 (Fase de cierre)	236,5	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre provisional Túnel 2 (Fase de recuperación)	243,00	m
Elevación de la plataforma de operación para obturador de cierre final del Túnel 2	355,00	m
Elevación del umbral de obturador de cierre final del Túnel 2	225,056	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre final Túnel 2 (Fase de cierre)	0 (en seco)	m
Nivel de agua máximo para el obturador de cierre final Túnel 2 (Fase de izaje), con cargas equilibradas	346,00	m

Elevación máxima de descarga	233, 385	m
Velocidad máxima de descarga	14,96	m/s
Periodo de retorno (Tr) para el diseño	50	años
Elementos de cierre provisional.	Son los mismos obturadores que se utilizaron en la C.H. Aguamilpa	
Cantidad (para el túnel N° 1-para el túnel N° 2)	2 - 1	pza
Dimensiones (ancho x alto)( túnel N° 1 - túnel N° 2)	6 x 14 / 14 x 14	m
Carga hidráulica máxima (túnel No 1/ túnel N °2)	27 / 38	m
Masa estimada de cada obturador (túnel No 1/ túnel No 2)	86 / 220	ton
Mecanismo de izaje (tipo y capacidad) para el cierre provisional	(Los mismos que se utilizaron en la C.H. Aguamilpa)	
Elementos de cierre final (en túnel N°2).	(Los mismos que se utilizaron en la C.H. Aguamilpa)	
Cantidad	1	pza
Dimensiones (ancho x alto)	7 x 13	m
Carga hidráulica máxima	169,14	m
Masa estimada de la compuerta	160	t
Mecanismo de izaje para el cierre final	(Los mismos que se utilizaron en la C.H. Aguamilpa)	

<b><u>Ataquéa aguas arriba</u></b>		
Elevación de desplante	220.00	msnm
Elevación de la corona	268.50	msnm
Ancho de la corona	8.0	m
Longitud de la corona	248.00	m
Altura efectiva	48.50	m
Volumen	708 532	m <sup>3</sup>
<b><u>Ataquéa aguas abajo</u></b>		
Elevación de desplante	220.00	msnm
Elevación de la corona	235.00	msnm
Ancho de la corona	8.0	m
Longitud de la corona	128.50	m
Altura efectiva	15.00	m
Volumen	60 444	m <sup>3</sup>

Esta obra permitirá descargar como máximo 7011 m<sup>3</sup>/s, caudal que en un minuto equivale al consumo diario de una población de 140000 habitantes.



### I.3.3. Obra de contención. Cortina\*.

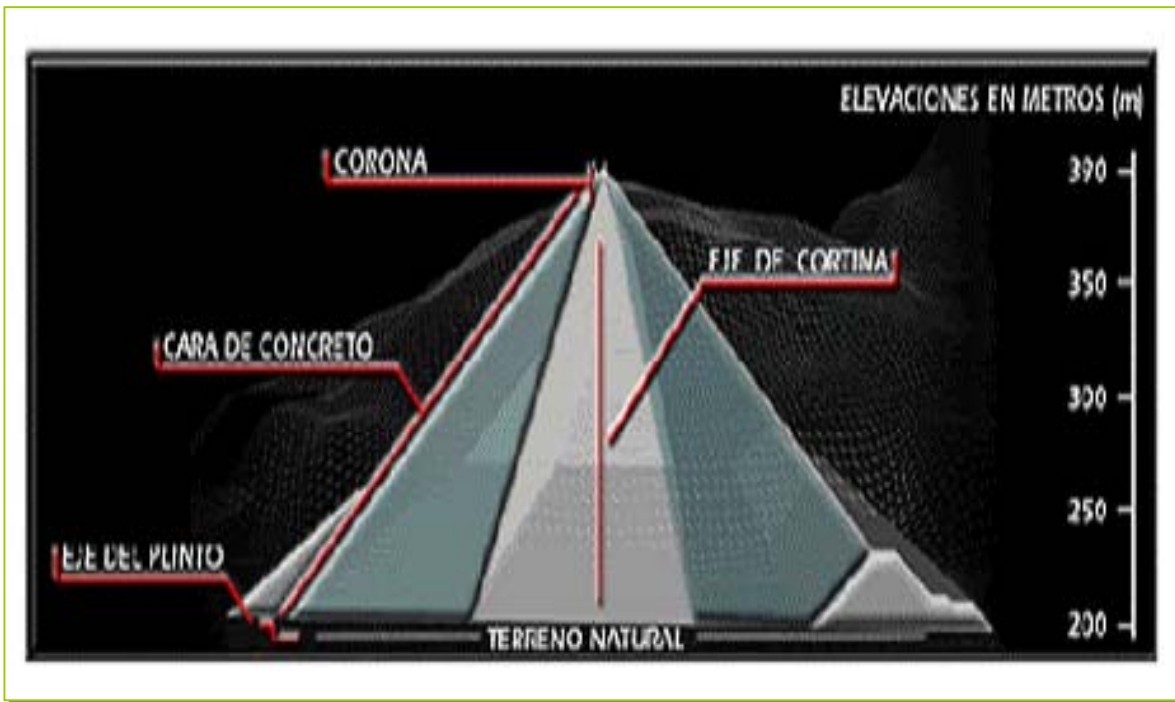


Fig 1.5. CORTINA ECC

La Cortina es la estructura de mayor tamaño, con una altura total de 188.00 m de altura. Por su altura será considerada la más alta del mundo en su tipo, con un metro más que la de la C.H. Aguamilpa-Solidaridad. (fig 1.5)

Se trata de una cortina de enrocamiento con cara de concreto en el talud de aguas arriba, desplantada sobre el plinto.

La impermeabilidad por debajo del cause se lograra con una pantalla de inyecciones desde el mismo plinto.

\*La descripción detallada de la Cortina se trata en el Capitulo II de este trabajo.

Así como su procedimiento constructivo en el Capitulo III.

#### I.2.4. Obras de Generación.

Será subterránea y se ubica en la margen derecha del río. Las obras consisten en un canal de toma, dos conductos a presión de 7,95 m de diámetro para alimentar las turbinas, casa de máquinas en caverna, galería de oscilación y un sólo canal de desfogue. (fig I.6) Se incluye una subestación encapsulada SF6 y se prevén 2 líneas de transmisión de 400 kw para conducir la energía eléctrica y conectarla al Sistema Eléctrico Nacional.



Fig I.6. COMPONENTES DE LA OBRA DE GENERACION.

La obra de toma, consta de dos túneles, por lo que requiere de un canal de llamada a cielo abierto y el portal de entrada, en el cual se alojara el mecanismo de control que contara con dos rejillas de 15.38 m X 18.90 m. Las compuertas serán de tipo radial con un peso estimado de 75 ton cada una, elevadas por servomotores. La excavación de la obra de toma esta en una zona de fallas geológicas desfavorable para la estabilidad de taludes, por lo que los tratamientos consistirán en anclas de fricción, concreto lanzado con fibra metálica o malla electrosoldada, extensómetros de barra, drenes cortos y largos.

Para la estructura de control, los colados de la bocatoma serán divididos en tres fases.

La primera se refiere a la bocatoma, desde el piso del canal de llamada hasta la elevación 342.80, previamente en el piso del canal de llamada se colara una losa de concreto reforzado de 1 m de espesor, para llegar a la elevación 322.40, en esta etapa se usara cimbra convencional utilizando un andamiaje, donde no se puedan apoyar los andamios se usara cimbra trepante.

La segunda etapa, sección donde corren las compuertas de la elevación 322.40 a 393.00, se usara cimbra deslizante, se colocaran previamente las partes fijas que serán embebidas para las guías de las compuertas. El equipo deslizante consta de cimbra de madera forrada de lámina galvanizada de calibre 22, armadura para equipos de izaje, bomba hidráulica, mangueras de alta presión, gatos hidráulicos. La rejilla metálica en cada bocatoma, se colocara una vez que sea terminada la excavación de la tubería a presión.

En la tercera etapa, sobre la elevación 393.00 hasta la 396.00, se usara cimbra trepante. Entre el remate de la estructura de deslizamiento de compuertas y la plataforma, se dejaran los preparativos para alojar los carriles para la operación de la trabe o grúa pórtico que será de acero estructural A-36.

La conducción o tubería a presión, son dos túneles de sección circular de 9.60 m y una longitud horizontal de 132 m y 114 m en la rama inclinada. Los túneles se atacaran por dos frentes. El primero desde la bocatoma y el segundo desde el túnel auxiliar que llegara a la zona en donde inicia el tramo horizontal.

En la zona de transición de sección cuadrada a circular, se habilitara una zona de maniobras para la excavación de un primer túnel inclinado mediante contrapocera y posteriormente ampliar dicho túnel hasta la sección circular requerida. Para la ampliación de la parte inclinada se utilizaran perforadoras de pierna, un hidrotrack, lanzadora de concreto, bomba de inyección, compresor eléctrico, un malacate y equipo menor de apoyo.

Se tiene considerado estabilizar la excavación mediante anclas de tensión de 1" y 1 ½" de diámetro tensadas a 2 y 4 ton. Se usara concreto con fibra metálica. Se colocaran los anillos metálicos de blindaje para conformar tramos de 12 m de longitud máxima.

En casa de maquinas, la excavación tendrá una longitud de 97.50 m, ancho de 22.20 m y altura de 49.50 m. Se iniciara la excavación desde el túnel auxiliar de construcción que llegara a la casa de maquinas por la pared de aguas abajo.

La bóveda se excavara en tres sub-etapas entre las que se llevara un defasamiento de por lo menos 10 m, la longitud de avance se definirá de acuerdo a las condiciones geológicas ya que es una zona donde confluyen diferentes fallas. (fig I.7)

Una vez concluida la excavación de la bóveda, se continuara con la excavación de la caverna en cinco banqueos (elevaciones de 237.00 a 230.60, luego a 224.20, 218.20, 212.20, 205.50, y posteriormente se excavarán las fosas para turbinas, carcamo de bombeo y galería de drenaje.

El equipo a utilizar en la barrenacion será un hidrotrack y el Jumbo electrohidraulico de tres brazos.

El tratamiento previsto para la casa de maquinas consta de drenes en la bóveda y en las paredes, anclas de fricción de diferentes diámetros y longitudes.

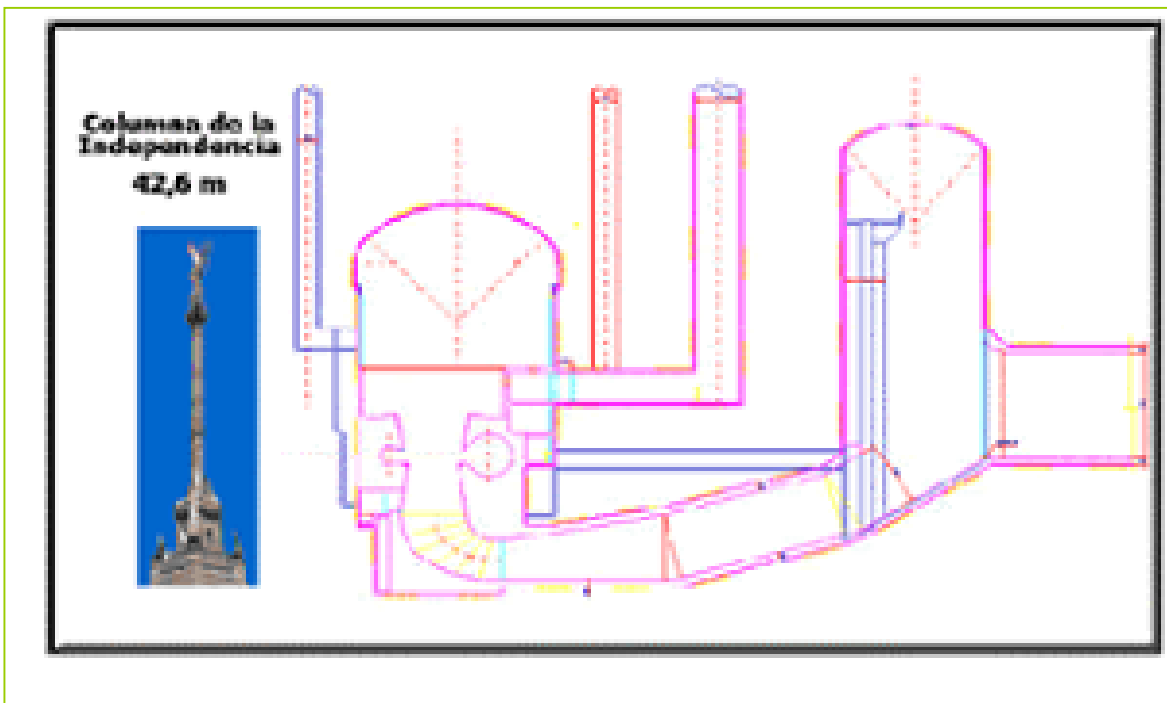


Fig 1.7. COMPARATIVO DE CASA DE MAQUINAS CON LA COLUMNA DE LA INDEPENDENCIA

El proceso de colocación del concreto hidráulico se inicia con los de la parte profunda, losa y muros, mediante colados masivos. En los colados de la carcasa se irán empacando las piezas metálicas necesarias. Se colocaran las columnas metálicas como apoyos para la trabe viajera o carril.

**La casa de maquinas se logro construir en un periodo de tan solo nueve meses.**

La galería de oscilación y túnel de aspiración, tendrá una longitud de 67 m, un ancho de 16 m y una altura de 43.70 m. La bóveda esta comprendida entre las elevaciones 255.50 y la 247.50. Se excavara por el método de barrenacion y voladura en dos etapas para lo cual se llevara un defasamiento entre ellas de 10 m. Se utilizara un Jumbo electrohidraulico de tres brazos, cargador frontal sobre neumáticos y camiones fuera de carretera.

Se instalaran anclas de fricción y tensión, concreto lanzado con fibra o malla electrosoldada y barrenos para drenaje. Los colados de piso se harán con proceso convencional.

Los muros y elementos estructurales que alojara las compuertas serán colados mediante cimbra trepante, embebiendo durante los colados las partes fijas de las guías de compuertas. Se harán inyecciones de contacto concreto-roca en la bóveda de los túneles de aspiración. Para la operación de las compuertas se construirá una trabe carril, cuyos apoyos del riel estarán dados por columnas en el lado aguas abajo y mediante mensulas fijas en el muro de la pared aguas arriba.

El túnel de desfogue será excavado en forma prioritaria para tener acceso a los frentes de excavación de obras subterráneas. Tendrá una sección tipo baúl de 14.00 X 14.00 m y una longitud de 310 m hasta comunicarse con la galería de oscilación. Se utilizara el mismo equipo considerado para los túneles de desvío. Una vez que se habilite el acceso al portal del túnel de desfogue, se hará la excavación a cielo abierto para llegar a la elevación 216.00, piso, y desde este se hará una rampa hasta la cota 211.00, en el inicio del túnel, los taludes serán excavados con inclinación 0.25:1. El túnel se excavara en dos etapas primero la sección media, sección superior y con un defasamiento la inferior. Si el terreno lo requiere, se colocaran marcos metálicos, mismos que servirán como soporte permanente. Se considera estabilizar la excavación en paredes y bóveda mediante anclas de fricción y concreto lanzado con fibra metálica o malla electrosoldada.

Sub Estación. La plataforma tiene un área de 15252 m<sup>2</sup> y se encuentra ubicada en la elevación 340.00. Será excavada en roca y se ubica adyacente al canal de descarga del vertedor.

Se tiene considerado estabilizar taludes mediante anclas de fricción y tensión, posteriormente se colocara concreto lanzado con malla electrosoldada.

Se habilitaran drenes y como alivio de la presión inmediata al concreto lanzado, se perforaran barrenos cortos. El edificio de subestación será de 15.80 m de ancho, 39.00 de largo y 11.00 de altura.

También alojara el edificio de control, de 15.80 m de ancho, 23.50 m de largo y 10.40 m de altura, estará junto al edificio de la subestación, divididos por una junta constructiva.

### I.2.5. Obras de excedencias. Vertedor.

El vertedor de excedencias será excavado en roca sobre la margen derecha, en una zona de fallas geológicas que la hace un sitio difícil. Estará controlado por seis compuertas radiales de 12 X 20.70 m, con una mas estimada de 178 ton cada una y ha sido diseñado para un gasto de 14864 m<sup>3</sup>/s. (fig I.8)

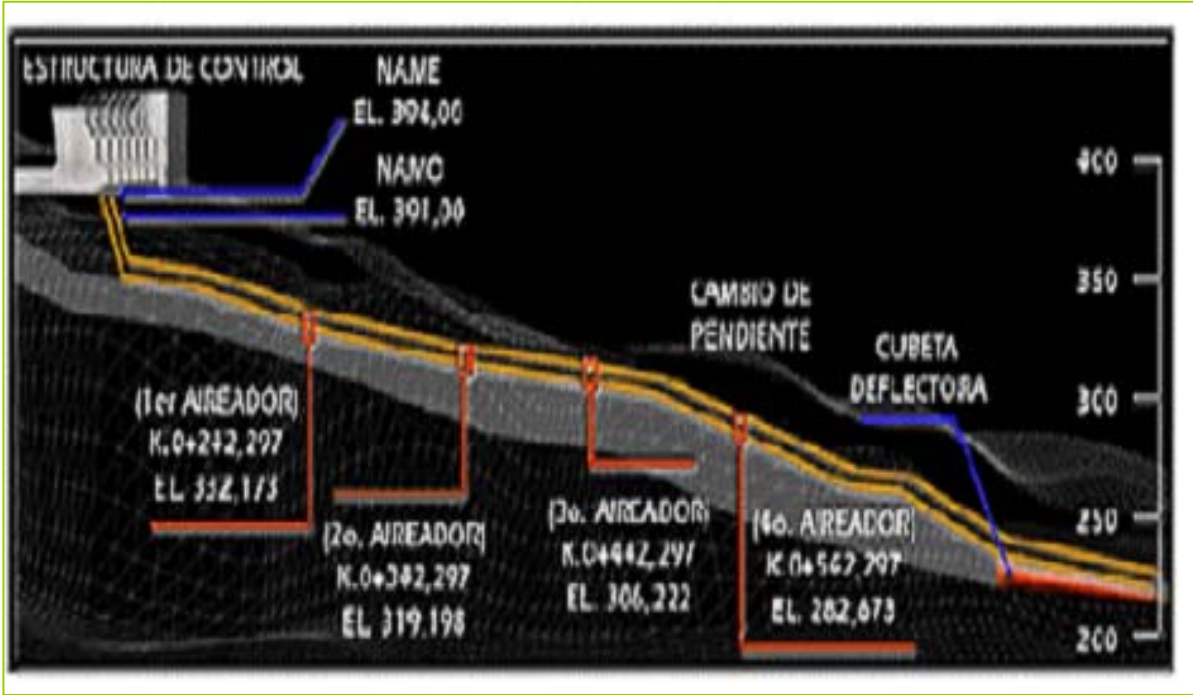


Fig I.8. PERFIL DEL CANAL DE DESGARGA.

En la secuencia de excavación será prioritario 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.

El canal de llamada, tiene un ancho de 50 m en su parte mas angosta, en la entrada. Cuenta con muros de encause hacia la estructura de control, donde alcanza en su parte mas ancha con 120 m. El equipo a utilizar consta básicamente de tractores de hoja topadora para realizar las excavaciones de suelo y para roca se utilizaran perforadoras tipo hidrotrack, explosivos y camiones.

Se realizaran banqueros de 10 m en cada plataforma formada, a excepción de los 12 m aldaños a los taludes, en el cual se harán banqueros de 5 m, dando acceso a los equipos de tratamiento de taludes, que serán protegidos conforme al proyecto. Se colocaran anclas de fricción y de tensión, concreto lanzado con fibra metálica o malla electrosoldada, drenes cortos de 20 cm, y drenes largos de 6 a 9 m.

Obra de control, una vez iniciado el canal de llamada, se incorporara un segundo equipo de trabajo para atacar en forma simultánea la estructura de control. Dicha estructura de control comprende seis 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. Los muros de cada vano son de concreto reforzado de máximo 29 m. En la zona del cimacio, se profundizara la excavación en la parte de aguas arriba para conformar el dentellon. Para la colocación de compuertas se embeberán las partes fijas en los primeros colados y previo a los segundos se fijaran las ranuras para el deslizado de las compuertas. En las zonas de colados masivos se harán con bomba y cimbras convencionales.

En el cimacio se colocara la cimbra para la conformación de una galería conforme se vayan desarrollando los colados. En las zonas de apoyo de la rotula de las compuertas se colocaran elementos postensados. El puente de maniobras ubicado sobre las pilas del vertedor, de 17.48 m de ancho, consiste en ocho trabes reesforzadas tipo ASSHTO, losa acero y losa de 20 cm.

Canal de descarga, consiste en dos canales a cielo abierto de sección cajón de 43.60 m de ancho cada uno y muros de concreto de 8 a 9 m de altura y longitud de 742 m, para la conducción de los volúmenes desalojados por el vertedor. Tiene un desnivel total de 125.16 m desde la cresta del cimacio hasta la estructura de amortiguamiento final. Se atacaran con los dos grupos de trabajo en el sentido de la estructura de control hacia la salida de los canales. Para el piso se harán colados de 70 cm de espesor con cimbra deslizante, se colocaran en zanjas drenes de PVC ranurado de 8 inch en el piso del canal.

También en el piso se harán barrenos de 6 m de longitud para habilitar drenes en el macizo, con tubos de PVC ranurado de 2" de diámetro envuelto con geotextil y anclas de fricción. En los taludes se colocaran anclas de tensión. Donde se requiera se colocara concreto lanzado con fibra metálica.

Cubeta deflectora, la descarga de los canales hacia el cause natural se realiza mediante una cubeta de descarga libre. Bajo la cubeta se alojara una galería de 3.60 X 3.60 m mediante la excavación de una zanja de 2.80 x 3.00 m de profundidad. El proceso es similar al descrito en las etapas de excavación, tratamientos, drenes, anclajes y colados. Los colados de la piel del deflector se harán con cimbras especiales y se dará la forma con guías.

A continuación se presenta una tabla con información resumida de estas obras.

<b><u>Obra de Excedencias</u></b>		
Tipo	Controlado	
Avenida máxima probable	15 915	m <sup>3</sup> /s
Gasto máximo de diseño	14 864	m <sup>3</sup> /s
Gasto unitario máximo de descarga	207,01	m <sup>3</sup> /s/m
Volumen de la avenida de diseño	5 238*10 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup>
Periodo de retorno de la avenida de diseño (Tr)	10 000	años
Velocidad máxima en la descarga	46	m/s
Carga sobre la cresta	22	m
Elevación de la cresta	372,00	m
Elevación del umbral compuertas/ agujas	371,597 / 371,95	m
Elevación de la plataforma de operación de compuertas y agujas	396,0	m
Elevación del eje de rotación de la compuerta radial	382,301	m
Radio de la compuerta radial	25	m
Longitud total de la cresta	72	m
Elementos de cierre	Compuertas radiales	
Cantidad	6	pza
Dimensiones (ancho x alto)	12 x 20,70	m
Relación alto / ancho	1,73	



***CAPITULO II. "DESCRIPCION DE  
LA CORTINA DE ENROCAMIENTO".***

## CAPITULO II. "DESCRIPCION DE LA CORTINA DE ENROCAMIENTO".

### II.1. Características Generales para la Presa de Enrocamiento con Cara de Concreto.

En el P.H. El Cajón, la estructura mayor es la cortina de tipo enrocamiento con pantalla impermeable de concreto. La cual, al final de su construcción, alcanzara la elevación 396.5 msnm, con lo cual tendrá una altura efectiva de 188 m. (fig. II.1)

Sus taludes, aguas arriba y aguas abajo, se construirán con inclinación 1.4:1.

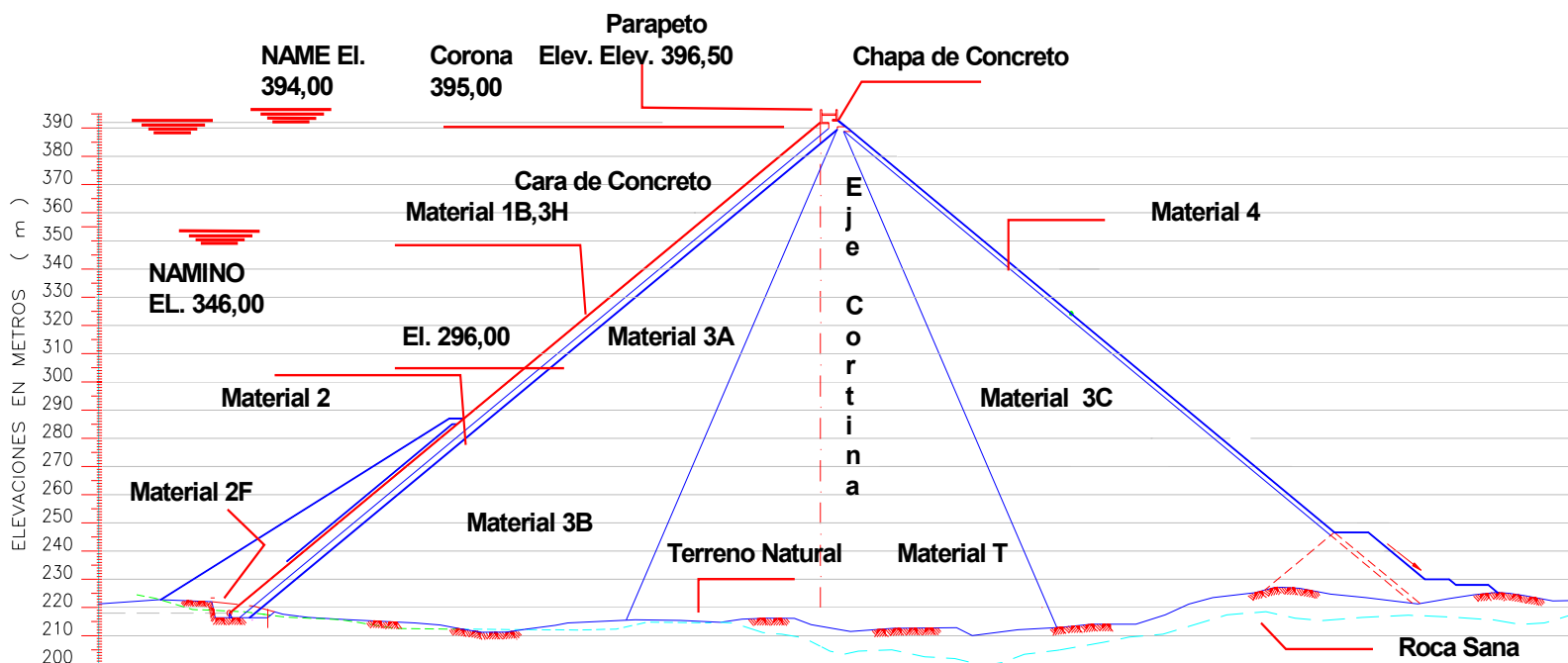


Fig II.1. ESQUEMA GENERAL DE LA CORTINA.

En el talud de aguas arriba de la cortina se construirá una losa de concreto reforzado de espesor variable, denominada cara de concreto. Esta losa forma parte del plano de estanqueidad de la cortina.

El área de la cara de concreto es del orden de 107,208 m<sup>2</sup>. La unión de la cara de concreto con la roca tanto en la zona del cauce como en las laderas de empotramiento, se forma por medio de una losa perimetral de concreto armado anclada a la roca con acero corrugado de alta resistencia e inyectado con mortero de cemento, esta losa se denomina PLINTO (Cap II.4) desde el cual se deben ejecutar las inyecciones de contacto concreto roca, consolidación e

Impermeabilización de la roca de cimentación, para prolongar el plano de estanqueidad o pantalla impermeable hacia el interior de la masa rocosa.

La impermeabilidad debajo del cause se lograra con una pantalla formada mediante inyecciones de mortero desde el mismo plinto.

Entre el plinto y la losa de concreto, se colocara una junta que comprende un sello de lamina de cobre rolado en caliente, neopreno, banda de PVC y madera.

En las juntas a tensión se colocara sello de cobre en la parte superior y en la inferior del peralte de la junta.

Previo al inicio de la colocación de los materiales de relleno de la cortina, se removerá el material suelto en las laderas, se eliminara el material inadecuado como árboles, hierba, arcilla y en general materia orgánica, material alterado, depósitos arcillosos y areno-limosos, cuando el desplante se realice sobre roca y en el caso de que se encuentren zonas con defectos o bloques sueltos, estos serán retirados y se rellenaran las depresiones con concreto, a dicho proceso se le conoce como “concreto dental” o “reposición de roca”.

El cuerpo principal de la cortina y ataguías, es de material procesado producto de voladuras con explosivos de pedreras ubicadas en la margen derecha aguas abajo y sobre todo de productos de excavaciones de las zonas donde se ubicaran las estructuras del proyecto, principalmente del vertedor.

Se debe contar con la capacidad y experiencia suficiente del personal encargado de dichas voladuras, para garantizar que en efecto se obtendrán materiales que cumplan con las dimensiones requeridas para cada una de las zonas que conformaran el cuerpo de la cortina.

Las ataguías son estructuras que se construyen para contener y desviar el río durante el proceso de construcción de la cortina. Y de hecho cada una de estas se puede considerar como pequeñas presas de enrocamiento

El corazón impermeable de estas estructuras se obtiene de bancos de material arcilloso, los materiales para filtros y transición deben ser obtenidos de bancos de aluvión sobre el cause del río y/o por medio de trituración de roca, el enrocamiento de respaldo y protección son producto de excavaciones, principalmente de los túneles de desvío.

***La gran innovación a nivel mundial de esta cortina, es el hecho de que cuenta en su proceso constructivo, con la colocación de material de transición T entre los materiales 3B y 3C, con lo cual se garantiza una liga entre ellos.***

Se deben preparar las cimentaciones, hacer el tratamiento de la roca y colocar los materiales que componen la cortina y ataguías de acuerdo con las líneas y elevaciones propias del proyecto.

A través de cuadrillas de topografía que deben contar con el equipo necesario en todo momento y trabajar estrechamente con el constructor para garantizar el buen desempeño de la obra.

Sin embargo debido a la alta variabilidad local que puede presentar la roca y por la magnitud del proyecto, podrían variar dichos niveles hasta encontrar la roca apropiada para el desplante, por lo cual el contratista debe prever modificaciones o ajustes a los límites y las elevaciones de desplante de los materiales de la cortina y/o ataguías, aumento o disminución del área de limpia en zonas de laderas o del cause y cualquier cambio de la zonificación de materiales de la cortina que se considere necesarios para lograr que el desplante de las estructuras se realicen sobre roca o materiales sanos, sin alteraciones por intemperismo.

Simultáneamente al crecimiento de la cortina se instalara la instrumentación a base de piezómetros en la zona de plinto y extensómetros en las juntas de las losas de concreto y extensómetros de barra en las laderas, celdas hidráulicas, piezómetros eléctricos y abiertos, inclinómetros, dos líneas de referencias topográficas a lo largo de la corona y sobre el talud de aguas abajo en las tres secciones transversales, acelerografos y dispositivos de aforo. Todo lo anterior para garantizar el buen funcionamiento de estas estructuras mediante un monitoreo constante. Y en caso de ser necesario, detectar y corregir oportunamente algún error.

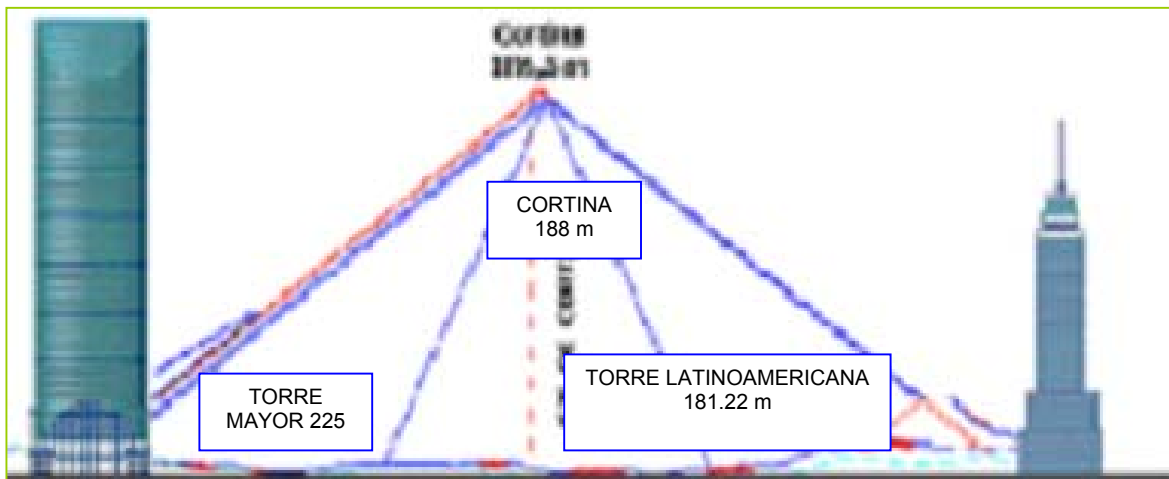


fig II.2. COMPARATIVO DE LA CORTINA CON LA TORRE LATINOAMERICANA Y TORRE MAYOR

En resumen:

<b>Cortina</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Enrocamiento con Cara de Concreto</b>	
Elevación de la corona	396.00	msnm
Elevación máxima del parapeto	396,50	msnm
Longitud de la corona	550,0	m
Altura total de la Cortina	188	m
Volumen total de terracerías	11,090,707	m <sup>3</sup>
Talud aguas arriba	1,4:1	
Talud aguas abajo	1,4:1	
Altura bordo libre	2,00	m

## II.2. Análisis y diseño geotécnico de la cortina.

Como ya se menciona, la cortina del PH El Cajón tendrá una altura total al desplante de 188 m. Actualmente sólo existen dos presas de ECC (Enrocamiento con Cara de Concreto) construidas con alturas similares, Aguamilpa y Tianshengqiao No. 1 y sólo otras dos presas con alturas de 160 o mayor, Foz Do Areia y Yacambu.

En la tabla siguiente se presentan algunas características de estas presas (Cooke, 2002).

Nombre	País	Altura m	Año de construcción	Taludes		Área de la cara $10^3 \text{ m}^2$	Enrocamiento		Capacidad del embalse $10^6 \text{ X m}^3$
				Aguas arriba	Aguas abajo		Tipo	Volumen $10^3 \text{ m}^3$	
Foz do Areia	Brasil	160	1980	1.4	1.4	139	Basalto	13000	6950
Aguamilpa	México	187	1993	1.5	1.4	137	Grava/ignimbrita	12732	6100
Yacambu	Venez.	162	1996	1.5	1.6	13	grava	2800	435
Tianshengqiao 1 (TSQ1)	China	178	1999	1.4	1.4	41.8	Gneiss	1280	309

En general, en ambas presas se buscó obtener un alto módulo de deformación en la zona 3B, sin preocuparse demasiado de los módulos de deformación de las zonas T y 3C. De hecho, en Aguamilpa la relación entre los módulos de la zona 3B a T y 3B a 3C es del orden de 3 y 6 veces.

Si bien el comportamiento de estas presas se considera adecuado, han presentado agrietamientos atribuidos a las fuertes diferencias entre los módulos de deformación de zonas de material adyacentes.

Por otra parte, cabe comentar que el buen o mal comportamiento de una presa de este tipo no depende exclusivamente de módulos de deformación de los materiales del cuerpo de la cortina, sino que influyen otros factores como lo abrupto de sus laderas, el diseño y construcción de sus juntas perimetrales y la calidad de la construcción en general.

Por lo anterior, considerando los precedentes mencionados, la zonificación de la cortina del PH El Cajón se hará atendiendo a los siguientes criterios:

- a) Una baja deformabilidad de enrocamiento en la zona 3B
- b) Una relación de módulos de deformación entre zonas adyacentes menor que 2
- c) Eficacia y eficiencia (es decir, comportamiento adecuado a un costo razonable).

Se considera además que las laderas en la boquilla son de pendiente relativamente suave y que las juntas perimetrales y de tensión tendrán las tres barreras típicas contra filtraciones (sello de cobre, sello de PVC y material autosellante cubriendo estas juntas), y que la construcción se hará cumpliendo estrictamente con las especificaciones correspondientes.

### **Módulos de deformación requeridos.**

Si aceptamos un máximo desplazamiento de la cara de concreto del orden de 60 cm (Foz do Areia se desplazó 70 cm con filtraciones de 260 l/s que fueron reducidos a 60 l/s después de reparaciones relativamente sencillas), y utilizamos la ecuación propuesta por Hacelas para el cálculo de esta deformación (Hacelas, 1999):

$$E_{II} = 0.003 H^2/\delta$$

Donde:

$E_{II}$ , Módulo de deformación del material 3B en el llenado, en MPa

H, Altura de la presa, en m

$\delta$ , Desplazamiento máximo de la cara de concreto, en m

y consideramos una relación  $E_{II}/E_c$  igual a 2 (valor usualmente encontrado en la práctica), nos quedaría:

$$E_c = 0.003 * 186^2 / (2 * 0.6) = 86.5 \text{ MPa}$$

Donde:

$E_c$ , módulo de deformación en construcción.

Es decir, requeriríamos un enrocamiento principal con un modulo de deformación del orden de 85 MPa.

### **Taludes aguas arriba y aguas abajo**

Los taludes de aguas arriba y aguas abajo generalmente se diseñan con base en la experiencia. Con enrocamientos de buena calidad en zonas de sismicidad baja a media, generalmente se usan taludes 1.4:1, bajando a taludes 1.5:1 para gravas o enrocamientos de relativa baja resistencia al corte.

Para el PH EL Cajón se consideró en principio considerar taludes 1.5:1 para el talud de aguas arriba y 1.48:1 para el de aguas abajo. Estos taludes se revisarían durante el diseño sísmico.

Actualmente, existe una propuesta (Cooke, 2002) de utilizar taludes 1.4:1 tanto aguas arriba como aguas abajo. Considerando los resultados obtenidos en las pruebas triaxiales, estos valores parecen factibles de utilizar, sin embargo, deberá evaluarse si la diferencia en pérdida de bordo libre ante acciones sísmicas no es significativa comparada con la opción original.

### **Análisis de desplazamientos y deformaciones (desplazamientos inmediatos)**

Con base en la información anterior se ejecutaron análisis de elemento finito para pronosticar el orden de magnitud de los asentamientos de la presa mediante el software SIGMA/W.

Los valores de los módulos de deformación utilizados se definieron de acuerdo a lo siguiente:

El módulo de deformación de un enrocamiento depende principalmente de los siguientes factores:

- a) Dureza y forma de los granos (medido a través de la carga de ruptura de granos,  $P_a$ )
- b) Compacidad o grado de acomodo alcanzado (medido por la relación de vacíos)
- c) Granulometría (medido con el coeficiente de uniformidad,  $C_u$ ,  $d_{60}/d_{10}$ )
- d) Tamaño máximo de partícula.
- e) Humedecimiento del enrocamiento antes de compactar
- f) Peso del rodillo utilizado en la compactación, así como el espesor de capa y el número de pasadas

En general, el módulo de deformación,  $E_c$ , se incrementa al crecer la carga de ruptura,  $P_a$  y el coeficiente de uniformidad, y al decrecer la relación de vacíos y el tamaño máximo de partícula.

De los factores mencionados, sólo la dureza es una característica intrínseca del material, el resto pueden ser controlados, hasta un cierto punto, mediante especificaciones adecuadas.

En el estudio de los materiales para enrocamiento los valores esperados del módulo de deformación, obtenidos de las pruebas de placa en el pedraplén de prueba, están entre 60 y 110 MPa para las capas de 40 y 60 cm.

Por otro lado la instrumentación del pedraplén, proporciona valores de  $E_c$  del orden de 70 MPa para un enrocamiento con 0.255 de relación de vacíos promedio, de 50 MPa para una relación de vacíos de 0.286 y de 30 MPa para una relación de vacíos de 0.39.



Adicionalmente, en laboratorio para condiciones secas se alcanzaron módulos de deformación entre 110 y 200 MPa para pruebas en odómetro mediano (tamaño máximo de partícula de 38 mm, y relación de vacíos de 0.22) y entre 110 y 170 MPa para la prueba de odómetro gigante (relación de vacíos de 0.28 y 17 mm de tamaño máximo).

Por lo tanto, tomando en cuenta estos resultados, así como los valores de  $E_c$  medidos en Aguamilpa (130 MPa para el material T, capas intercaladas de aluvión e ignimbrita de 60 cm de espesor, 47 MPa para el 3C, ignimbrita colocada en capas de 120 cm), es posible afirmar que el enrocamiento del banco El Vertedor, con una granulometría bien graduada, colocado en capas de 60 cm de espesor y compactado con 6 pasadas del rodillo liso vibratorio de 10.6 ton de peso alcanzará una relación de vacíos promedio de 0.26 y un modulo de deformación del orden 70-80 MPa.

Las zonas T y 3C deberán tener valores mayores que 40 MPa y 20 MPa, respectivamente. El talud de la línea que separa a las zonas T y 3C depende de la calidad del enrocamiento. Para el proyecto se propone un talud 0.5:1, aunque también se analiza un talud 0.7:1.

En la tabla siguiente se presenta un resumen de las zonificaciones analizadas.

Zonificaciones de la presa.

No. de alternativa	Zona	Material	Espesor de capa m	Procedimiento de compactación	Valores de los parámetros			Deflexión máxima esperada en la losa m
					Densidad seca Mg/m <sup>3</sup>	Relación de vacíos e	Modulo de deformación $E_c$ MPa	
I	3B	Enrocamiento (ignimbrita). 0.5 m de tamaño máximo	0.6	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.096	0.25	70 – 80	0.5 – 0-6
	T	Enrocamiento (Ignimbrita). 0.6 m de tamaño máximo	0.8	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.047	0.28	40 - 45	
	3C	Enrocamiento (ignimbrita) 0.6 m de tamaño máximo	0.8	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.047	0.28	40 - 45	

II	3B	Enrocamiento (ignimbrita). 0.5 m de tamaño máximo	0.6	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.096	0.25	70 - 80	0.5-0.6
	T	Enrocamiento (Ignimbrita). 0.6 m de tamaño máximo	0.8	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.047	0.28	40 - 45	
	3C	Enrocamiento (ignimbrita) 0.8 m de tamaño máximo	1.2	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	--	--	20 - 25	

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON

---

III <sup>(b)</sup>	3B	Enrocamiento (ignimbrita). 0.5 m de tamaño máximo	0.6	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.096	0.25	70 - 80	0.5-0.6
	T	Enrocamiento (Ignimbrita). 0.5 m de tamaño máximo	0.6	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.047	0.25	70 - 80	
	3C	Enrocamiento (ignimbrita) 0.8 m de tamaño máximo	1.2	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	--	--	20 - 25	

IV <sup>(c)</sup>	3B	Enrocamiento (ignimbrita). 0.8 m de tamaño máximo	0.8	4 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.015	0.30	30-35	1.1 – 1.26
	T	Enrocamiento (Ignimbrita). 0.8 m de tamaño máximo	0.8	4 P RLV de 10.6 t, 20% de agua	2.015	0.30	30-35	
	3C	Enrocamiento (ignimbrita) 1.6 m de tamaño máximo	1.6	6 P RLV de 10.6 t, Sin agua	--	--	20	

V <sup>(d)</sup>	3B	Enrocamiento (ignimbrita). 0.5 m de tamaño máximo	0.6	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.096	0.25	70 - 80	0.5-0.6
	T	Enrocamiento (Ignimbrita). 0.6 m de tamaño máximo	0.8	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	2.047	0.28	40 - 45	
	3C	Enrocamiento (ignimbrita) 0.8 m de tamaño máximo	1.0	6 P RLV de 10.6 t, agregando 20 % de agua	--	--	30 - 35	

Nomenclatura:

P: pasadas.

RLV: Rodillo Liso Vibratorio.

Notas:

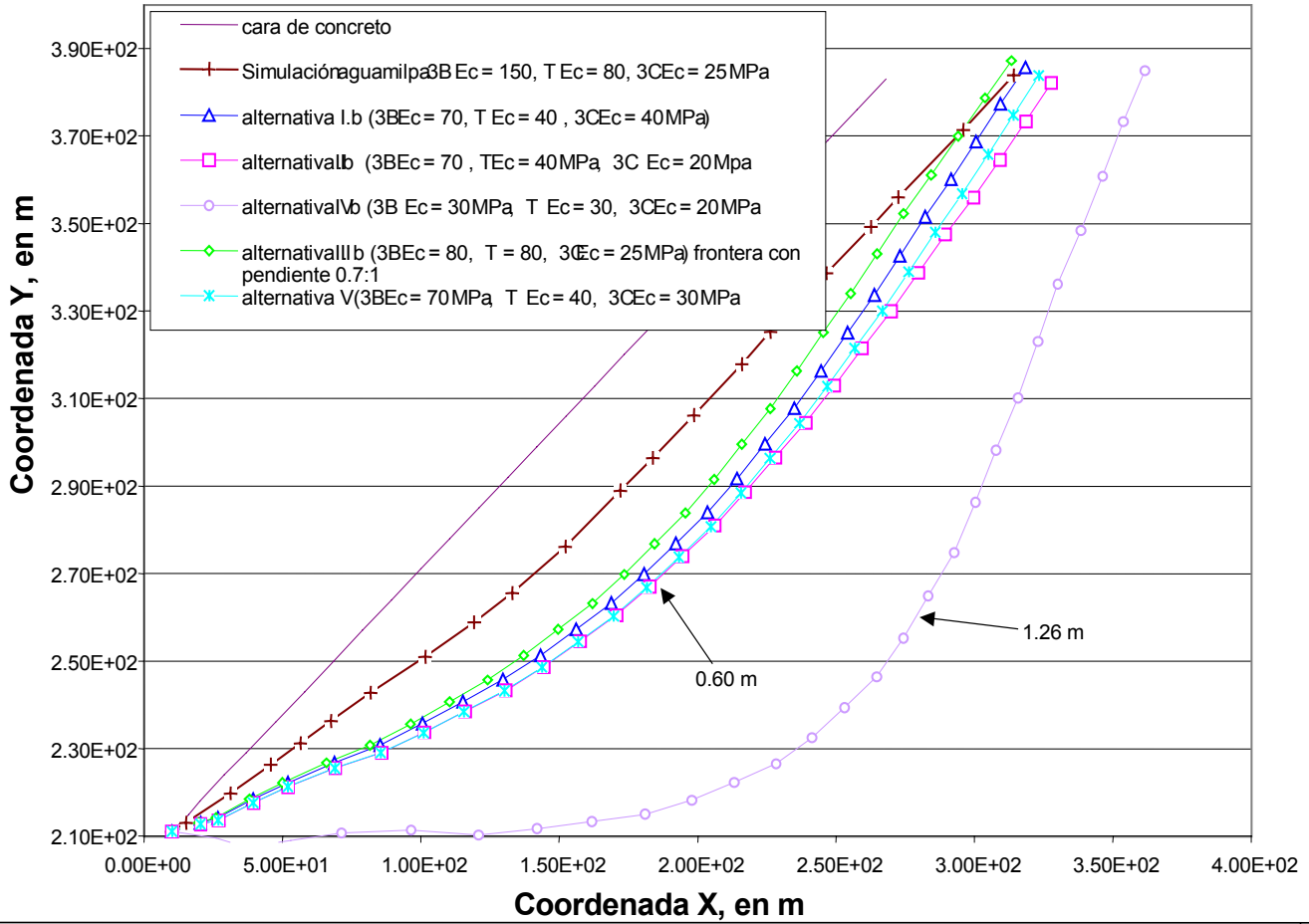
- a) La modelación se realizó suponiendo un comportamiento elástico de los materiales involucrados, hipótesis que ha logrado reproducir convenientemente el comportamiento de este tipo de presas.
- b) La alternativa III se modeló con talud entre zona T y 3C de 0.5:1 y 0.7:1, así como con talud aguas arriba de 1.5:1 y 1.4:

### Interpretación de resultados

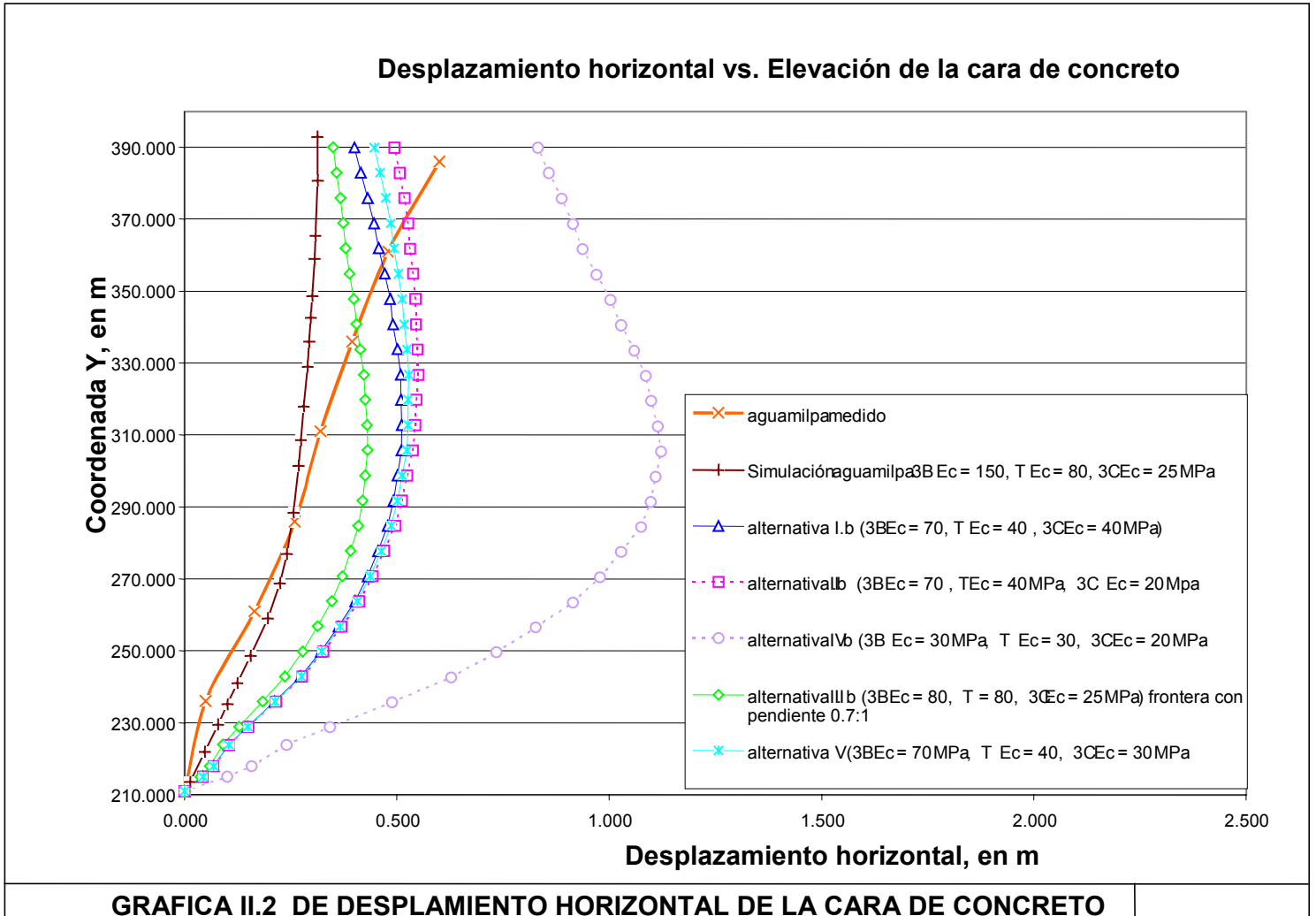
Las deflexiones máximas calculadas en la losa aparecen en la tabla anterior y en las graficas II.1, II.2 y II.3 de lo cual es posible concluir lo siguiente:

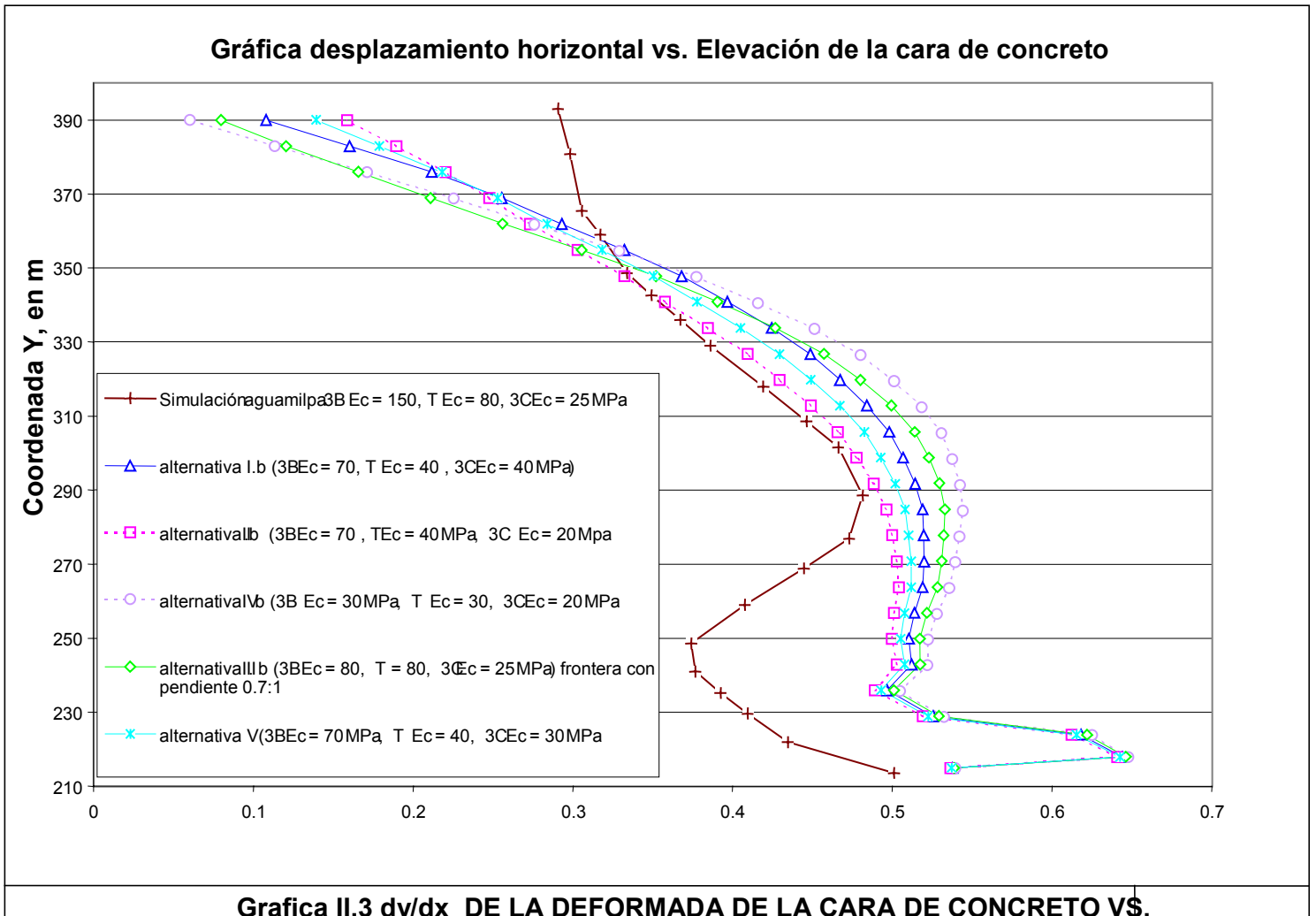
- a) Las alternativas I, II, III y V (zona 3B con capas de 0.6 m de espesor y variando únicamente las características de la zona T y 3C), prácticamente proporcionan el mismo resultado en cuanto a desplazamiento máximo de la cara de concreto (del orden de 50-60 cm).
- b) La principal diferencia es que la alternativa II (zona T con capas de 0,8 m y zona 3C con capas de 1.2 m) presenta desplazamientos horizontales y verticales ligeramente mayores en la parte superior de la presa, debido sobre todo a la presencia de un material 3C con un módulo de deformación relativamente bajo. Sin embargo, esta diferencia es pequeña, por lo que no parece que signifique una diferencia importante en el comportamiento de la presa.
- c) Ninguna de estas alternativas presenta un cambio de curvatura en la deformada de la presa (ver graficas II.1, II.2 y II.3), por lo que no se prevén problemas de agrietamientos por esa causa; a diferencia de lo que ha pasado en Aguamilpa. Esto se debe a que la diferencia de módulos entre zonas adyacentes es menor que 2.
- d) Para la opción IV (recomendada por JB Cooke), el desplazamiento máximo de la cara de concreto es del orden de 120 cm, valor que pudiera implicar riesgos de deformaciones excesivas de la junta perimetral y posibles agrietamientos en la cara de concreto.
- e) Los contornos de esfuerzos y desplazamientos para la alternativa III.c, la cual consideró un talud aguas arriba de 1.4:1, son prácticamente las mismas que para las alternativas con taludes 1.5:1.

Deformada de la cara de concreto



Grafica II.1 DEFORMADAS CALCULADAS DE LA CARA DE CONCRETO PARA TODAS LAS ALTERNATIVAS





**Desplazamientos a largo plazo**

Las alternativas I, II, III y V consideran la utilización de agua durante la compactación del enrocamiento en toda la presa, lo cual, además de mejorar las características de compactación del material reducen de manera significativa los desplazamientos a largo plazo.

- a) Más del 70% de la deformación a largo plazo ocurre durante el primer año
- b) Del año 2 al 10 la deformación axial a largo plazo sería del orden de 0.1% para las zonas de la presa más esforzadas. En los siguientes años la deformación ya es despreciable.

- c) Por lo anterior, es posible predecir, conservadoramente, que el asentamiento de la corona de la presa con el tiempo después de construida será del orden de 0,1% de la altura, es decir, 18 cm (Aguamilpa actualmente se ha asentado del orden de 45 cm).

Para la alternativa IV, la cual considera capas de 2 m sin agua en la zona 3C, es posible esperar un asentamiento a largo plazo mayor que el medido actualmente en Aguamilpa, es decir, un asentamiento de la corona de mas de 60 cm en los primeros diez años de vida de la presa.

### Conclusiones

Con base en los resultados de campo, laboratorio y de los análisis realizados, es posible concluir lo siguiente:

- a) El enrocamiento estudiado en el pedraplén, proveniente del banco El Vertedor, puede clasificarse como bien graduado y de granos blandos.
- b) Este enrocamiento posee resistencia al corte alta ( $\phi_0 = 58.5^\circ$  y  $\Delta\phi = 12^\circ$ ), por lo que no se prevén problemas de estabilidad de la presa.
- c) En general, el enrocamiento mejora en cuanto a dureza de grano con la profundidad de extracción, aunque mantiene su clasificación de grano blando.
- d) Los módulos de deformación confinados del enrocamiento medidos en pruebas de placa dan valores esperados entre 60 y 120 MPa para relaciones de vacíos del orden de 0.25
- e) Los módulos de deformación confinados ( $M_{oc}$ ) obtenidos en pruebas de odómetro variaron entre valores de 110 y 200 MPa para condiciones secas, relaciones de vacíos entre 0.22 y 0.28, tamaños máximos de partícula de 38 y 170 mm y cargas aplicadas de 0.15 a 5 MPa. Para condiciones saturadas estos valores disminuyeron a valores entre 50 y 140 MPa.
- f) Los módulos de deformación no confinados (obtenidos a partir de  $M_{oc}$ ) variaron entre 70 y 120 MPa y entre 35 y 90 MPa para las condiciones antes señaladas.
- g) Para las zonificaciones propuestas se esperan, de manera conservadora, los siguientes módulos:

Espesor de capa en m	Relación de vacíos alcanzada e	Modulo de deformación esperado (E) en MPa
0.6	0.26	70 - 80
0.8	0.28	40 - 45
1.0	0.30	30 - 35
1.2	0.32	20 - 25
2.0	>0.34	< 20

- h) Si consideramos la zonificación de presa definida en las alternativas I, II, III y V, las deformaciones esperadas de la cara de concreto serían del orden de 0.5-0.6 m, sin que se presentaran cambios en la curvatura de la deformada de la presa que pudieran asociarse a tensiones.
- i) Si bien la alternativa III (3B y T en capas de 60 cm de espesor) y V (3B en capas de 0.6 m, T en capas de 0.8 m y 3C en capas de 1.0 m) presentan contornos de desplazamientos verticales más suavizados y una deformada de la cara de concreto con una concavidad hacia arriba ligeramente mayor que las obtenidas con las alternativas I y II, en la opinión de la Subgerencia de Geotecnia y Materiales de CFE, prácticamente no existiría una diferencia significativa en el comportamiento de la presa para esas cuatro alternativas.
- j) Es decir, todas estas alternativas ofrecerían un comportamiento adecuado de la presa, por lo que la decisión de cual opción utilizar debería basarse en criterios de eficiencia con base en una evaluación económica.
- k) Para la alternativa IV (3B con capas de 1 m y 3C con capas de 2 m) los asentamientos máximos de la cara de concreto serían del orden de 1,20 m, lo que podría implicar riesgos para el comportamiento de la junta perimetral y posibles agrietamientos de la cara de concreto, que podrían obligar a mantenimientos mayores para reducir filtraciones.
- l) Se considera factible la utilización de taludes aguas arriba y aguas debajo de 1.4:1, sólo habrá que revisar la pérdida de bordo libre ante acciones sísmicas.
- m) Al añadir agua antes de la compactación en toda la presa, se estima que el asentamiento de la corona de la presa a largo plazo será del orden del 0.1% de la altura (18 cm).



Se deberá agregar una zona 3A que funcione como filtro y transición entre la zona 2 y la 3B.

El uso de agua en todas las zonas de la presa será obligatorio para garantizar alcanzar las relaciones de vacíos establecidas y reducir los asentamientos a largo plazo de la presa. Se recomienda una cantidad de 200 l / m<sup>3</sup> de enrocamiento (20 % en volumen)

Se recomienda investigar las características de los sellos de cobre y PVC (bandas de PVC) y probarlos en laboratorio para definir su deformación de falla.

Las juntas losa-plinto, así como las de tensión deberán ser similares a las de Aguamilpa (con tres barreras: sello de cobre, sello de PVC y material autosellante, que podrá ser ceniza o limo).

### **II.3. Características de los materiales para la cortina y ataguías.**

#### **Ataguías.**

Material 2A Consiste en una arena con gravas bien graduada, con mas de 35% de material menor de 4.7 mm y tamaños máximos de 76 mm.

Material N. Es un material clasificado como arcilla arenosa de plasticidad media a alta.

Materiales 3E y 3F. Se trata de rezaga de roca producto de las excavaciones para alojar estructuras y/o del banco de roca el vertedor.

Material 3D. Este material es producto de los bancos de aluvión y/o material procesado del banco de roca el vertedor, con tamaño máximo de 30 cm.

Material TA. Es material producto de los bancos de aluvión y/o del banco de roca el vertedor, bien graduado con tamaño máximo de 20 cm.

Material 3G. Material producto de las excavaciones para alojar estructuras y/o del banco el vertedor, bien graduado y tamaños máximos de 60 cm.

#### **Cortina.**

Material 2. Es producto del banco el vertedor, clasificado como grava-arena limosa con un contenido de finos entre 6 y 10 %, y con un porcentaje mayor al 40% de material que pase por la malla No. 4. En el momento de su colocación debe tener un contenido de agua igual al óptimo  $\pm 1\%$  (grafica. II.4)

Material 2F. Debe ser producto de los bancos de aluvión y/o el vertedor, clasificado como grava-arena limosa bien graduada. (Grafica. II.5)

Material 3A. Se trata de enrocamiento bien graduado con 20 cm de tamaño máximo. (Grafica. II.4)

Material 3B. Es enrocamiento bien graduado con tamaños máximos de 65 cm. (Grafica. II.6)

Material T. Enrocamiento bien graduado, con tamaño máximo igual a 80 cm. (Grafica. II.6)

Material 3C. Enrocamiento bien graduado con tamaño máximo igual a 110 cm. (Grafica. II.7)

Material 3H. Rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada con 30 cm. de tamaño máximo.

Material 4. Fragmentos ED roca sana con tamaño mayor que 100 cm.

#### **Sobre la cara de concreto.**

Material 1B. Consiste en una arena fina limosa.

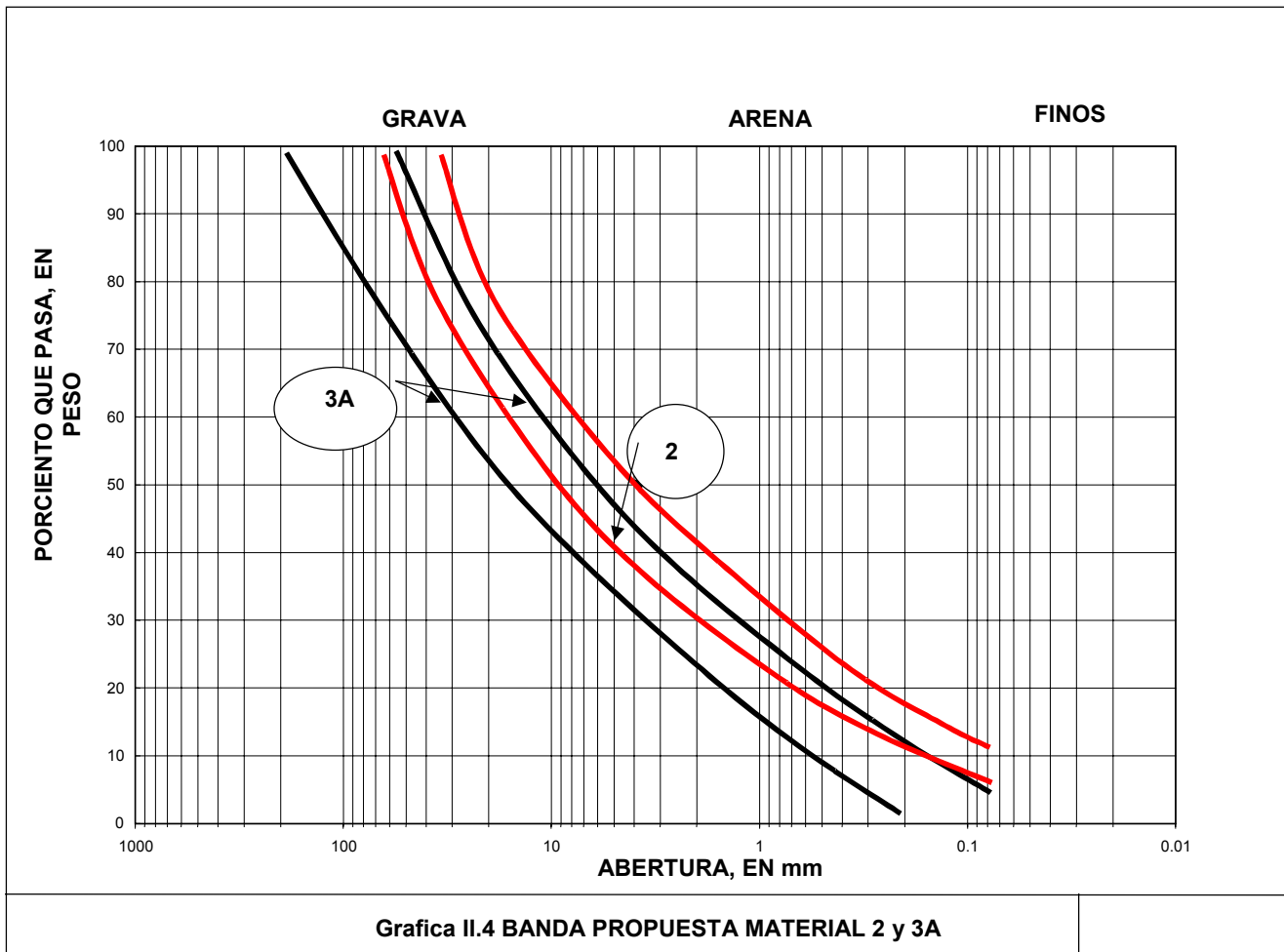
Material 3H. Consiste en un enrocamiento con 30cm de tamaño máximo.

#### **Zona inferior de junta perimetral.**

En toda la zona protegida con el material 1B, se debe colocar material sellante como ceniza o limo arenoso para proteger la junta perimetral plinto-losa.

#### **Arena asfaltada en la zona de la junta losa de concreto plinto.**

El proyecto demanda la colocación y compactación de una mezcla de arena y material asfáltico debajo del sello de cobre, en la zona de la junta perimetral del plinto. Las proporciones de este material deben ser definidas por el contratista mediante ensayos de laboratorio, revisadas y aceptadas por CFE, con las siguientes características:

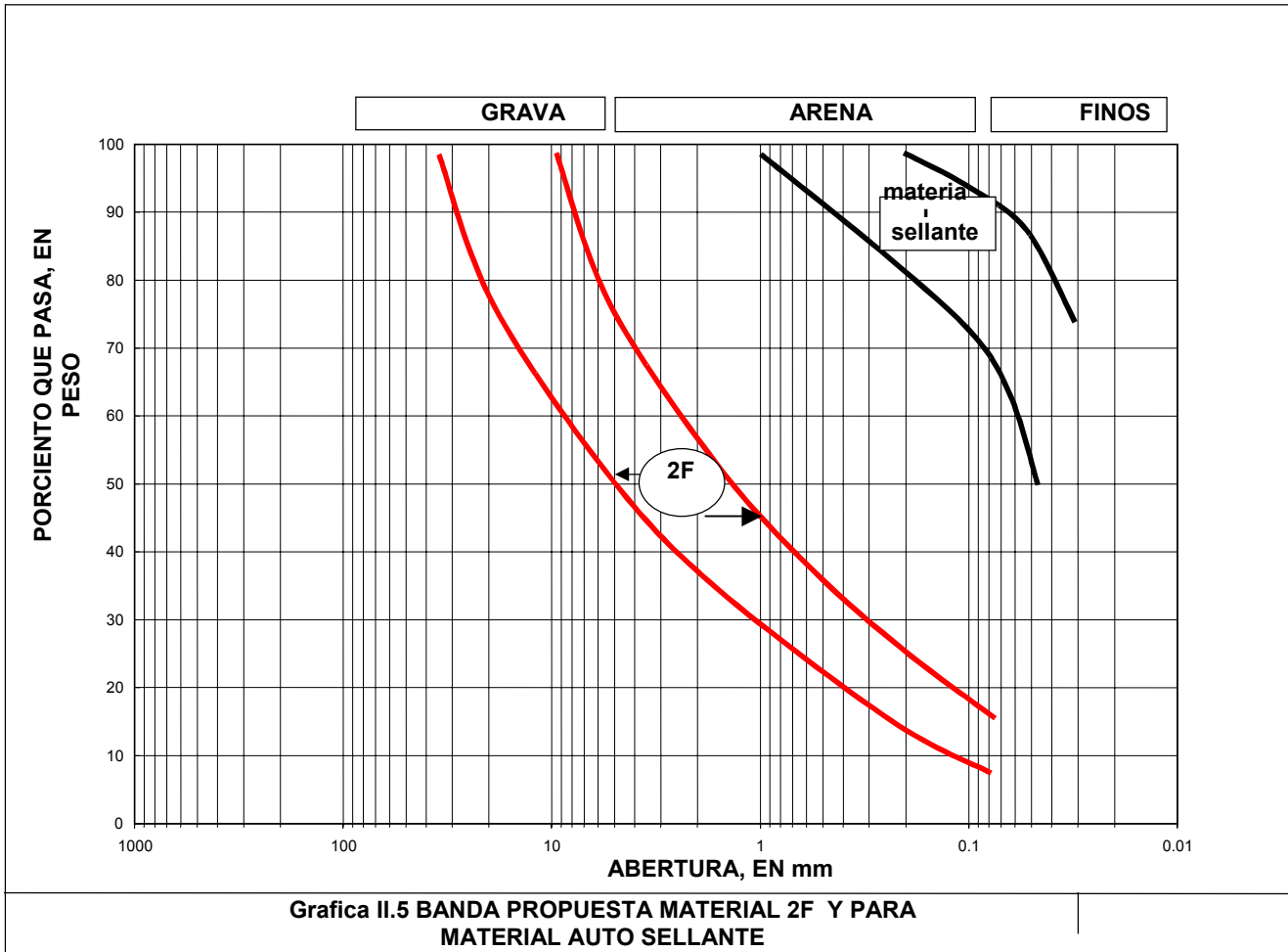


Contenido de asfalto entre el 8 y 12%

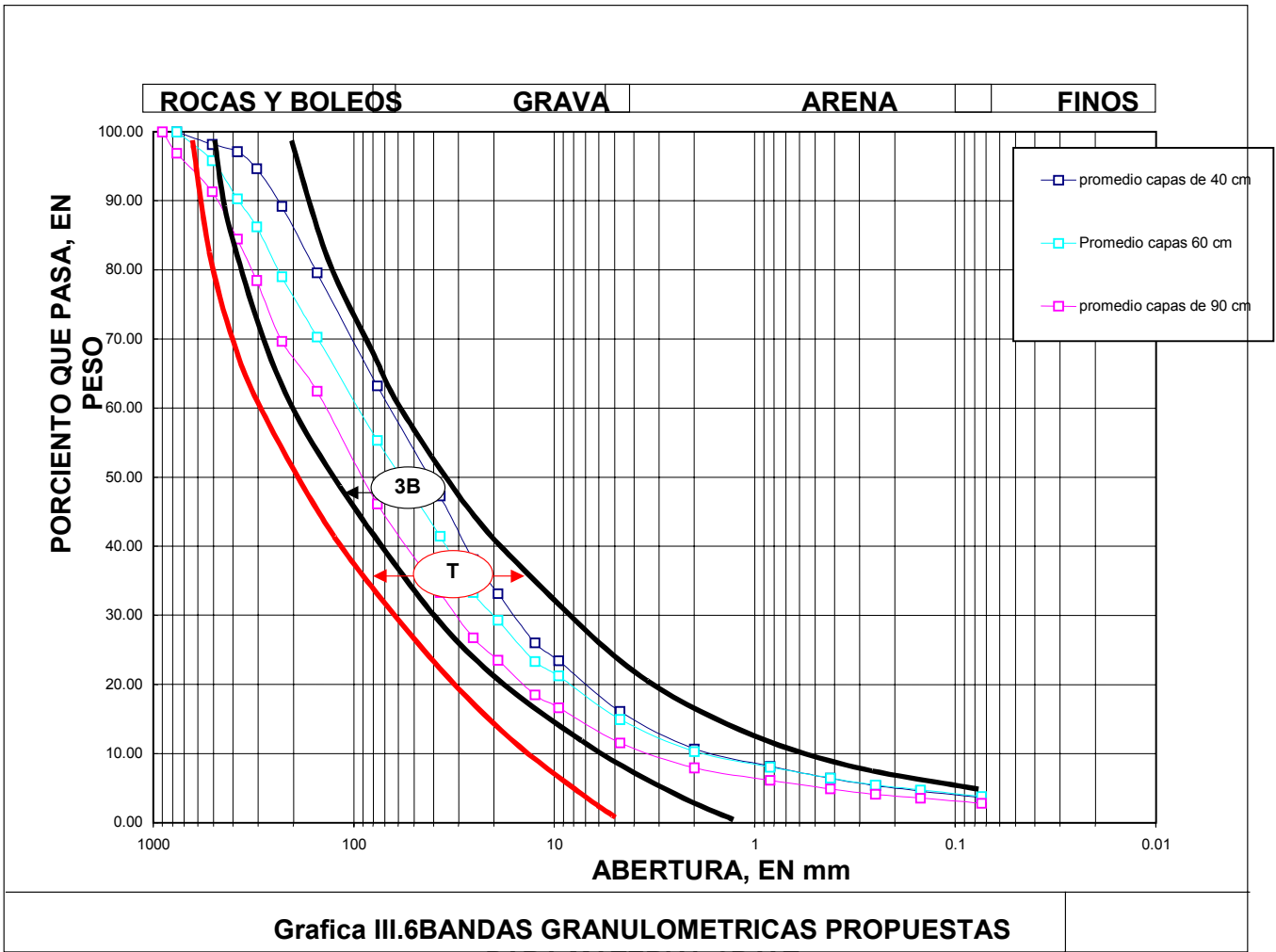
Fluencia Marshall de 15.

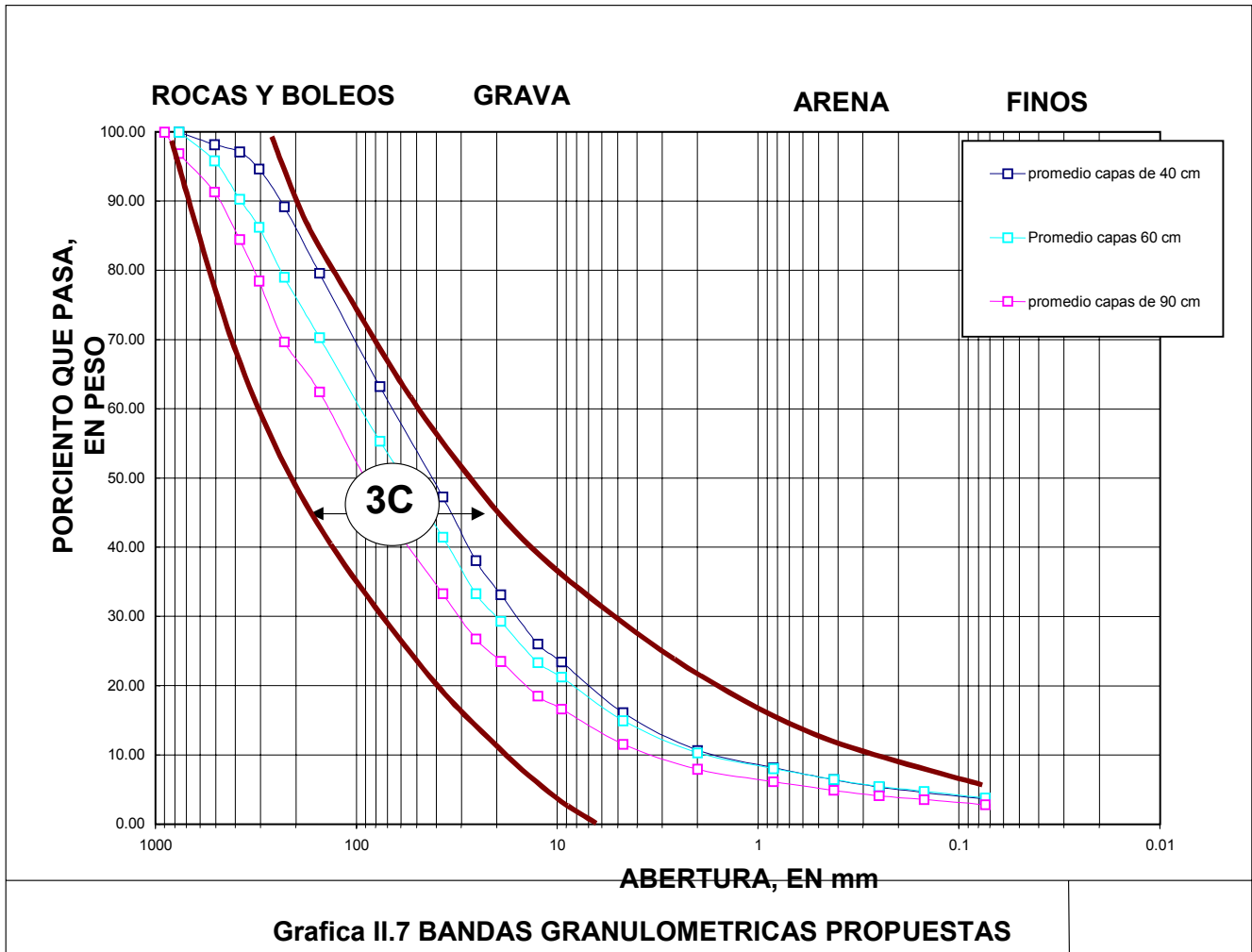
Estabilidad entre 100 y 115 kg/cm<sup>2</sup>.

La arena debe cumplir con la norma ASTM C-33. Debe tener un modulo de finura comprendido entre 2.4 y 2.8, y pasar el 100% la malla de 9.5 mm. La cantidad de material fino que pase la malla No. 200 no debe ser mayor del 5% para agregados de aluvión, ni mayor de 7% para agregados triturados. La densidad de los agregados debe ser mayor que 2.5 g/cm<sup>3</sup>.



Grafica II.5 BANDA PROPUESTA MATERIAL 2F Y PARA MATERIAL AUTO SELLANTE





## II.4. Plinto.

En las presas de enrocamiento con cara de concreto, el Plinto es la estructura que funciona como una extensión de la cara de concreto hacia la roca de cimentación de la presa, con el objeto de continuar con el plano de estanqueidad de la presa. (Fotografía II.1)

Físicamente es una zapata o losa de concreto reforzado adosada a la roca y ligada a ella mediante anclas. El plinto es un bloque continuo sin juntas especiales, aunque si con juntas frías de construcción.

El Plinto para el P.H. El Cajón, se compone de dos partes: Plinto exterior y plinto interior.

El Plinto interior, es aquella parte que queda bajo el relleno de la presa, su espesor se especifica alrededor de 30 cm.

El Plinto exterior, queda por fuera del relleno de la presa y es donde se localiza la junta perimetral. Su espesor es mayor que el del plinto interior.

Otra función del plinto es servir de plataforma para efectuar la pantalla profunda de impermeabilización en la roca como continuación del plano de estanqueidad. El plinto se liga con la cara de concreto mediante la junta perimetral que es una junta diseñada para soportar movimientos de abertura, de cizallamiento y de asentamiento sin que se rompan los sellos. El plinto tiene como condición que no se mueva ni se deforme, por tanto se ancla a la roca, mientras, el relleno de la presa y la cara de concreto estarán sufriendo deformaciones de corto y de largo plazo, debido principalmente al peso mismo del relleno, el empuje hidrostático y a movimientos sísmicos.

Una vez definidos los taludes de la presa con base en la calidad de los materiales del relleno, se procedió al trazo del plinto. Para lo cual se estableció que la cimentación de este debe hacerse sobre roca de calidad aceptable, que no sea erosionable y que permita ser inyectada, el parámetro aceptado a la velocidad de transmisión de onda en la roca, que debe ser superior a 2500 m/s.

Una vez determinada la traza de la presa, se procede al trazo del eje del plinto, para lo cual es conveniente formar tramos rectos largos, minimizando los cambios de dirección, adaptándose a la topografía de la boquilla para reducir la altura de los cortes en la zanja de excavación, es importante evitar quiebres bruscos y suavizar los cambios de dirección que son potenciales en la generación de zonas de concentración de esfuerzos y movimientos diferenciales perjudiciales.



*Fotografía II.1. PLINTO MARGEN IZQUIERDA.*

Una vez que se ha definido el eje del plinto, se procede a determinar la geometría del mismo, tomando en cuenta las características de la roca, como el grado de intemperismo, consistencia, discontinuidades y método de excavación.

Como regla general, se puede considerar el ancho del plinto como  $1/20$  de  $H$ , siendo  $H$  la carga hidráulica, aunque en zonas de roca alterada o con fallas es conveniente aumentar su ancho para extender la longitud de caída piezométrica entre el agua del embalse y el agua aguas abajo del plinto.

El concreto que se usa para el plinto es un concreto de resistencia a los noventa días de  $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$  y peso volumétrico de  $2200 \text{ kg/cm}^3$ .

El acero de las varillas de refuerzo es corrugado grado B con un esfuerzo de fluencia  $F_y= 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

El diseño estructural del plinto obedece a un criterio empírico que cumple con evitar que el concreto se agriete ante cualquier tipo de sollicitación que puede ocurrir durante la construcción de la presa y la ejecución de la pantalla de impermeabilización.



En la etapa de operación de la presa, el plinto funciona como un firme de concreto apoyado en roca sin ningún tipo de trabajo estructural, los movimientos y fenómenos que ocurran en el relleno de la presa no le afectan, pues existe un rompimiento de comportamiento en la junta perimetral que esta diseñada para absorber todos los movimientos.

Es a través del plinto por donde se efectúan las inyecciones de consolidación de la roca. La pantalla de inyecciones se divide en dos etapas: la pantalla profunda y la pantalla superficial. La pantalla profunda no afecta la estabilidad del plinto, pues las inyecciones son en la roca interna, la pantalla superficial si produce fuerzas de supresión en el plinto.

El anclaje del plinto tiene la función de garantizar que este no se mueva durante las inyecciones superficiales, condición que debe ser revisada en el arreglo de las anclas.

### **Procedimiento constructivo del Plinto.**

De acuerdo con la planeación integral elaborada para la construcción del P.H. El Cajón, se considera realizar los trabajos del plinto en forma anticipada a la colocación de materiales, siendo esta estructura la que permite el avance en las etapas del relleno de la presa y la construcción de la cara de concreto.

Excavación margen izquierda. Se inicia la excavación del plinto por la margen izquierda desde la elevación 392 msnm, avanzando hacia el cause hasta llegar a la elevación 230 msnm, dejando pendiente la sección de llegada al cause para excavar posteriormente al desvío del río y concluirse en forma simultanea con la del cause.

El ciclo de excavación se ha dimensionado para efectuar banqueos de 6 m de altura con el fin de aplicar en forma simultánea los tratamientos de los taludes. Las actividades del ciclo de excavación son las siguientes:

- Excavación y remoción del material suelto hasta encontrar el lecho de roca.
- Perforación de recorte en la línea del talud (altura variable máximo 12 m)
- Perforación de producción (banqueo de 6 m)
- Voladura.
- Remoción del material producto de la voladura y perfilamiento de la rasante.
- Saneamiento del talud.
- Aplicación de tratamientos en los taludes

Se tiene prevista la construcción de rampas de acceso a la zona de excavación con el fin de efectuar la rezaga del material y evitar en lo posible el trapaleo. La primera de estas rampas esta prevista en la elevación 355 msnm, la segunda en la 274 msnm y la tercera a la elevación 230 MSN.

Excavación margen derecha. De acuerdo con la programación de detalle se tiene considerado iniciar la excavación del plinto en margen derecha a partir de la terminación de la margen izquierda a la elevación 230 msnm, la primera etapa del plinto en la margen derecha esta comprendida entre las elevaciones 296 msnm y 230 msnm avanzando la excavación desde la parte superior hacia el cauce de forma similar que la margen izquierda.

El ciclo de trabajo es similar al descrito en la margen izquierda.

La segunda etapa de excavación del plinto en la margen derecha se realiza entre las elevaciones 392 msnm y la 296 msnm, esta etapa se podrá iniciar cuando se concluya la elevación excavación del canal de llamada de la obra de toma.

Excavación del lecho del río. Esta excavación se realiza después de efectuado el desvío del río, para ello se requiere del abatimiento del nivel de agua por medio del equipo de bombeo dentro de la zona de excavación.

El proceso constructivo del plinto esta integrado por las siguientes actividades, de acuerdo con el sistema de deslizado para los colados:

- Excavación hasta el nivel de desplante del plinto en roca sana.
- Tratamiento de taludes.
- Colocación de concreto de restitución.
- Anclaje de piso.
- Colocación del acero de refuerzo de la junta de cobre.
- Colado del plinto deslizando, dejando preparativos para las inyecciones.
- Inyecciones desde el plinto, para consolidación e impermeabilización.

***CAPITULO III. "PROCEDIMIENTO  
CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA".***

## ***CAPITULO III. "PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA".***

### **III.1. Descripción del procedimiento.**

El procedimiento constructivo para la presa de enrocamiento parecería ser simple y sistemático, sin embargo no es así. Es un procedimiento que debe ser planeado, ejecutado, monitoreado y, si es el caso corregido cuidadosamente, ya que abarca una serie de subprocesos minuciosos que deben coordinarse entre ellos para obtener los resultados deseados.

Dicho procedimiento cuenta con las siguientes actividades:

- Ubicación de la cortina.
- Zonificación de los materiales sobre la cortina (cap II.2 diseño geotécnico de la cortina)
- Ubicación y explotación de los bancos de materiales.
- Trazo y construcción de caminos de acceso tanto a bancos como al sitio de construcción de la cortina.
- Explotación de los bancos y almacenamiento de materiales.
- Trazo de líneas topográficas.
- Desmonte, despalme, regularización y limpieza del terreno.
- Excavación de laderas.
- Regularización y tratamientos de la zona de cimentación y zona del plinto.
- Carga, acarreo, colocación, adición de agua (en los materiales que así lo requieren) y compactación de los diferentes materiales en las zonas correspondientes, tanto de ataguías como del cuerpo de la cortina.
- Pruebas de verificación calidad de los materiales.
- Instrumentación del cuerpo de la cortina, juntas de losas y plinto.
- Tratamiento del talud aguas arriba de la cortina.
- Construcción de las losas de arranque.
- Construcción de la cara de concreto.

La construcción de la cortina se debe efectuar en la secuencia indicada en el programa general de construcción y hasta las líneas y cotas mostradas en los planos.

Para lo cual CIISA desarrollo un plan general que cuenta con cuatro etapas:

#### Etapa I.

Construcción de la preatagüa aguas arriba, atagüa aguas arriba, atagüa aguas abajo, desvió del río y achique del recinto.

Como ya se menciona, para el desvió se construyeron dos túneles en la margen izquierda del río. Al momento que se tuvieron listos, se comenzó a colocar material a fondo perdido en el lecho del río con la finalidad de forzarlo a desviarse hacia los túneles, atravesando la montaña y desfogando al otro lado. Las atagüas estaban listas. Posteriormente se procede al achique del recinto mediante bombas.

Finalmente se tiene una zona seca para comenzar la siguiente etapa.

#### Etapa II.

Limpieza, desmonte y despalme de laderas y cause del río hasta descubrir roca sana. Dicha limpieza se logra mediante el uso de tractores CAT D9R y D8R, y retroexcavadora CAT 375. Regularización del terreno para desplante. Utilizando el equipo topográfico adecuado, tractores y motoconformadoras CAT 120H. Tratamiento de la roca mediante concreto dental y de regularización. Tratamientos a la roca para desplante del plinto y de la zona de colocación de materiales, construcción del plinto. Anclaje del plinto, tratamiento de inyección para contacto concreto-roca. Inyecciones de consolidación e inyección de pantalla de impermeabilización hasta su elevación final. Dependiendo de la finalidad que tengan, se hacen diferentes dosificaciones de mezclas, que constan de cemento, agua y bentonita; utilizando mezcladoras de bajas revoluciones, 60rpm y/o turbomezcladoras de 1250 rpm. Estas inyecciones se realizan desde el plinto, tanto en el recinto como en las laderas, y a través de galerías ubicadas en los márgenes.

#### Etapa III.

Esta es la etapa crítica de la construcción de la cortina como tal, ya que abarca las actividades de extracción, procesamiento, almacenamiento, acarreo y colocación de los materiales en las zonas correspondientes. Adición de agua antes y durante la descarga del material, el que así lo requiera, compactación y pruebas de control de calidad, instrumentación hasta su elevación final de manera continua o hasta las elevaciones que señale el plano. Ver anexo.

#### Etapa IV.

Construcción de la cara de concreto, la cual se realiza en varias etapas comenzando por las losas de arranque en la parte baja de la cortina, dichas losas se cuelan usando cimbra convencional de madera, bomba para concreto, colocación y compactación manual. Se deben construir las juntas tanto entre las losas como las del plinto. Dichas juntas constan de una banda de PVC sobre la cual se coloca una pieza de cobre.

Es muy importante la protección de los sellos de cobre colocados en las juntas para garantizar su calidad. La protección se logra encofrando con madera dichas piezas.

Sobre las losas de arranque se cuelan el resto de las losas mediante el uso de cimbra deslizante, la cual debe ser ensamblada previamente en la plataforma de contención. Se parte de las zonas más altas a las más bajas. El concreto se suministrara a través de canalones abastecidos directamente por el camión revolvedor. Antes de empezar a usar la cimbra deslizante, se hizo una prueba con la finalidad de saber como se comportara el concreto en esas circunstancias, ya que debido a la inclinación del elemento y la distancia que recorre el concreto, pueden producir segregación. Además el canalón debe ser cubierto con lona ya que la elevada temperatura del ambiente podría influir negativamente en la mezcla, haciendo que esta pierda agua. Además de prever posibles contratiempos.

En el capítulo III.5 se describirán algunas de las características de la cara de concreto.

### **III.2. Origen, explotación y transporte de los materiales para las ataguías y cortina.**

En el capítulo II de este trabajo se describieron las características de los materiales a utilizarse en la construcción de esta presa.

En este nuevo subtema del capítulo III se explicara de donde proceden, como se explotan y transportan dichos materiales.

La CFE entrego a todos los participantes del proyecto un mapa de ubicación de los diferentes bancos de material que tiene detectados para su explotación y utilización en el proyecto.

Sin embargo, dado que la mayor parte del material que se utilizara para la conformación de la cortina será producto de las excavaciones de las estructuras principales, como lo son casa de maquinas, obra de toma y sobre todo El Vertedor, me enfocare a la descripción de este ultimo banco de materiales.

Para el caso del material de aluvión, se deben tener en cuenta y contrarrestar las condiciones adversas creadas por inundaciones en las zonas de préstamo.

La explotación de aluvión y otras actividades cercanas al cause del río Santiago, se diseñaron y planearon de tal forma que se cumplen los siguientes puntos:

- a) Extraer el material hasta la profundidad máxima posible por debajo del nivel del río (no menor de 8 m o hasta la roca basal, lo que suceda primero).
- b) Aprovechar al máximo el depósito de aluvión.
- c) De acuerdo a las observaciones hidrológicas, los meses factibles de máxima extracción corresponden al periodo de noviembre a junio, por lo que la

- d) producción mensual necesaria para cumplir el programa de ejecución debe equilibrarse satisfactoriamente en ese lapso.
- e) CIISA debe prever en sus precios de contrato lo que considere pertinente para conocer el tránsito de avenidas del Río Santiago y reducir el riesgo que representa realizar trabajos en las márgenes de dicho Río durante la construcción del proyecto.

Cuarenta días antes de almacenar cualquier material, CECSA debe presentar, para revisión y aceptación de CFE los detalles de las técnicas de almacenamiento que se propone a utilizar. No se permite almacenar materiales balconeando el material hacia abajo del talud o en cualquier forma que cause segregación.

El almacenamiento de materiales para construcción de las zonas 1,1A, 2 y 2F, debe hacerse extendiendo el material en capas de 80 cm de espesor como máximo y compactar la última capa con compactador liso vibratorio, con el fin de disminuir la absorción de agua.

Las capas deben conformarse con pendiente no menor del 3% con el fin de prever drenaje de aguas pluviales. Para el almacenamiento del material 3B no se requiere drenaje.

Para iniciar la construcción de la cortina se debe contar por lo menos con 1 000 000 de m<sup>3</sup> de material 3B aceptado por CFE, así como tener la totalidad del material 2 y 2F. Durante la construcción de la cortina, se debe conservar una cantidad almacenada de materiales de cuando menos 60 días de colocación equivalente a 760,000 m<sup>3</sup>, de acuerdo con el rendimiento que demanda el programa general de construcción de la cortina, de tal forma que el avance en la construcción no se vea afectado por la falta de material.

### **Explotación del banco de materiales “El Vertedor”.**

En este sub capítulo expondré la metodología específica para la explotación de este banco de roca.

Durante la explotación del banco se respetará lo indicado en las especificaciones de Obra Civil del P.H. El Cajón, El Plan de Manejo Ambiental, el Plan de Calidad de la Obra y el Manual de Aseguramiento de Calidad de ICA.

La explotación del Banco se hace conforme al programa de requerimientos de los frentes.

El banco El Vertedor se ubica en la margen derecha del río Santiago, a una distancia de 200 m del eje de la boquilla, entre las elevaciones 375 y la 450.

El banco se encuentra constituido por la ignimbrita de la unidad TicU3. En su extremo NE aparece la unidad vulcanosedimentaria, la cual se considera como inadecuada como material de construcción por la alteración que presenta.

La unidad TicU3 forma parte de la ignimbrita El Cajón, y está compuesta por rocas de color gris claro a gris rosado. Su textura es piroclástica.

Por lo general son rocas compactas, de dureza media, con pseudoestratos que varían de gruesos a delgados (1.5 a 0.25 m). Se le ha estimado un espesor de 290 m y cubre a las unidades TicU2 y TicU1, y subyace en forma discordante a los depósitos vulcanosedimentarios.

En el sitio del banco, la actitud estructural de la pseudoestratificación controla la morfología del terreno, observándose una pendiente general de 20-25° hacia aguas abajo.

El fracturamiento principal observado en el sitio está orientado al N16°W/70°NE, presentándose cerrado y poco continuo, con una frecuencia de 2 fracturas por metro. Adicionalmente se tiene un fracturamiento secundario con rumbo N48°W/70°NE. La pseudoestratificación tiene un orientación N40°W/25-30°SW.

Antes del comienzo de las excavaciones se procederá a preparar el área por explotar marcando el trazo topográfico de los límites del Banco, retirando la capa vegetal, raíces, escombros y otros materiales que pudieran aparecer y sean inadecuados para su uso en obra.

De este Banco se obtendrá material para la cortina tipo 3A, 3B, 3C, T y 4. Es decir, el material grueso, de menor a mayor diámetro respectivamente.

Para la extracción del material, se harán excavaciones a cielo abierto mediante el uso de explosivos.

En primer lugar se debe proceder a marcar sobre el terreno la ubicación de los barrenos. Posteriormente se barrena el lugar, para lo cual se emplea Hidrotrack Ranger 500, con barreno de 76.2 mm (3") hasta 114.3 mm ( 4.5") de diámetro, manejando alturas de banco de hasta 10 m (Fotografía III.1). Es práctica común en la excavación a cielo abierto formar un frente libre, que es por donde saldrá el producto de la voladura.

El factor de carga, bordo y espaciamiento se determinan inicialmente en el cálculo de una plantilla de barrenación y se ajustaran de acuerdo a los resultados obtenidos de tamaño y fragmentación de la roca contra los valores esperados.

Se usara el proceso mediante el uso de Emulsión o Alto Explosivo, agentes explosivos o Anfo (Nitratos de Amonio y Diesel), Conectores o Iniciadores (como el Primacort) y noneles no electricos Ms o Lp. (Fotografía III.2)

Se usaran barras de perforación de 3.65 m de largo, acoplando tantos tramos como sean necesarios para alcanzar la longitud de los barrenos.



Una vez perforados los barrenos, se procede a introducir el explosivo. Para la conexión se usaran noneles y cordón detonante, al cual se amarrara en un extremo una pieza de alto explosivo que servirá como cebo para encender el explosivo restante del barreno, también sirve como guía del resto del explosivo. Una vez que llegue la primera pieza hasta el fondo del barreno se colocara a gravedad el resto del explosivo, incluyendo el anfo hasta completar la carga.

Por cada metro lineal de carga o 5 kg de explosivo, se compactara la carga, asegurándose de esta forma que no quede algún tramo del barreno sin carga. Una vez terminado de cargar el barreno, se rellenara de material fino preferentemente con material de la misma barrenacion la longitud correspondiente al taco.

El cordón detonante empleado en la carga del barreno será del orden de 12 m para alturas de banco igual a 10 m, sobrándole al menos en la boca del barreno 0.30 m para el amarre de la conexión final, también considerara aproximadamente 0.50 m para el acoplamiento de la primer pieza de alto explosivo.

Al termino de la carga de los barrenos se hará la conexión por medio de un cordón detonante, se colocaran los retardos superficiales en caso de usar cordón detonante en la carga de los barrenos. Se conecta el fulminante y una mecha doble para dar inicio a la voladura, la cual ocurrirá en un promedio de 2.5 minutos. Efectuada la voladura se dará el tiempo suficiente para que se disipen los polvos y se hace una revisión de que todo el explosivo haya sido quemado, lo cual en ocasiones no es así.

La voladura se diseñara para obtener material de acuerdo a las necesidades del frente de colocación, o sea, material 3B, T, 3C y 4 para la cortina. Todo el material explosivo es marca Dyno Nobel suministrado por la empresa ASA, y las mechas las suministra la Compañía Mexicana de Mecha para Minas S.A. de C.V.

Posteriormente se da inicio a la extracción y carga del material con el uso de cargador frontal, CAT 988 o CAT 990.

El transporte se realiza mediante camiones fuera de carretera CAT 773E(20 m<sup>3</sup>) y/o TEREX TR 60. Además de camiones articulados TEREX TA 40 y TA 30 según las dimensiones del producto (Fotografía III.3 a III.6)

El cargador vierte tantos cucharones o botes en el camión como sea necesario para llegar, aproximadamente, a su capacidad nominal, es decir 20 m<sup>3</sup>.

Después el camión emprende el camino hacia la zona de la cortina que corresponda al material que transporta, para ahí dar inicio al ciclo de descarga, colocación y compactación (Capitulo III.4.2).



*Fotografía III.1 PERFORADORA RANGER 500, TERMINANDO DE HACER LOS BARRENOS DE LA PLANTILLA PARA LA VOLADURA. BANCO EL VERTEDOR.*

No existe una fórmula o método que garanticen el éxito de una voladura, este depende en gran medida de la capacidad del personal a cargo, y de la experiencia.

Para llegar a un buen manejo y control sobre las voladuras, se deben modificar los parámetros específicos del diseño, de un evento a otro según los resultados obtenidos y compararlos con los deseados. Sin perder de vista las restricciones e indicaciones plasmadas en los diferentes documentos al respecto.

Una forma sencilla de darse cuenta cuando se ha desarrollado una buena voladura, es ver la disposición final del material sobre el terreno, es decir, se busca que este forme capas sucesivas o montículos de mediana altura. Con esto se facilita el proceso de carga, ya que es directamente del cargador al camión.

Cuando no se realiza una buena voladura, el material queda muy disperso y en ocasiones no se desprende totalmente del macizo. Por lo cual es necesario usar Retroexcavadora CAT 375, para rezagar el material y Tractor CAT D8R para empujarlo y acumularlo, para después usar el Cargador. Lo cual incrementa tiempos y costos.



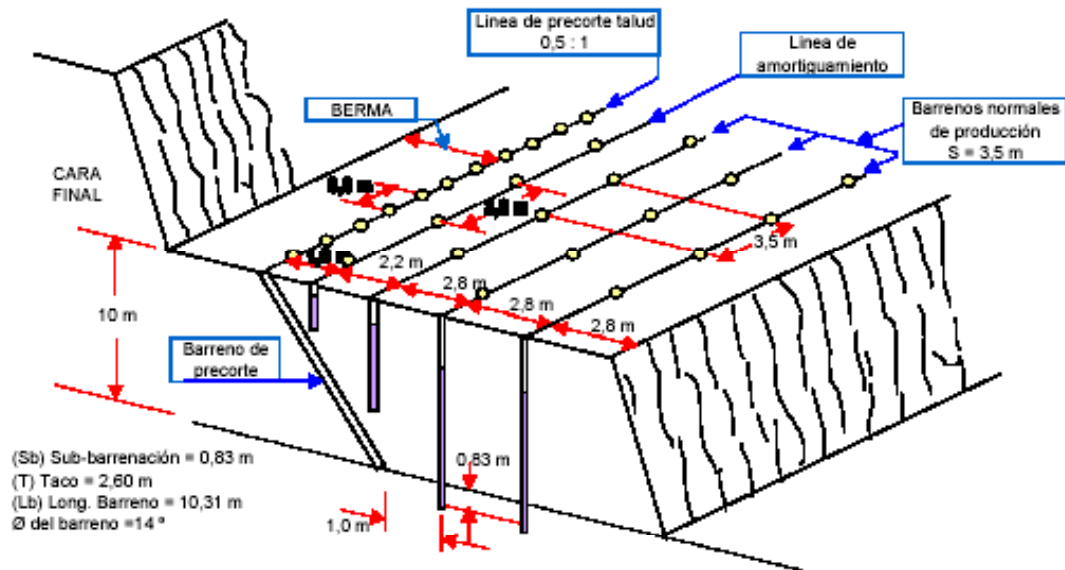
Fotografía III.2EMULSION ALTO EXPLOSIVO, ANFO BAJO EXPLOSIVO Y NONELES.

Para la explotación de este banco de roca será necesario habilitar y mantener en servicio el acceso a la parte más alta del volumen previsto por explotación, para llegar al cero del inicio de la excavación.

El ataque se realiza en banqueos de 10 m de altura, desde la parte superior del límite del mismo hacia abajo.

Se tiene considerado que se podrá atacar hasta en 13 etapas para llegar a la cota 396.00 msnm, sin embargo pudieran ser menos si es que durante el proceso se alcanzara el volumen requerido.

Plantilla de barrenación tipo.



Ejemplo de voladura usando precorte

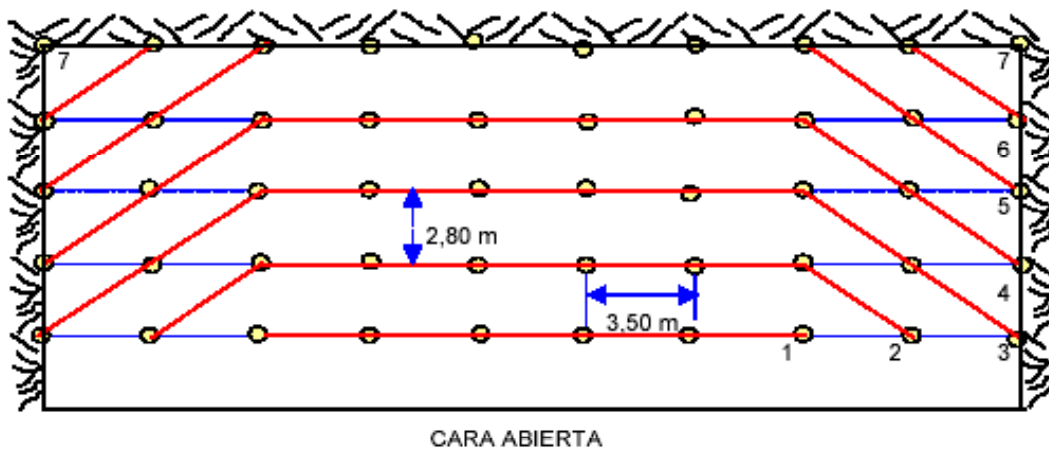


Diagrama tipo de barrenación y carga para voladura

Bordo (B)	= 2.80 m	Carga de fondo	= 2.66 m
Espaciamiento (S)	= 3.50 m	Carga de columna	= 5.05 m
Taco (T)	= 2.60 m	Alto explosivo	= 14.55 kg
Sub-barrenación (Sb)	= 0.83 m	Anfo	= 21.44 kg
Long. Barreno (Lb)	= 10.31 m	Total explosivo	= 35.99 kg
Diámetro del barreno (Ø)	= 76.20 mm	Volumen del barreno	= 101.00 m <sup>3</sup>
Inclinación barreno (talud)	= 0.25 h: 1 v	Factor de carga (FC)	= 0.357 kg/m <sup>3</sup>



*Fotografía III.3. Extracción de material con cargador frontal*



*Fotografía III.4. Transporte con camión fuera de carretera.*



*Fotografía III.5. Carga del material.*



*Fotografía III.6. Transporte hacia la cortina.*

Los niveles para cada una de las etapas se indican en la siguiente tabla:

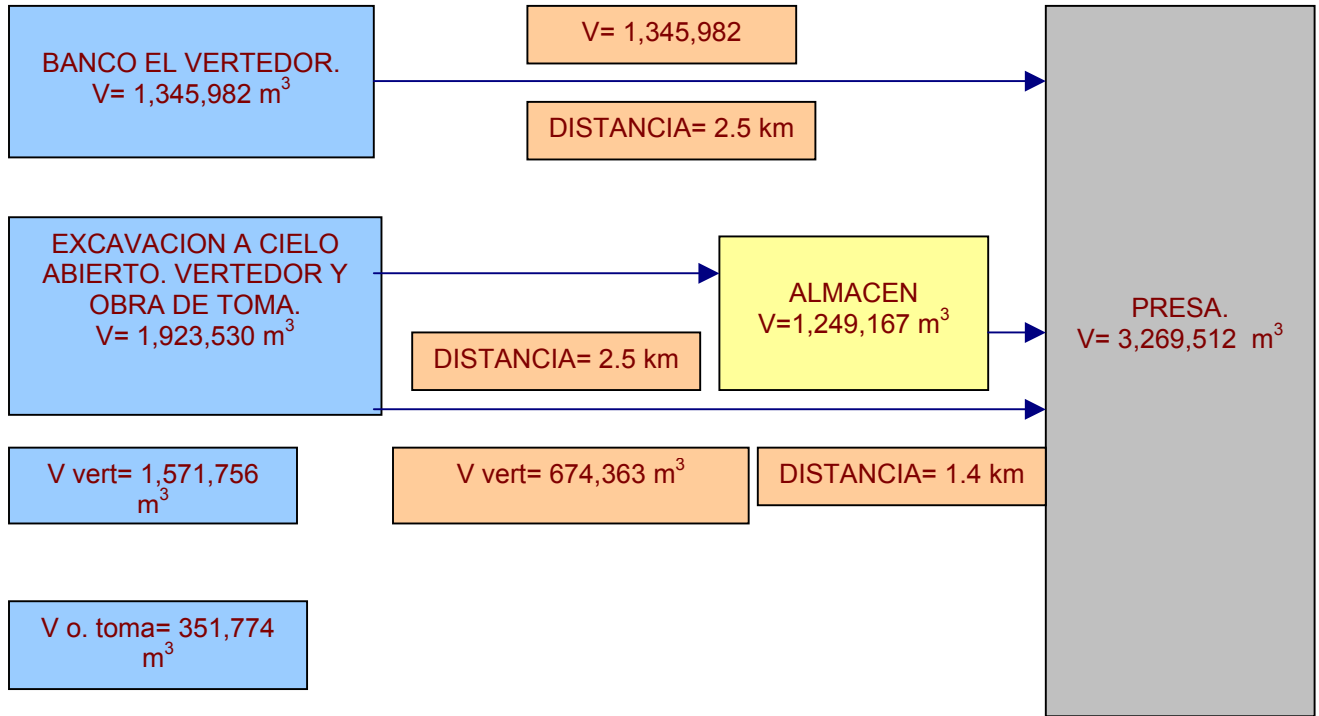
ETAPA	ELEVACION SUPERIOR	ELEVACION INFERIOR	VOLUMEN m <sup>3</sup>	VOLUMEN ACUMULADO
1	516.000	516.000	0.00	0.00
2	516.000	506.000	57380.85	57380.85
3	506.000	496.000	116581.50	173962.35
4	496.000	486.000	177082.00	351044.35
5	486.000	476.000	243828.60	594872.95
6	476.000	466.000	304384.60	899257.55
7	466.000	456.000	354599.95	1253857.50
8	456.000	446.000	389126.65	1642984.15
9	446.000	436.000	440180.05	2083164.20
10	436.000	426.000	495464.45	2578628.65
11	426.000	416.000	565340.35	3143969.00
12	416.000	406.000	650307.40	3794276.40
13	406.000	396.000	744059.65	<b>4,538,336.05</b>

#### Plan de transporte de los materiales.

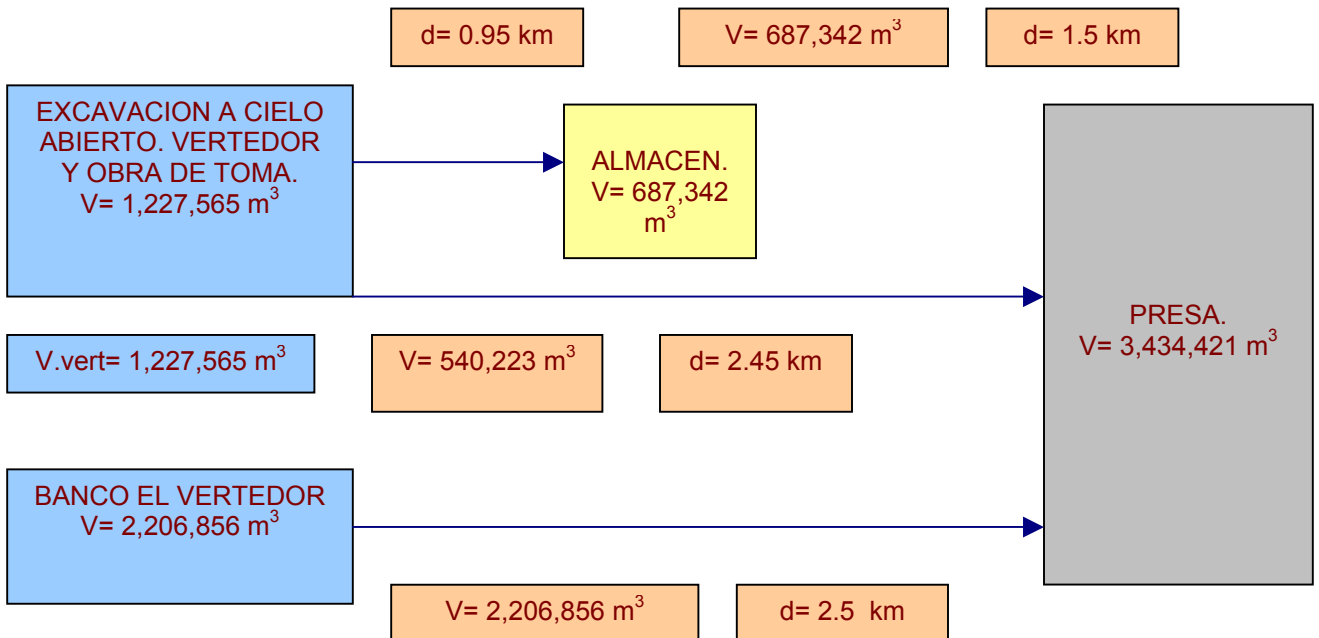
De acuerdo con el programa de trabajo de las excavaciones de las estructuras, el programa de colocación de materiales en la presa y el de explotación de los bancos de materiales, se determina el origen y destino de estos. Identificando los volúmenes provenientes de las excavaciones, de los bancos de préstamo, los volúmenes de almacenamiento y las distancias de acarreo a través de la red de caminos planificada.

A continuación represento gráficamente el flujo de los materiales, desde su origen hasta su destino en la cortina.

**Flujo de material 3B.**

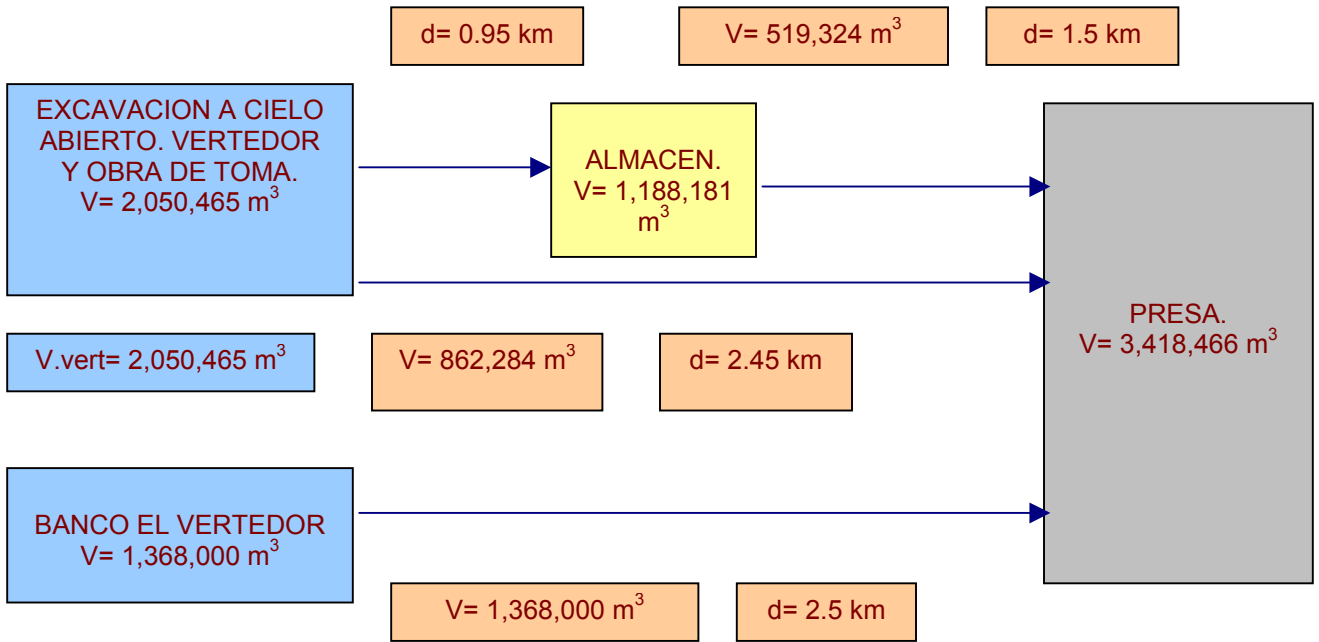


**Flujo de material T.**

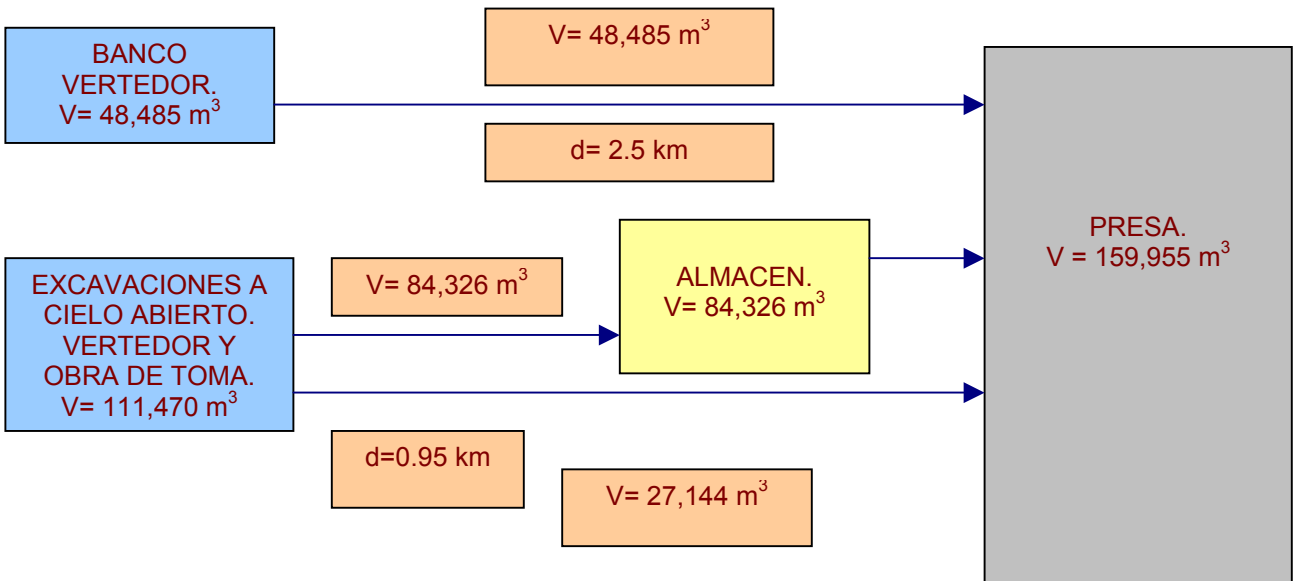




**Flujo del material 3C**



**Flujo del material 4.**



En los diagramas de flujo se puede observar las cantidades de material que se extrae de las excavaciones de las estructuras o de los bancos de préstamo y su destino, que puede ser en forma directa al sitio de la colocación o al banco de almacenaje, condición marcada por el programa de colocación para los materiales 3B, T, 3C y 4.

Para el caso de los materiales 2, 3A y 2F, no se muestran los diagramas ya que el acarreo de estos se hace de acuerdo al programa de colocación desde los sitios de almacenamiento. Los materiales 2 y 2F son extraídos preferentemente del Banco del Polvorín pero igualmente podrán ser producto de la explotación de ignimbrita y el material 3A del Vertedor.

### ***III.3. Etapas de construcción.***

Para dar cumplimiento al programa de trabajo, se ha planificado efectuar 6 grandes etapas de construcción que tiene como objetivo principal cumplir las fechas de deslizado de la cara de concreto.

#### **Primera etapa.**

Por la falla geológica ubicada en la zona del recinto entre los puntos P9 y P10 del Plinto, se modifico el Proyecto original de esta estructura, lo que provoco cambios en las etapas constructivas de la Cortina, ya que al no contar con las condiciones para la colocación de materiales en la zona de aguas arriba, se dejo pendiente una zona importante de 3B adjunta al Plinto, incluyendo las zonas de 2, 2F y 3A. Por ello se considera la primera etapa subdividida en cuatro niveles denominados: 1, 1A, 1B y 1C, permitiendo el inicio de la colocación de materiales. A partir de la elevación final a la que se encuentre la superficie de desplante autorizada por CFE, se solicita al área de topografía el marcaje de los datos de construcción del eje de la Presa, la traza de los taludes de aguas abajo, así como las fronteras de los materiales que se involucran en esta primera etapa; dicho marcaje consiste en materializar líneas con cal o pintura sobre las laderas y el lecho del río, así como estacas de madera debidamente rotuladas para su fácil identificación.

La primera etapa se concluye en la elevación 282 msnm; el nivel 1 corresponde a la colocación de los materiales en la zona del cuerpo principal de la cortina desde el desplante a la elevación 245 msnm, el nivel 1A consiste en sobre elevar los materiales del nivel 1 hasta la elevación 275, posteriormente para dar margen a la primera etapa de deslizado de la Cara de Concreto de la Cortina a la elevación 282 msnm. La etapa 1C consiste en nivelar la zona de aguas abajo y el cuerpo principal de la Cortina hasta la elevación 282 msnm. El volumen de la primera etapa es de **4,439,570 m<sup>3</sup>**, integrado por los siguientes materiales:

<b>Primera etapa elevación 282 msnm.</b>	<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 1A.</b>	<b>Etapa 1B.</b>	<b>Etapa 1C</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material 3C.</b>	<b>485,601</b>	<b>391,950</b>		<b>614,360</b>	<b>1,491,911</b>
<b>Material T.</b>	<b>433,544</b>	<b>579,117</b>		<b>342,894</b>	<b>1,355,555</b>
<b>Material 3B.</b>	<b>141,437</b>	<b>4,368</b>	<b>992,646</b>	<b>268,825</b>	<b>1,407,276</b>
<b>Material 4.</b>				<b>35,230</b>	<b>35,230</b>
<b>Material 2.</b>			<b>91,050</b>		<b>91,050</b>
<b>Material 3A.</b>			<b>55,905</b>		<b>55,905</b>
<b>Material 2F</b>			<b>2,643</b>		<b>2,643</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>1,060,581</b>	<b>975,435</b>	<b>1,142,244</b>	<b>1,261,310</b>	<b>4,439,570</b>

Para la ejecución de los acarrees de material de esta primera etapa, que tendrá como origen las excavaciones de la estructura del Vertedor y/o el banco de almacenamiento de margen derecha, se ha planificado y llevado a cabo la construcción de un camino por la ladera derecha; 8-MD (camino 8 Margen Derecha). Cuando se complete el relleno hasta el nivel 1A (275 msnm) el camino 8-MD deja de ser la vía principal de acceso y se cambia por el 7-MD. Posteriormente se completan las etapas 1B y 1C hasta la elevación 282 msnm para dar paso a los deslizados de la primera etapa de la Cara de Concreto.

### Segunda etapa.

Una vez nivelado todo el cuerpo de la Cortina a la elevación 282 msnm, se construye la segunda etapa que consiste en elevar la zona aguas abajo y parte del cuerpo principal de la Cortina hasta la elevación 300 msnm dejando libre la zona de maniobras para la ejecución de los trabajos de la primera etapa de deslizado de la Cara de Concreto en el talud de aguas arriba entre las elevaciones 214 y 282 msnm. El volumen que integra esta segunda etapa es de **1,218,840 m<sup>3</sup>** formado por los siguientes materiales:

<b>Segunda etapa elevación 300 msnm.</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material 3C</b>	<b>487,825</b>
<b>Material T</b>	<b>531,268</b>
<b>Material 3B</b>	<b>183,267</b>
<b>Material 4</b>	<b>16,480</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>1,218,840</b>

Los acarreo de esta segunda etapa, se ejecutan desde margen derecha provenientes de las excavaciones de las estructuras, el banco de préstamo y/o el almacén. Los acarreo de esta segunda etapa se realizan por el 7-MD.

### Tercera etapa.

Consiste en elevar el relleno de la Presa en la zona de material 3B desde la elevación 282 msnm hasta la 342. Para los preparativos de la segunda etapa de deslizado de la Cara de Concreto a la elevación 340 msnm en el talud de aguas arriba. Continuando la colocación por medio de plataformas y bermas en la zona del material T y parte del 3C. El volumen de esta etapa es de **1,938,505 m<sup>3</sup>** correspondientes al cuerpo principal de la Cortina y un volumen de protección sobre la Cara de Concreto de **223,532 m<sup>3</sup>** integrado por los siguientes materiales:

<b>Tercera etapa elevación 342 msnm.</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material 3C.</b>	<b>61,626</b>
<b>Material T.</b>	<b>677,979</b>
<b>Material 3B.</b>	<b>1,198,900</b>
<b>Material 2.</b>	<b>135,920</b>
<b>Material 3A.</b>	<b>84,969</b>
<b>Material 2F</b>	<b>2,643</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>2,162,037</b>

### Cuarta etapa.

Esta etapa se construye simultáneamente con el deslizado de la segunda etapa de la Cara de Concreto, entre las elevaciones 280 y 340 msnm. Consiste primeramente en nivelar la colocación de material 3C a partir de la elevación 300 msnm hasta la 320, continuando con una plataforma uniforme de materiales 3C y T hasta la elevación 342 msnm. El volumen de esta etapa es de **1,327,687 m<sup>3</sup>** y esta integrado por los siguientes materiales:

<b>Cuarta etapa elevación 342 msnm.</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material 3C</b>	<b>916,223</b>
<b>Material T</b>	<b>362,590</b>
<b>Material 4</b>	<b>48,875</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>1,327,687</b>

### Quinta etapa.

Esta etapa consiste en elevar el relleno de los materiales de la Presa para la tercera etapa de deslizado de la Cara de Concreto, de la elevación 342 a la 390 msnm. El volumen de esta etapa es de **1,922,184 m<sup>3</sup>** integrados por los siguientes materiales:

<b>Quinta etapa elevación 390msnm.</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material 3C.</b>	<b>460,880</b>
<b>Material T.</b>	<b>505,751</b>
<b>Material 3B.</b>	<b>480,069</b>
<b>Material 4.</b>	<b>59,370</b>
<b>Material 2.</b>	<b>126,422</b>
<b>Material 3A.</b>	<b>77,770</b>
<b>Material 1B</b>	<b>25,686</b>
<b>Material 3H</b>	<b>183,523</b>
<b>Material 2F</b>	<b>2,643</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>1,922,184</b>

### Sexta etapa.

Es la última etapa de relleno de la presa, para alcanzar la elevación 392 msnm, tiene un volumen total de **28,390 m<sup>3</sup>**, y se integra por los siguientes materiales:

<b>Sexta etapa elevación 392</b>	<b>Total m<sup>3</sup></b>
<b>Material T</b>	<b>1,280</b>
<b>Material 2</b>	<b>5,260</b>
<b>Material 3A</b>	<b>13,850</b>
<b>Total m<sup>3</sup></b>	<b>20,390</b>

Las 6 etapas lanzan un gran total de **11,090,707 m<sup>3</sup>** aproximadamente. La variación en esta cantidad depende de los imprevistos y las modificaciones al proyecto que se pudieran presentar en el transcurso del procedimiento constructivo; dadas por la geología y topografía del lugar principalmente.

### ***III.4. Colocación de materiales en la cortina.***

#### ***III.4.1. Preparación de la cimentación de los materiales de la cortina.***

Previo a la colocación de los materiales en el cuerpo de la cortina y ataguías, se debe preparar la cimentación adecuada para los tipos de materiales por emplearse. La cual incluye los trabajos de despalme, limpieza, trazo topográfico, nivelación y los tratamientos necesarios.

##### **a) Plinto y materiales 2, 2F y 3A.**

El plinto debe construirse sobre roca sana. El desplante de los materiales 2, 2F y 3A debe ser en roca sana debidamente tratada con concreto dental o de regularización. Cuando en alguna zona se localice roca en estado alterado, se debe dar un tratamiento especial, el cual debe ser aceptado por CFE.

La superficie final de la cimentación donde se coloca concreto lanzado debe amacizarse y limpiarse enérgicamente con chorro de agua y aire a presión y humedecerse antes de aplicar el concreto lanzado de acuerdo a las especificaciones de construcción.

La capa de concreto lanzado debe tener un espesor mínimo de 5 cm.

Las zonas de material erosionable o susceptible a la turificación, localizadas aguas abajo del plinto, deben ser tratadas con filtro o concreto lanzado según lo indique el diseño.

Las excavaciones y tratamientos del plinto, tienen como objetivo mostrar el tipo y extensión de los trabajos de desplante; los detalles y alineación de construcción los debe determinar CECSA, una vez que se conozcan las condiciones de cimentación de la roca y la geometría final de acuerdo con los resultados de limpieza del terreno. Consecuentemente, la limpieza y excavación de la zona del plinto en las laderas y lecho del río, deben ser ejecutadas con suficiente anticipación y prioridad por parte del contratista para facilitar la emisión del plano final de excavación del plinto y la colocación de materiales en esta zona.

##### **b) Cimentación para los materiales 3B y T.**

El desplante de estos materiales sobre el cause del río, debe hacerse sobre roca cuya resistencia sea tal que no se pueda remover con tractor de 200 HP, o en depósitos aluviales si estos tiene buena calidad, entendiéndose esta como materiales bien graduados con  $Cu > 10$  sin finos arcillosos o porcentaje de finos menor al 5% y con una compacidad correspondiente a una relación de vacíos igual o menor a la especificada para el material a desplantar. En las laderas, el desplante debe hacerse sobre roca cuya resistencia sea tal que no se pueda remover con tractor de 200 HP con hoja universal.

En caso de que se encuentren zonas con defectos en la roca o bloques de roca sueltos, estos deben retirarse con herramientas adecuados y rellenarse las depresiones con material de aluvión u otro material debidamente estudiado, compactado y aceptado por CFE.

**c) Cimentación para el material 3C.**

Se debe desplantar en aluvión existente o sobre otro material competente, en ambos casos aceptados por CFE. Se debe eliminar el material inadecuado que aflora en la superficie como materia orgánica, material alterado, depósitos arcillosos y areno-limosos.

**d) Cimentación para el material 4.**

Este material se debe desplantar en aluvión existente o sobre otro material competente. Se debe eliminar el material inadecuado. Se deben retirar los bloques de roca que se encuentren en el desplante de las estructuras y que sobrepasen el tamaño máximo de partícula o que impidan la compactación adecuada.

**e) Cimentación para materiales 1B y 3H.**

El material 1B se colocara directamente sobre la cara de concreto, cuidando no dañarla, hasta las elevaciones indicadas en planos. Debe ir protegido con el material 3H.

### **III.4.2. Colocación de materiales en la cortina.**

Con base a la terminación de los trabajos de limpieza, regularización y tratamientos del recinto, excavación y limpieza de laderas y control de filtraciones para mantener las condiciones para la cimentación de los distintos materiales, se inicia la colocación con base a la zonificación de la presa.

La distribución de los materiales en la cortina debe ser tal que no se presenten lentes, bolsas, franjas y capas de material sustancialmente diferente en granulometría de la que se encuentre alrededor, dentro de una misma zona de materiales. Todo el material debe ser extraído, transportado y colocado en forma tal que se asegure que el material no este segregado antes de ser extendido.

Para ligar cualquier material en el talud de otro material ya colocado, se deben hacer cortes en el talud con una altura mínima igual al espesor de la capa de material que se va a colocar; para garantizar su liga, estos cortes se deben ejecutar justo antes de colocar el nuevo material.

Para la colocación de materiales en el cuerpo de la cortina, se han construido rampas de acceso temporales dentro de esta con una pendiente máxima de 15% y plataformas horizontales de volteo en las curvas. La carretera de acceso, sobre el talud aguas abajo, debe tener una pendiente máxima de 10% con plataformas horizontales de giro y volteo de materiales. Esta carretera es permanente, se ubica sobre materiales 3C y 4 de manera que debe obtenerse una superficie uniforme en la calzada del camino y en el talud de aguas abajo.

Para todos los casos siguientes, se deben construir respaldos con el propio material para delimitar perfectamente las diferentes zonas del cuerpo de la cortina.

#### **a) Colocación de los materiales 2 y 2F.**

Los materiales en las zonas 2 y 2F se colocan en capas de 30 cm de espesor en estado suelto y se deben compactar mediante 6 pasadas de rodillo liso vibratorio SD-200DX de 10.6 ton de peso mínimo estático en el tambor, hasta alcanzar un peso específico seco igual o mayor de  $21.06 \text{ kN/m}^3$ , una relación de vacíos igual o menor que 0.22 y un coeficiente de permeabilidad igual o menor que  $10 \text{ E-}3 \text{ cm/s}$ . Los materiales de estas zonas deben ser colocados y tendidos sin segregación, en tal forma que se reduzca la caída del material 2 sobre la cara de aguas arriba de la cortina.

El material 2 en el momento de su colocación debe tener un contenido de agua igual al óptimo  $\pm 1\%$ .

Los materiales 2 y 2F, debido a sus características granulométricas, espesor de capa y ancho de franja (6m) debe ser acarreado en camiones articulados TEREX TA-30 y camiones de volteo, para facilitar las actividades de descarga y maniobras en el sitio de la colocación. El material es suministrado a través de cargador frontal CAT 966 o 988 hacia los camiones.

Una vez descargado el material en el sitio de colocación, se extiende por medio de motoconformadora CAT 120H, en el espesor de capa especificado, con el fin de eliminar irregularidades en la superficie por compactar y cuidar el remate en la frontera con el bordo de concreto extruido, que por proceso constructivo, se construye inicialmente una capa del bordo y posteriormente se coloca la capa de material 2.

Adicionalmente, se ha estado tendiendo este tipo de material mediante el uso de una esparcidora, DEMAC, con lo que se obtiene una capa mas uniforme y con el espesor requerido. (Fotografías III.1, a III.4)

Este material es prehomogeneizado en el sitio de extracción, por lo que únicamente se aplicaran riegos ligeros a fin de mantener la humedad optima durante el proceso de compactación.



Si durante o después de la colocación y tendido de cualquier material en las zonas 2 y 2F se llegan a mezclar con material inadecuado debido al paso del equipo de construcción o por cualquier otra causa, él o los materiales contaminados deben ser retirados y reemplazados.

**b) Colocación del material 3A.**

Se debe colocar en capas de 30cm de espesor con un contenido de agua óptimo, compactado con rodillo liso vibratorio SD-200DX de 10.6 ton de peso mínimo estático en el tambor y con el número de pasadas necesarias para obtener una relación de vacíos igual o menor de 0.24. El coeficiente de permeabilidad de este material debe ser 100 veces mayor que el del material 2 y no menor que  $10 \text{ E-1 cm/s}$ .

Por las condiciones de ancho de franja (4 m), se considera su transporte, colocación y compactación similar al de los materiales 2 y 2F.

También es un material prehomogeneizado que únicamente requiere riego para conservar su humedad óptima.



*Fotografía III.1 CAMION ARTICULADO TEREX TA 30, COLOCANDOSE EN LA FRANJA DE MATERIAL 2.*



*Fotografía III.2 VOLTEO DEL MATERIAL 2, AL ESPARCIDOR DEMAC, PREVIAMENTE NIVELADO.*



*Fotografía III.3 EL ESPARCIDOR DEMAC, COLOCA EL MATERIAL CON EL ESPESOR REQUERIDO*



*Fotografía III.4 FINALMENTE, EL COMPACTADOR DE RODILLO LISO VIBRATORIO, PROPORCIONA EL GRADO DE COMPACTACION SOLICITADO.*

#### **b) Colocación del material 3B.**

Este material es el que marca el avance para la colocación de los materiales ubicados aguas arriba, es decir 2, 2F y 3A. Debe ser colocado en capas de espesor, en estado suelto, no mayor de 80 cm. Será suministrado desde margen derecha usando cargador frontal CAT 990 sobre camiones CAT 773 y/o TEREX TR60. Durante la descarga y tendido se realiza el proceso de humectación a través de los monitores o cañones de agua BIBO 2250, adicionando 200 l/m<sup>3</sup>. Posteriormente se extiende el material con el uso de tractor CAT D8R con el espesor de capa especificado. Se compacta dando 6 pasadas de compactador liso vibratorio IR. SD-200DX el cual debe generar una frecuencia mínima de 30 Hz con un peso estático en el tambor no menor de 12 ton.

En las fotografías III.5 a III.11 se muestra un ciclo de colocación y compactación de material 3B que es el mismo que se aplica en los materiales 3A, T y 3C, siendo el espesor de capa la única variante.

#### **c) Colocación del material T.**

Este material es el que marca el avance de los materiales aguas arriba y aguas abajo ligando los materiales 3B y 3C. Principalmente por la forma de los taludes de la zonificación interna de la presa, igualmente se suministrara desde margen derecha ya sea desde las excavaciones de las estructuras o del banco el Vertedor o de la zona de almacenamiento.

Debe ser colocado en capas de espesor en estado suelto no mayor de 100 cm. El conjunto de trabajo para la carga, acarreo y tendido es igual al empleado para el material 3B.

También debe ser humectado a través de cañones a razón de 200 l/m<sup>3</sup> y compactado con 6 pasadas del mismo equipo que el material 3B.

#### **d) Colocación del material 3C.**

Este material se extrae de las excavaciones de las estructuras de margen derecha, de las obras subterráneas y del banco el Vertedor, el conjunto de trabajo para la carga y transporte es igual al considerado para los materiales 3B y T. Debe ser colocado en capas de 140 cm de espesor en estado suelto, compactándose cada capa con 6 pasadas de rodillo liso vibratorio de 12 ton y frecuencia no menor de 30 Hz. Agregando agua en proporción de 200 l/m<sup>3</sup>.

El enrocamiento se coloca descargando el material desde una capa ya compactada hacia la nueva capa, balconéandolo para no producir segregación en franjas ni en tresbolillo, propiciando una concentración de mayores tamaños en el fondo de la capa a compactar. La distribución se efectúa con tractor hasta obtenerse el espesor de capa especificado y una superficie tersa, sin protuberancias ni baches, y visiblemente horizontal.

#### **e) Colocación del material 4.**

El material 4 o enrocamiento de protección, debe estar formado por rocas sanas con un diámetro mínimo de 1.00 m y colocarse de tal forma que sus caras mayores queden apoyadas horizontalmente, entrelazadas y ligadas al material 3C para evitar que este forme depósitos inestables o susceptibles de deslizamiento. El talud o paramento aguas abajo de la cara terminada de este material debe cumplir con el diseño de la estructura y presentar una superficie uniforme y regular, para ofrecer a la vista un solo plano de terminación, para ello se deben colocar escantillones que sirvan de referencia al operador del tractor que lo coloque. Además se debe contar con retroexcavadoras que acuñan dicho enrocamiento, buscando una mejor trabazón entre cada elemento.

#### **En resumen.**

Dadas las diferentes características de los materiales se elige el medio de transporte mas adecuado, el cual los acarrea desde los bancos hasta su ubicación en el cuerpo de la cortina. Se descargan los materiales. Si es necesario se adiciona agua para cumplir con la humedad requerida por el proyecto. Se tienden los materiales mediante tractores, motoconformadoras y/o esparcidoras. Se compactan con vibradores lisos de 10 o 12 ton. Y el enrocamiento se acuña de la manera mas conveniente y siguiendo la traza topográfica.



*Fotografía III.5. Llegada del camión fuera de carretera desde el banco "El Vertedor" con material tipo 3B.*



*Fotografía III.6. Humectación del material antes de ser depositado.*



*Fotografía III.7 Descarga del material mientras sigue siendo humectado.*



*Fotografía. III.8. descarga completa del material.*



*Fotografía III.9. Mediante el uso de tractor, se dispone el material con el espesor especificado. Continúa la humectación.*



*Fotografía III.10.*



*Fotografía III.11. Finalmente se alcanza el espesor solicitado, que para el caso Particular del material 3B es de 80 cm.*



*Fotografía III.12. Posterior a la colocación, se compacta usando compactador de rodillo liso vibratorio de 10 o 12 ton, dando de 6 a 8 pasadas.*



Pareciera ser un procedimiento sencillo, sin embargo su magnitud exige un seguimiento continuo y cuidadoso ya que un error o la acumulacion de varios de ellos afectaran en el mediano y largo plazo a la estructura.

Además es necesario un control de calidad estricto de los materiales y su colocación, para lograr los resultados planteados.

### **III.4.3. Compactación.**

Cada capa de material debe ser compactada con tantas pasadas del compactador hasta alcanzar la densidad seca del material, pero no menos de 4 pasadas.

Debe hacerse en forma sistemática, ordenada y continua, inmediatamente después de tender el material húmedo. El equipo debe recorrer la capa en sentido paralelo a los ejes de la cortina, exceptuando los sitios donde esto no sea practico como en áreas donde el compactador de vuelta, en las áreas adyacentes a los desplantes de estructuras, en partes bajas o en los sitios adyacentes a la instrumentación; en estos lugares el equipo de compactación debe recorrer la capa en el sentido que ofrezca la mejor compactación para el área.

En zonas donde los materiales no puedan ser compactados con los rodillos vibratorios, se utilizan retroexcavadoras equipadas con placa para compactar las áreas de difícil acceso.

Los compactadores vibratorios deben desplazarse a una velocidad menor a 70 m/min. La compactación en las líneas divisorias entre zonas de material o uniones de rampas de construcción, deben hacerse con el numero de pasadas mayor especificadas para esos materiales.

El equipo de compactación, además de cumplir con las especificaciones ya mencionadas, debe estar disponible en todo momento y mantenerse en óptimas condiciones de operación, de lo contrario debe ser reparado o reemplazado lo antes posible para evitar retrasos excesivos en los trabajos de las diferentes zonas de la cortina.

Lo que implica que debe contarse con las refacciones e incluso maquinaria extra lista para cualquier emergencia. Este debe ser suficiente para ser usado simultáneamente en diferentes zonas de la cortina en cualquier momento.

La cantidad de equipos de compactación de cada tipo debe ser suficiente para colocar las cantidades requeridas de material conforme al diseño de las estructuras y de acuerdo a los rendimientos de compactación que demanda el programa general de construcción.

Antes del inicio de la construcción de la cortina, se deben construir fuera del cuerpo de esta, pedraplenes de prueba para los materiales 3B y T.

Para su control, el área que abarquen de ser por lo menos de 50 x 50 m; a partir de la segunda capa, se debe trazar una cuadrícula topográfica con cal, de elementos de 2 x 2 m, estableciendo en sus vértices controles topográficos cuyas mediciones se harán antes de iniciar la compactación, y después al término de 4, 6, y 8 pasadas, con lo cual se debe obtener la evolución de la evolución del espesor de capa desde el estado suelto mas compacto alcanzado al término de las 8 pasadas del rodillo.

La frecuencia de vibración de los rodillos debe ser regulable y fácil de ajustar durante las operaciones de compactación. No se admiten compactadores con frecuencia menor que 30 Hz.

La cara de aguas arriba de la cortina formada por material 2, el material 2F y todo el material adyacente al plinto que no pueda ser compactado con rodillo, debe ser compactado con compactadores manuales que permitan lograr la densidad seca especificada en cada tipo de material.

La superficie final compactada debe coincidir con la línea de proyecto a fin de evitar espesores variables en la cara de concreto. Esto se logra con equipo de perfilamiento controlado con rayo láser.

Se construyen pozos de bombeo en el cuerpo de la cortina en zonas cercanas a la cara de concreto, especialmente durante la construcción de dicha cara, para evitar que subpresiones en el sentido aguas abajo-aguas arriba por presencia de agua puedan afectar la estabilidad de las losas de la cara de concreto.

Concluidos los trabajos de colado de la cara de concreto y de la colocación del material de protección sobre la cara, se puede suspender el bombeo, siempre y cuando se garantice que los niveles de agua dentro de la cortina no afecten la estabilidad de las losas de la cara de la cara de concreto.

### **Sistema de humectación.**

De acuerdo con las necesidades de suministro de agua para el humedecimiento de los materiales de la presa se determino un consumo medio de 60 l.p.s. Con base a las especificaciones técnicas, particularmente al momento en que se debe hacer la humectación dentro del ciclo de trabajo, a las etapas de construcción de la presa y a la propia dinámica de los trabajos de colocación de materiales, se determino que la conducción de agua se realice por medio de una red de tuberías localizadas principalmente en las laderas del río, cuyo punto de abastecimiento es el carcamo de bombeo utilizado para el achique del recinto.

Esta opción hace posible el crecimiento progresivo de la cobertura de la red, de manera que sea adaptable al progreso de colocación de materiales.

Por las variaciones tan importantes de la carga de bombeo, se tiene prevista la instalación de tanques para cambio de régimen en diferentes elevaciones en las que se instalaran equipos de bombeo que rebomben al siguiente tanque o a la línea que alimenta los cañones para incrementar la presión de trabajo.

La red de abastecimiento esta constituida por una línea de polietileno de alta densidad de 10 pulgadas para la alimentación de los tanques de cambio de régimen.

Después por gravedad o rebombeo a través de una línea de polietileno de alta densidad de 8 pulgadas de diámetro que recorre toda la ladera izquierda se instalan tomas de 4 pulgadas de diámetro a distancias que permitan la rápida conexión de mangueras que alimentan los monitores o cañones. Los trabajos de instalación de la red de abastecimiento se inician en forma previa a la colocación de materiales y se adecua conforme se eleve el terraplén de la presa. Mensualmente se realizan aforos a los cañones con el fin de verificar el cumplimiento de adición de 200 l de agua por cada m<sup>3</sup> de material colocado.

#### **III.4.4. Bordo de concreto extruido.**

Para una mejor protección de la cortina se construye el bordo de concreto extraído, en el talud aguas arriba del material 2 para contenerlo.

Esta pared consiste en bloques de forma trapecial con dimensiones tales que den en la cara inclinada la pendiente de la cortina para recibir la cara de concreto, en esta cara se debe aplicar una película de plástico de polietileno con un calibre que evite rasgaduras, esta película servirá para evitar la fricción entre losa de la cara de concreto y los bloques de concreto extruido y que el material de la cara de concreto penetre en el bordo.

Para su conformación y colocación se cuenta con una maquina extrusadora que coloca el material premezclado de acuerdo con la sección trapecial del bordo.

Se requiere utilizar un concreto con bajo contenido de cemento, de acuerdo a lo siguiente:

Cemento: 70-75 kg/m<sup>3</sup>

Agregado de 19 mm (3/4"): 1173 kg/m<sup>3</sup>

Arena: 1173 kg/m<sup>3</sup>

Agua: 125 l

Para la construcción de los bloques es necesario utilizar un molde que tenga la misma inclinación que la cara de aguas arriba 1.4 H: 1 V.

Como característica principal se requiere que dicha mezcla tenga un comportamiento estable una vez que se ha extruido la sección, por lo que se requiere un revenimiento que puede oscilar entre 0 y 3 cm.

Para la construcción del bordo se pueden considerar los siguientes pasos:

- a) Se debe contar con una plataforma horizontal en la zona de material 2 cercana a la cara inclinada de la cortina para facilitar el movimiento del equipo que colocara el concreto.
- b) se alinea la maquina de acuerdo con los datos marcados por la cuadrilla de topografía. Actividad sobre la que se tiene un continuo control de seguimiento ya que el alineamiento y acabado son la base principal para evitar sobre espesores en la etapa de la cara de concreto.
- c) El material es recibido desde el canalón de los camiones mezcladores que lo transportan desde la planta de fabricación hasta la zona de colocación.
- d) La maquina extrusadora conforma la sección del bordo.
- e) Se aplica sobre la superficie de aguas arriba aditivo para curado del concreto.
- f) Una hora después del colado del bordo, el material 2 de la cortina puede ser extendido y compactado.

### ***III. 5. Cara de concreto de la cortina.***

Las losas de la cara de concreto definen una superficie muy amplia y quedan completamente vinculadas al comportamiento de la presa, dado que se apoyan totalmente en el material de respaldo del talud de aguas arriba de la presa. Serán construidas en 36 franjas de 15 m de ancho típico (con franjas menores en las extremidades en cada margen), resultando en una longitud total en el eje de la cortina de 534.95 m.

La cara de concreto es la parte estanca de la presa, forma la pantalla que impide el paso del agua hacia el interior de esta. El grado de impermeabilidad que se requiere no es total, admitiéndose algunas filtraciones, mas no así francas aberturas o grietas que dejen pasar flujos importantes que puedan generar migración o perdidas de material de relleno. Para asegurar características adecuadas de permeabilidad, además del espesor, de las juntas de tensión y de compresión con sellos especiales, y de los cuidados durante los colados y el fraguado del concreto, se coloca acero de refuerzo para que ayude a minimizar y distribuir las eventuales grietas.

Entre las juntas se definen: la junta perimetral entre la cara de concreto y el plinto; y las juntas verticales entre las losas.

En la junta perimetral es donde se espera mayor movimiento e involucra tres tipos de movimientos: de apertura de corte y de asentamientos.

En general se establecen barreras contra el paso del agua constituido de: un sello de cobre en la parte superior y otro en la parte inferior, ambos en el contacto del plinto con la losa; un contenedor de cenizas sobre la junta con material fino. Las juntas verticales entre las losas, son de dos tipos, tensión y de compresión,

dependiendo del tramo que se localicen en la cara de concreto. Las juntas de tensión, como la junta perimetral, llevan los mismos dos sellos y el contenedor de cenizas, mientras que las juntas de compresión, cuentan solamente con un sello de cobre inferior.

La geometría de las losas en lo que respecta al ancho de las mismas, así como su espesor, son definidos empíricamente, teniendo en cuenta experiencias exitosas en presas ya construidas.

El ancho de las losas varía entre 12 y 18 m, en función de la metodología que se utiliza durante el proceso constructivo.

El más común en la actualidad y que se usara en este proyecto, es el uso de cimbras deslizantes de 15 a 16 m de ancho. Para el desarrollo del diseño serán adoptadas losas con 15 m de ancho típico, con losas un poco mas angostas en las dos extremidades de la cortina para ajustar las dimensiones para el cierre de la cara de concreto.

Por lo que respecta al espesor de las losas, este será también definido a través de formulas empíricas que se han utilizado en presas de este tipo. Como las abajo descritas:

Para H menor o igual a 100 m de altura:  $e=0.30 + 0.002H$   
Para H superior a 100 m de altura:  $e=0.50 + 0.004 (H-100)$

Donde:

e= espesor de la losa (m)

H= diferencia de altura entre la parte superior de la cara hacia el punto de medición (m)

En el caso del P.H.El Cajón, se adopta una expresión única que cumple con los requisitos básicos definidos por las formulas empíricas. El espesor de la losa variara de 0.30 m hasta el máximo de 0.80 m, según la formula:

$$e= 0.30 + 0.00287 ( 391.70 - Z )$$

Donde:

Z= la elevación de la losa en el punto de calculo del espesor (m).

Por lo que respecta al acero de refuerzo, se debe colocar utilizando el 0.3% en el sentido horizontal y 0.4% en el sentido vertical, este porcentaje cambia a 0.4% en el sentido horizontal en las losas de arranque y en las fronteras. El 0.5% en ambas direcciones se coloca en las losas de arranque y en las fronteras para altura superior de 150 m.

Serán considerados ocho tipos de armados en el sentido vertical, zonificando la cara de concreto para diferentes cargas hidráulicas.

Para estas franjas serán definidas los porcentajes de armados, de acuerdo a las directrices básicas mencionadas, separándose los armados de la cara en general y los armados de los arranques y fronteras.

En la zona central e inferiores de la cara, franjas 4, 5, 6, 7 y 8, en donde el espesor es mayor a 46 cm, en lugar de colocar todo el acero de refuerzo en la parte media de la losa (espesor medio) se repartirá el acero en dos lechos en la zona.

En las zonas de la cara en donde el espesor es menor que 46 cm, es decir en las franjas 1, 2 y 3 el acero de refuerzo será colocado todo en la parte media de la losa en un solo lecho.

De la aplicación de los criterios mencionados, resulta la división del acero de refuerzo, definiendo los porcentajes efectivos de acuerdo al espaciamiento de las varillas.

#### ARMADO DE LA CARA DE CONCRETO.

#### ARMADO DE LA LOSA

FRANJA	ELEVACION	LARGO	VARIACION	ESPESOR	PORCENTAJE		AREA DE ACERO (cm <sup>2</sup> )	
					H	V	H	V
	392	(m)	(m)	(m)				
1	375	29.25	17	0.35	0.3	0.4	10.46	13.95
2	355	34.41	37	0.41	0.3	0.4	12.19	16.25
3	336	32.69	56	0.46	0.3	0.4	13.82	18.43
4	315	36.13	77	0.52	0.3	0.4	15.63	20.84
5	295	34.41	97	0.58	0.3	0.4	17.35	23.14
6	275	34.41	117	0.64	0.3	0.4	19.07	25.43
7	245	51.61	147	0.72	0.3	0.4	21.66	28.88
8	218	46.45	174	0.8	0.3	0.4	23.98	31.98

HORIZONTAL				
CANTIDAD DE LECHOS	CALIBRE (inch)	SECCION cm <sup>2</sup>	ESPACIAMIENTO TEORICO	ESPACIAMIENTO ADOPTADO
1	3/4	2.85	24.24	25
1	3/4	2.85	23.39	20
1	3/4	2.85	20.62	20
2	5/8	1.98	25.33	25
2	5/8	1.98	22.81	20
2	5/8	1.98	20.75	20
2	3/4	2.85	26.32	25
2	3/4	2.85	23.77	20

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA CORTINA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAJON

VERTICAL				
CANTIDAD DE LECHOS	CALIBRE (inch)	SECCION cm <sup>2</sup>	ESPACIAMIENTO TEORICO	ESPACIAMIENTO ADOPTADO
1	¾	2.85	20.43	20
1	¾	2.85	17.54	15
1	¾	2.85	15.47	15
2	¾	2.85	27.35	25
2	¾	2.85	24.64	20
2	¾	2.85	22.41	20
2	1	5.07	35.1	30
2	1	5.07	31.69	30

ARMADO DE LA CARA DE CONCRETO.  
ARMADO DE LOS ARRANQUES Y FRONTERAS.

FRANJA	ELEVACION	LARGO (m)	VARIACION (m)	ESPESOR (m)	PORCENTAJE		AREA DE ACERO (cm <sup>2</sup> )	
					H	V	H	V
	392	(m)	(m)	(m)				
1	375	29.25	17	0.35	0.4	0.4	3.49	0
2	355	34.41	37	0.41	0.4	0.4	4.06	0
3	336	32.69	56	0.46	0.4	0.4	4.61	0
4	315	36.13	77	0.52	0.4	0.4	5.21	0
5	295	34.41	97	0.58	0.4	0.4	5.48	0
6	275	34.41	117	0.64	0.4	0.4	6.36	0
7	245	51.61	147	0.72	0.4	0.4	7.22	0
8	218	46.45	174	0.8	0.5	0.5	15.99	7.99

HORIZONTAL				
CANTIDAD DE LECHOS	CALIBRE (inch)	SECCION cm <sup>2</sup>	ESPACIAMIENTO TEORICO	ESPACIAMIENTO ADOPTADO
1	5/8	1.98	56.75	50.00
1	5/8	1.98	48.73	40.00
1	5/8	1.98	42.96	40.00
2	½	1.27	48.63	50.00
2	½	1.27	43.80	40.00
2	½	1.27	39.85	40.00
2	5/8	1.98	54.84	50.00
2	¾	2.85	35.66	40.00

VERTICAL				
CANTIDAD	CALIBRE	SECCION	ESPACIAMIENTO	ESPACIAMIENTO
DE LECHOS	(inch)	cm <sup>2</sup>	TEORICO	ADOPTADO
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
0	0	0	0	0
2	3/4	2.85	71.31	60

las losas que formaran la cara de concreto se dividen en losas de arranque y losas deslizadas. Las primeras se colocan a lo largo de toda la parte baja del plinto; las segundas se denominan losas deslizadas y se colocan sobre las de arranque. Para la construccion de ambos tipos de losas se colocan rieles de acero sobre la cara de la cortina para que pueda ser apoyada la cimbra que se utilizara.

Las losas de arranque se construyen utilizando cimbra convencional de madera apoyada sobre los rieles; el concreto se coloca a traves de camiones bomba, se compactan mediante vibradores manuales y se les da un acabado con llana de madera, se aplica curacreto y yute para evitar la perdida de humedad.

Para las losas deslizadas se utiliza cimbra deslizante (de ahí su nombre) la cual tambien se monta sobre los rieles y es impulsada por sistemas motorizados colocados a los costados de esta. Después de ser nivelada la cimbra deslizante, se da inicio al suministro de concreto a traves de tres canalones de acero colocados sobre la cara de la cortina desde la parte superior de esta, y desde donde son abastecidos por camiones revolvedoras. Dichos canalones son cubiertos por lona para evitar que las altas temperaturas afecten las características del concreto. Una vez que el concreto llega a la base de la cimbra deslizante es repartido a lo largo de esta moviendo el canalon y con la ayuda de palas, para inmediatamente empezar a compactar con vibradores manuales por varios trabajadores colocados sobre la cimbra. Una vez llena la cimbra, esta se desliza hacia arriba para repetir el proceso hasta alcanzar la altura total; cada vez que esta se desplaza, un grupo de trabajadores dan acabado a la superficie ya compactada y se aplica curacreto, posteriormente se coloca bandas de yute sobre la superficie para evitar la perdida prematura de humedad.

El volumen de concreto colocado mediante cimbra deslizante es de 38.7 m<sup>3</sup> por hora, con lo que se tiene un avance de 3.6 m lineales por hora.





*Fotografía III.13. cimbra deslizante.*

### ***III.6. Procedimiento de muestreo y pruebas de materiales de la cortina.***

Como parte integral de cualquier actividad de ingeniería, se debe contar e implementar un sistema de pruebas tanto a los materiales como a los productos resultantes de estos. Esto con el fin de asegurar que se están obteniendo los resultados buscados, y en caso contrario, implementar acciones que permitan corregir y/o minimizar fallas. Lo cual dará la pauta para proyectos futuros que cuenten con características similares.

Para una presa, y en el caso particular de la presa para el P.H. El Cajón, es indispensable contar con especificaciones para muestreo y elaboración de pruebas tanto en campo como en laboratorio, con la finalidad de que se este cumpliendo con las especificaciones que se marcan en el diseño de esta estructura.

En México se cuenta con gran experiencia y reconocimiento en materia de mecánica de suelos, y por lo tanto, en la implementación de los métodos empleados para determinar algunas características de los mismos.

En este sub capítulo, describiré de manera resumida algunas de las pruebas que desde el inicio de su construcción, se han implementado para los materiales de la cortina.

## **PROCEDIMIENTOS.**

### **1. Muestreo: número y tamaño de las muestras.**

El mínimo de las muestras de campo obtenidas de la producción deben ser suficientes para que los resultados de las pruebas sean confiables. El tamaño de las muestras de campo deben ser de al menos 500 kg.

Para el muestreo en almacenamientos o acopios se tendrán las precauciones debidas, ya que son materiales acomodados en forma que fácilmente se derrumban, lo que hace complicada la obtención de las muestras.

En los taludes, el muestreo se hace tomando material con una pala de mano, a diferentes alturas, de manera de abarcar la altura del talud; también se puede realizar la toma de la muestra con cargador.

### **2. Granulometría.**

Preparación del equipo necesario: juego de mallas, charolas, agitador mecánico en caso de usarse, vasija, bascula con sensibilidad de 10, 1 y 0.1 g. Cepillos, uno de cerda fina y uno de alambre, flexometro para medir rocas de tamaños mayores a 4”.

Para tamaños de gravas de 4” y mayores e inclusive de hasta 40”, se seleccionan los fragmentos, se miden en rangos de 3” a 5”, 5”da 10”, 10” a 20” y 20” a 40”, se anotan las masas en cada rango, se pesa y se estima la cantidad equivalente del muestreo. Debido a la cantidad mayor a 500 kg, esta operación se realiza en el sitio mismo del muestreo, excepto cuando el material es ligeramente menor o aproximado a 3”.

Para los tamaños menores, se obtiene la muestra por cuarteo, mecánico o manual. Para arenas se toma la cantidad aproximada de 500 g. Para las gravas de TMA de 1/2” , 2 kg; para 3/4”, 8 kg; para 2”, 20 kg y para 3”, 40 kg.

Granulometría de arena en seco.

Secar la muestra del material preferentemente a los rayos del sol, aproximadamente a 60° C y pesar.

Se vacía la muestra en las mallas.

Cuando se use equipo mecánico, las mallas se acomodan en el agitador mecánico y éste se enciende, dejándolo trabajar de 5 a 10 min.

En caso de hacer la prueba manual; en arenas se vierte la muestra sobre las mallas acomodadas y para las gravas se efectúa el cribado de malla en malla de mayor a menor.

Transcurrido el tiempo de cribado, se sacan las mallas del agitador y en el proceso manual se espera un momento a que las partículas sueltas se acomoden.

Se separa el juego de mallas y se pesa el contenido de cada una de ellas, el valor obtenido se anota.

Se debe tener precaución de no exceder para cada una de las mallas un peso equivalente de  $0.6 \text{ g/cm}^2$ .

Se realiza el calculo sumando los pesos parciales hasta obtener la suma total; posteriormente se dividen los valores parciales entre la suma total multiplicada por 100 y ajustada a la unidad.

Cuando así se solicite, de la curva granulométrica se obtienen los valores del Coeficiente de curvatura y el Coeficiente de uniformidad. Con los resultados de esta prueba se determina la clasificación SUCS.

Granulometría de las arenas por lavado.

Primero se debe lavar el material por la malla 200, de tal manera de eliminar el material menor a la malla de 0.074 mm, después el material sobrante se le ejecuta la granulometría desde la malla No. 4 a la No. 100 y en la charola se considera el material que retiene la malla No. 200.

El lavado del material se realiza por agitación en un recipiente cerrado hasta obtener el agua razonablemente clara.

El material antes de lavado se pesa secado al horno a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  y también después de lavado se seca a esta temperatura y se pesa.

### **3. Densidad y absorción.**

Preparación del agregado grueso (grava)

Lavar la muestra de agregado grueso por la criba No. 4.

Secar a masa constante la muestra total o diferentes porciones a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ , dejar enfriar y anotar la masa seca MS.

Sumergir la muestra en agua a temperatura ambiente por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.

Preparación del agregado fino (arena)

Si la muestra no presenta humedad en forma visible, se deja saturar por un periodo de  $24 \pm 4$  horas.

Si la muestra presenta humedad en forma visible, se procede a la determinación de la condición saturada y superficialmente seca.

Se extiende la muestra en una charola para su secado y se mueve con frecuencia para lograr una evaporación uniforme.

Se toma y se fija el molde firmemente con una mano sobre la superficie limpia, con la boca de mayor diámetro hacia abajo.

Se llena con una porción de muestra hasta copetear, se enrasa y se compacta con la masa propia del pistón 25 veces, volviendo a incluir material y enrasando cada vez que se requiera.

A continuación se levanta el molde verticalmente; si el material conserva la forma del molde, el agregado todavía tiene humedad superficial, por lo que hay que repetir el proceso; si el material formado con el cono cae de lado, ésta es la condición de humedad saturada y superficialmente seca.

#### **4. Peso unitario suelto.**

Secar la muestra en un horno a una temperatura de  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta peso constante.

Obtener por cuarteo la cantidad requerida de material.

Llenar el recipiente calibrado con una pala o cucharón, (la altura de descarga de material no debe exceder de 5 cm) sobre el borde superior del recipiente.

Evitar en lo posible la segregación de la muestra durante la prueba.

Nivelar la superficie del agregado con un hilo o con una regla metálica, de tal manera que las salientes de las piezas grandes del agregado grueso, compense a los vacíos dejados por otros en el ensaye de recipiente.

Determinar su peso y calcular el peso unitario del agregado ensayado con la siguiente ecuación:

$$P.V.S = \frac{\text{peso}_{\text{neto del agregado suelto}}}{\text{volumen del recipiente}}$$

Repetir dos veces el paso anterior, calcular el promedio de los tres valores de peso unitario suelto.

#### **5. Peso volumétrico suelto.**

Se prepara el recipiente de capacidad mínima de 100 litros previamente tarado, para colocar el material suelto.

Previo a la colocación del material se cuarteo y se selecciona.

El material colocado puede ser en estado húmedo o seco.

En caso de estar húmedo, se toma una muestra para determinar la humedad del material, para después afectarlo.

Se coloca el material en estado suelto teniendo cuidado de no compactarlo y pesar las porciones que se les va introduciendo.

Se sigue el procedimiento hasta colocarlo al ras del recipiente.

Se suman los pesos parciales y conocido el volumen se determina el valor de peso volumétrico, con la siguiente ecuación:

$$P.V.= \frac{\text{peso _neto _de _porciones _del _material _suelto}}{\text{volumen _del _recipiente}}$$

## 6. Relación de vacíos.

Se tiene el valor del peso volumétrico.

Se determina la densidad seca del material,  $D_m$ .

Se considera la densidad del agua o en su caso el valor de  $998 \text{ kg/m}^3$ ,  $D_w$ .

Se considera la siguiente formula:

$$\text{Vacíos \%} = \frac{[(D_m D_w)] - PV}{D_m D_w} \times 100$$

Donde:

$D_m$ = densidad del material.

$D_w$ = densidad del agua,  $\text{kg/m}^3$

$PV$ = peso volumétrico,  $\text{kg/m}^3$

## 7. Limite líquido.

Se obtiene la muestra por ensayar del cuarteo y del cribado por la malla No. 40 y se toman aproximadamente 300 g de material seco que pase la malla mencionada.

Se agrega agua para remoldear el suelo haciendo una mezcla homogénea.

Se verifica y ajusta en caso necesario, la altura de caída de la copa de Casagrande, 1 cm.

Se pone en una capsula el material que ha pasado por dicha malla, se agrega agua y, con una espátula se mezcla perfectamente hasta obtener una pasta suave y espesa.

El suelo remoldeado se coloca con una espátula en la copa de Casagrande, teniendo un espesor máximo de 1 cm, se debe tener cuidado de que el material quede bien enrasado y sin burbujas.

Con el ranurador se hace una ranura en el centro, siguiendo el eje longitudinal de la copa y en un solo tiempo, cuidando que el ranurador se mantenga perpendicular a la superficie de la copa.

Se da vuelta a la manivela a razón de dos golpes por segundo, contando el numero de golpes necesarios para que la ranura se cierre en el fondo una distancia de 1 cm.

Se cierra la ranura con la espátula, cuidando de que no queden burbujas.

Se toma una pequeña porción del suelo que esta en la copa y próxima a la ranura cerrada y se coloca en un vidrio de reloj o capsula de aluminio previamente verificada su masa y se anota.

Se determina la masa del vidrio del reloj o capsula de aluminio con el suelo húmedo y se anota.

Se repiten los pasos agregando el agua necesaria para cada una de las determinaciones.

Se procede a determinar el contenido de agua según el registro.

Se traza la grafica del número de golpes contra el contenido de agua en un rayado semilogaritmico.

El valor del límite líquido se encuentra mediante interpolación o lectura directa en la grafica del contenido de agua correspondiente a 25 golpes.

### **8. Obtención de la densidad seca de un enrocamiento mediante calas volumétricas gigantes.**

Este procedimiento tiene como objetivo establecer los lineamientos para determinar la densidad seca de un enrocamiento o suelo con partículas de 0.50 m y de 0.70 m de tamaño máximo, en el sitio.

La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el suelo y obtener su volumen y el peso del material contenido en ella, determinándose al mismo tiempo el contenido de agua del material.

Equipo y materiales.

4 buretas con volumen aproximado de 1.5 m<sup>3</sup>, con indicadores de nivel, montadas sobre un camión 8 una bureta de 0.40 m de diámetro y tres de 0.60 m de diámetro)  
Bomba de agua con 5 cm de diámetro (de entrada y salida) para llenado de buretas.

Aros de acero de 1.5 m y 2.0 m de diámetro y 0.20 m de altura con dispositivos indicadores de nivel. El aro de 1.50 m de diámetro se usa para tamaño máximo de 0.50 m y la de 2.00 m de diámetro para tamaños máximos de 0.70 m.

Tambos con volumen de 0.20 m<sup>3</sup> para almacenar el material producto de la cala.

Balanza con capacidad mínima de 1000 kg y 100 g de exactitud.

Balanza con capacidad de 20 kg y 1 g de exactitud.

Horno eléctrico con regulador de temperatura y desecador.

Membrana de polietileno de 0.003x4x4 m.

Determinación de la densidad seca en campo.

Se llenan las buretas con agua y se trasladan al sitio de la excavación de la cala.

Enrasar a nivel la superficie del suelo en el sitio donde se va a hacer la determinación de la densidad seca.

Se coloca el aro sobre la superficie del suelo previamente nivelada y enrasada.

Se coloca la membrana de polietileno sobre el aro y el suelo, se vierte agua de las buretas, hasta un nivel que se determina mediante el indicador de nivel, que se adosa al aro, previamente se toma la lectura inicial de las buretas a utilizar.

Al quedar lleno el aro hasta ese nivel, se toma nuevamente la lectura de las buretas utilizadas para determinar el volumen de agua utilizado, ( $vol_1$ )

Se regresa el agua a las buretas mediante la bomba.

Se procede a excavar el material existente dentro del aro, teniendo cuidado de no moverlo, el material excavado se deposita en el interior de los tambos, para su posterior traslado al laboratorio. La excavación debe corresponder a todo el espesor de una capa.

Una vez extraído todo el material de la cala, nuevamente se coloca el polietileno y se procede al llenado con agua hasta la marca que indica el nivel, que debe ser el mismo tomado para la determinación del  $vol_1$ , y se hacen las lecturas correspondientes de los niveles en las buretas ( $vol_2$  )

Por diferencia de volúmenes se determina el volumen del material excavado ( $V_m$ )

En el laboratorio, se pesa todo el material extraído ( $W_{th}$ ) se criba y cuartea para tomar una parte de aproximadamente 10 kg, del material que pasa la malla de 7.6 cm para secarlo y determinar su contenido de agua ( $w$ ) de acuerdo a la norma ASTM D 2216 89. El peso seco del material extraído se obtiene con la siguiente ecuación:

$$W_s = \frac{W_{th}}{(1 + w)}$$

Se obtiene también el valor de la densidad específica del material (densidad de sólidos,  $S_s$ ) de acuerdo a la norma ASTM D-854-83.

Se calcula la densidad seca del material ( $D_s$ ):

$$D_s = \frac{W_s}{V_m}$$

Mientras que la relación de vacíos se obtiene con:

$$e = \frac{S_s}{D_s} - 1$$

Y el peso volumétrico seco es igual:

$$\gamma_s = g D_s$$

Donde:

$D_s$  = densidad seca en  $\text{kg/m}^3$

$e$  = relación de vacíos.

$\gamma_s$  = peso volumétrico seco, en  $\text{kN/m}^3$

$g$  = gravedad =  $9.807 \text{ m/s}^2$

### **9. Realización de la prueba de permeabilidad Matsuo-Akai.**

Tiene como objetivo determinar el coeficiente de permeabilidad  $k$  del manto rocoso o estrato de suelo donde se desea efectuar el ensaye.

Equipo mínimo requerido.

Recipiente con capacidad de 1000 l o mas según se requiera.

Manguera de 25 mm de diámetro, de longitud suficiente para alcanzar la zanja.

Válvula de globo de 25 mm de diámetro, para la regulación de los gastos adicionados.

Sistema para el control de niveles con una aproximación de 1 mm.

Aforador de gasto domestico.

Flexometro y cronometro.

Se procura que la superficie donde se excavara la zanja sea sensiblemente horizontal.

En una primera etapa de la prueba, se marcaran en planta con cal, las dimensiones de la excavación.

Se excavara la zanja con una geometría regular, teniendo como dimensiones iniciales  $B$  como ancho y  $L$  como largo; cumpliendo con  $L=2B$  con profundidad igual a 80 cm o al espesor de la capa. Normalmente  $B=1 \text{ m}$ .

La excavación se realizara empleando la herramienta adecuada, dependiendo de las características y naturaleza del material y de su disponibilidad en el sitio, pero se deberá tener cuidado de que la zanja tenga taludes 1:1.



Posteriormente la zanja se llena de agua hasta alcanzar un tirante  $h$  tal que se encuentre por debajo del nivel de terreno de 5 a 10 cm, suministrando agua para mantener el tirante inicial.

Saturación del material: este tirante podrá variar dependiendo del tipo de material con que se este trabajando, este paso tiene como finalidad lograr la saturación del

material, que en el caso de tratarse de materiales granulares, se recomienda sea de 24 horas como mínimo y en el caso de materiales finos, hasta 72 horas.

Una vez que se ha estabilizado el tirante, se montara la estructura que contiene el sistema de control de niveles. A continuación se selecciona un nivel arbitrario como referencia y se inicia con la toma de lecturas de gastos contra tiempos.

El gasto promedio que se obtenga de las lecturas en esta etapa se identificara como  $Q_1$ . Una vez obtenido este, se suspende el suministro de agua a la zanja. Terminando la primer etapa.

La siguiente etapa consiste en ampliar la zanja en el sentido longitudinal al doble de la inicial.

Se repite el proceso para obtener  $Q_2$ .

La diferencia entre estos gastos, es el gasto de absorción del terreno para la longitud complementaria de zanja.

Se puede estimar el coeficiente de permeabilidad aplicando las formulas:

$$k = \frac{q}{\Delta L(B + 2h)} \quad \text{si } y < \frac{3}{2}(h + 2B)$$

$$k = \frac{q}{\Delta L(B - 2h)} \quad \text{si } y > \frac{3}{2}(h + 2B)$$

Donde:

$\Delta L$  = longitud adicional excavada en cm.

$k$  = coeficiente de permeabilidad en cm/s.

$q$  = gasto de absorción en  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

$h$  = tirante de agua en cm.

$B$  = ancho de la sección en cm.

$y$  = profundidad del manto permeable en cm.



## **CONCLUSIONES .**

La construcción del Proyecto Hidroeléctrico El Cajón, desde sus etapas de concepción, diseño y planeación, hasta su puesta en marcha, operación y mantenimiento, como parte integral del Sistema Hidrológico Santiago, fortalecerá al Sector Energético Nacional, además de regular los escurrimientos y fomentar el turismo regional.

Una obra de esta magnitud e importancia, requiere del trabajo conjunto de varias disciplinas tanto técnicas como sociales y económicas.

La Ingeniería Civil, tiene un papel fundamental en el desarrollo de este proyecto, dado que a través de esta disciplina, es que se construirán todas las partes integrantes de la Central Hidroeléctrica, incluyendo la habilitación de áreas y estructuras que recibirán los elementos e instalaciones electromecánicas.

Por lo que es necesario conocer y aplicar todas las áreas de desarrollo de la Ingeniería Civil, como lo son la Planeación, Construcción, Geotecnia, Estructuras, Ambiental, Sistemas e Hidráulica; desde el comienzo hasta la terminación del proyecto.

Otro aspecto fundamental que se debe tener en cuenta para la construcción de una Central Hidroeléctrica, es la experiencia obtenida en obras similares. Experiencia que no solo debe ser aplicada como receta, sino que debe ser adecuada a la nueva obra además de conjuntarse con las nuevas tecnologías y solicitudes.

En este caso particular es ICA, a través de un consorcio, quien esta a cargo de realizar esta obra. Dicha Empresa cuenta con amplia experiencia, capacidad y prestigio tanto a nivel Nacional como Internacional, las cuales la respaldan y le permitirán terminar la Central casi un año antes de lo estipulado. Lo cual habla de una buena planeación y ejecución de los trabajos encomendados.

La Comisión Federal de Electricidad, CFE, al momento de lanzar a licitación el proyecto, proporciono la Ingeniería básica para este, para que posteriormente, el ganador, CIISA, se encargara de realizar la Ingeniería de detalle. De esta forma se llevo a la elaboración de Procedimientos Constructivos, Especificaciones y Planos, en los cuales se deben basar todas las actividades por realizarse. Dichos documentos son revisados y en caso necesario, corregidos periódicamente ya que el proyecto, como muchos otros, puede y ha sido modificado.

Es entonces, que de la aplicación del conocimiento técnico, las especificaciones, la experiencia y las innovaciones tecnológicas en el área de construcción, surge el Procedimiento Constructivo de la Cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto para el Proyecto El Cajón. El cual en esencia, es el mismo que se ha aplicado durante años en obras similares.

Como toda obra de Ingeniería Civil, la construcción de la Cortina, parte de una serie de estudios técnicos; en este caso, estudios topográficos, geotécnicos, hidrológicos y de materiales, del sitio donde se piensa desplantar.

A través de esos estudios se llegó a varias propuestas, las cuales se analizaron para determinar su comportamiento estructural, hidráulico y geotécnico a corto y largo plazo hasta obtener la mejor opción.

Después de lo anterior, se diseña el elemento, (la cortina), especificando su ubicación (elevaciones y cadenamientos), características geométricas, materiales, elementos integrales como los son el plinto y las losas de concreto, etc.

La buena planeación de actividades ha sido fundamental para el desarrollo de la cortina, ya que esta depende de otros sub procesos en diferentes frentes; siendo uno de los más importantes, las excavaciones de estructuras principales (Casa de Maquinas y el Vertedor) ya que de ahí se obtiene la gran mayoría del material constituyente de esta.

Una vez determinadas las características y actividades propias de la cortina, el siguiente paso fue determinar ¿cómo se construirá? Que es precisamente lo que se ha descrito en este trabajo.

El proceso, aunque sencillo, debe ser cuidadosamente diseñado y ejecutado ya que cada zona de la cortina requiere de un tratamiento especial para funcionar adecuadamente en conjunto. Además cada una de estas zonas depende del avance de las demás así que un retraso o problema en una de ellas repercutirá directamente en las otras; y viceversa, un avance repercutirá positivamente en toda la estructura.

Es claro que la selección del equipo de construcción que se utiliza, es fundamental para el correcto desarrollo de las actividades propias de la construcción de la cortina. Se podría pensar que por la magnitud de este elemento, se requiere exclusivamente de equipo de grandes dimensiones como camiones fuera de carretera de 20 m<sup>3</sup> y cargadores frontales de 5 yd<sup>3</sup>; siendo que en ocasiones estos equipos resultan poco prácticos bajo condiciones especiales, y se tiene que recurrir a equipos más pequeños pero con características que brindan mejores opciones de trabajo.

Como ya se mencionó, el procedimiento constructivo puede dividirse en tres fases:

- a) Explotación y acarreo de materiales.
- b) Colocación de material
- c) Compactación.

En el primer caso, explotación y acarreo, se puede concluir que la esencia radica en la correcta ejecución de las excavaciones a cielo abierto mediante el uso de explosivos, ya que a partir de estas excavaciones se obtendrán materiales de diferentes características granulométricas para conformar el cuerpo de la cortina.

En ocasiones se han presentado problemas con las dimensiones de los materiales obtenidos a causa de voladuras mal ejecutadas, ya sea que se obtengan sobretamaños del material, lo que hace necesario tener que fragmentarlo incrementando tiempo y costos; o por el contrario, material demasiado fragmentado, lo cual se traduce en desperdicio. Pero en general se ha obtenido material de muy buena calidad con un porcentaje bajo de desperdicios.

Los acarreos han sido agilizados por la cantidad de camiones disponibles para este fin, además de la cantidad y características favorables de los caminos de acceso a la cortina.

En cuanto a la colocación del material, se pueden resaltar varios puntos de interés.

El primero es que se deben tender los diferentes materiales en sus zonas correspondientes cumpliendo con los espesores solicitados por el Proyecto, los cuales varían desde los 30 cm hasta los 140 cm en estado suelto.

Para lo cual se usan diferentes equipos, que van desde esparcidoras y motoconformadoras para los materiales finos, hasta tractores y retroexcavadoras para los materiales gruesos y el enrocamiento respectivamente.

En segundo lugar, lo cual es de suma importancia, es que se debe humectar efectivamente el material por colocar, en el caso de los materiales finos estos vienen previamente homogeneizados y con la humedad óptima; en las zonas 3A, 3B, T y 3C la humectación se hace en campo. El proyecto marca puntualmente que estos últimos materiales se deben humectar a razón de 200 litros de agua por cada metro cúbico de material.

En campo, los cañones o monitores de agua se aforan para conocer el gasto real que pueden suministrar y en base a ese gasto se determina el tiempo que se debe estar humectando el material hasta alcanzar lo solicitado.

Dicho proceso de humectación esta especificado que debe hacerse al momento de la llegada del camión a la zona correspondiente y durante su descarga; no se permite la humectación del material posterior a su descarga. Sin embargo se ha observado que en ocasiones la humectación es insuficiente por la cantidad reducida de cañones de agua o por fallas en estos. También, se ha realizado la adición de agua al momento de que el tractor empuja el material, lo cual no perjudica realmente al proceso; lo que si afecta a este es que se deposite material sin ser humectado; lo cual es incorrecto.

Por ultimo, la compactación adecuada para cada uno de los materiales de las diferentes zonas del cuerpo de la cortina. Para este proceso se utilizan compactadores de rodillo liso vibratorio de 10 y 12 ton de peso en su tambor y 30 Hz de frecuencia mínimo.

Según los resultados obtenidos de estudios realizados, en pedraplenes de prueba, previos a la construcción de las ataguías y la cortina, se determino que el número de pasadas con el equipo de compactación debe ser de 6 a 8. Sin embargo, cuando a través de pruebas en campo y laboratorio, se determine que alguna capa de material no cumpla con el nivel de compactación solicitado, se dará un número de pasadas indefinido hasta alcanzar ese nivel.

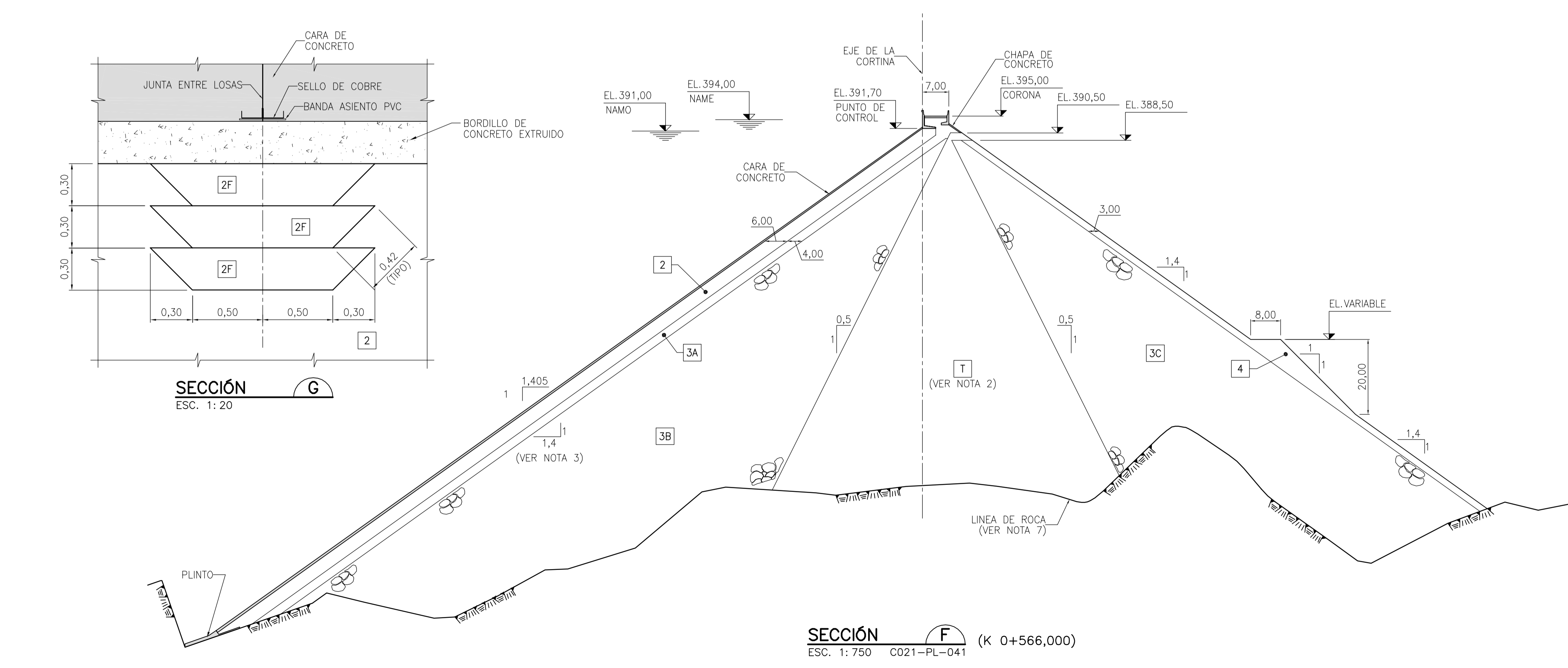
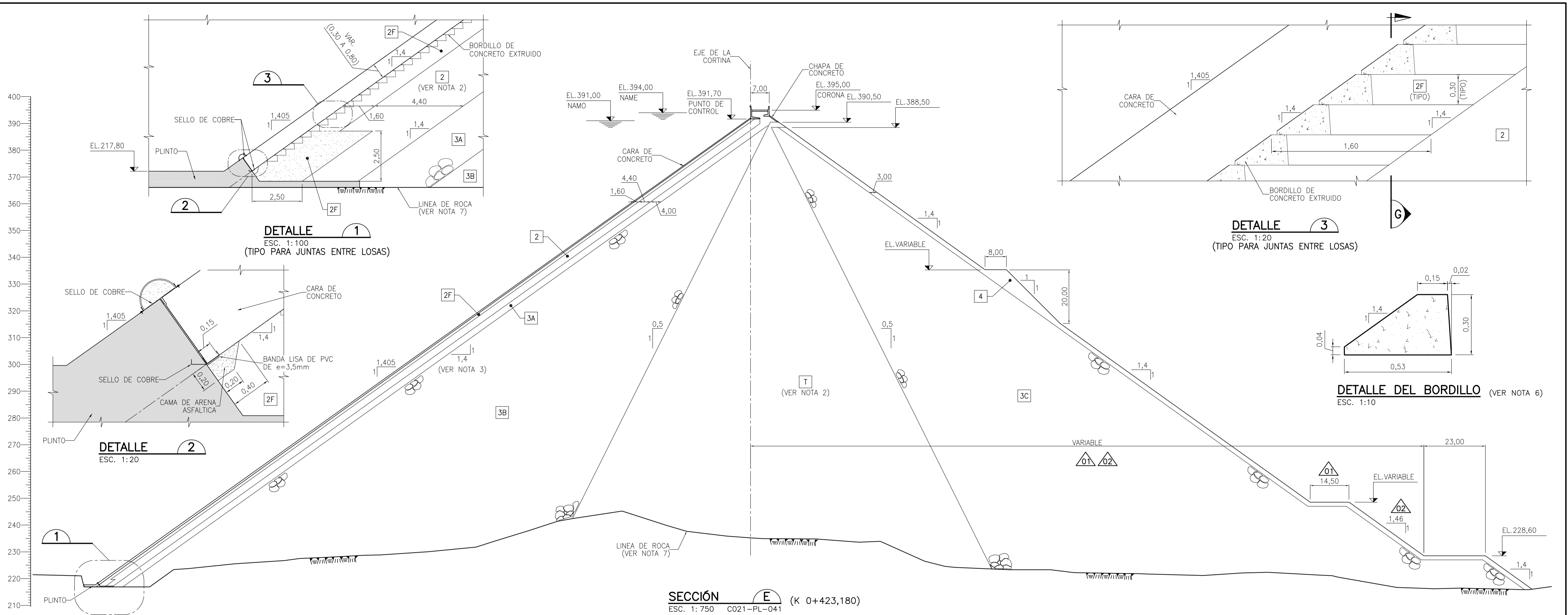
En caso de que a pesar de dar varias pasadas con el equipo de compactación, no se consigue lo especificado, se debe proceder al retiro de la capa completa de material en cuestión, según el Procedimiento de Muestreo y Pruebas para los Materiales de la Cortina.

La compactación juega un papel muy importante en el proceso constructivo de la cortina, ya que si quedan zonas sobre esta sin ser compactados, o compactados inadecuadamente, puede provocar regiones débiles en el cuerpo de esta estructura.

La Cortina es la estructura de mayores dimensiones en el Proyecto El Cajón, por lo tanto requiere la conjunción de una serie de factores para cumplir el objetivo básico para el cual esta diseñada: retener el cause del río y formar un embalse.

Por lo tanto es necesario llevar un estricto sistema de aseguramiento y control de calidad, por parte del constructor y del cliente. Calidad tanto de materiales como en los procesos aplicables a este elemento. Con lo cual se puede garantizar que se tendrá una estructura que se comportara de acuerdo a los parámetros establecidos, parámetros como lo son la impermeabilidad tanto en el cause como en las laderas y en la cara aguas arriba; además de los esfuerzos a los que estará sometida a lo largo de su vida útil, etc.

Finalmente, solo queda resaltar que además de todos los beneficios que se obtienen con la construcción y puesta en marcha de una nueva Central Hidroeléctrica, tanto a nivel Nacional como regional; esta obra brinda una muy valiosa oportunidad a los Ingenieros Civiles del País de aplicar los conocimientos adquiridos tanto en la Escuela como a través de años de experiencia laboral, así como de adquirir nuevos. A través de la conjunción de Ingenieros con amplia experiencia en la construcción de Presas y de Ingenieros que apenas comienzan, se logra una retroalimentación a nivel personal y empresarial a favor del Proyecto.



**NOTA:**  
 - PARA NOTAS Y PLANOS DE REFERENCIA VER PLANO N° CD-C021-PL-041.

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)						
02	Apell.	MAGO	JCA	JCA	AJUSTE DE LA GEOMETRIA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO Y UBICACION DEL PORTAL DE TUNEL DE ACCESO A LA C.M.	REV.
	Fecha	SEP/04		SEP/04		
01	Apell.	MAGO	JCA	JCA	DONDE SE INDICA	REV.
	Fecha	ABR/04		ABR/04		
00	Apell.	MAGO	JCA	JCA	REVISIÓN GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/0121/2004	REV.
	Fecha	MAR/04		MAR/04		
REV.	REVISO	FIRMA	APROBO	FIRMA	MODIFICACIONES	STA.

**CFE** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
 SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
 COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS  
 GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

PROYECTO HIDROELÉCTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
 CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCIÓN  
 TÍTULO: CORTINA - CUERPO  
 SECCIONES Y DETALLES HOJA 3 DE 4

COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_  
 N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA CPH: **LECAJ0102**  
 N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_

JEFE DE DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ JEFE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

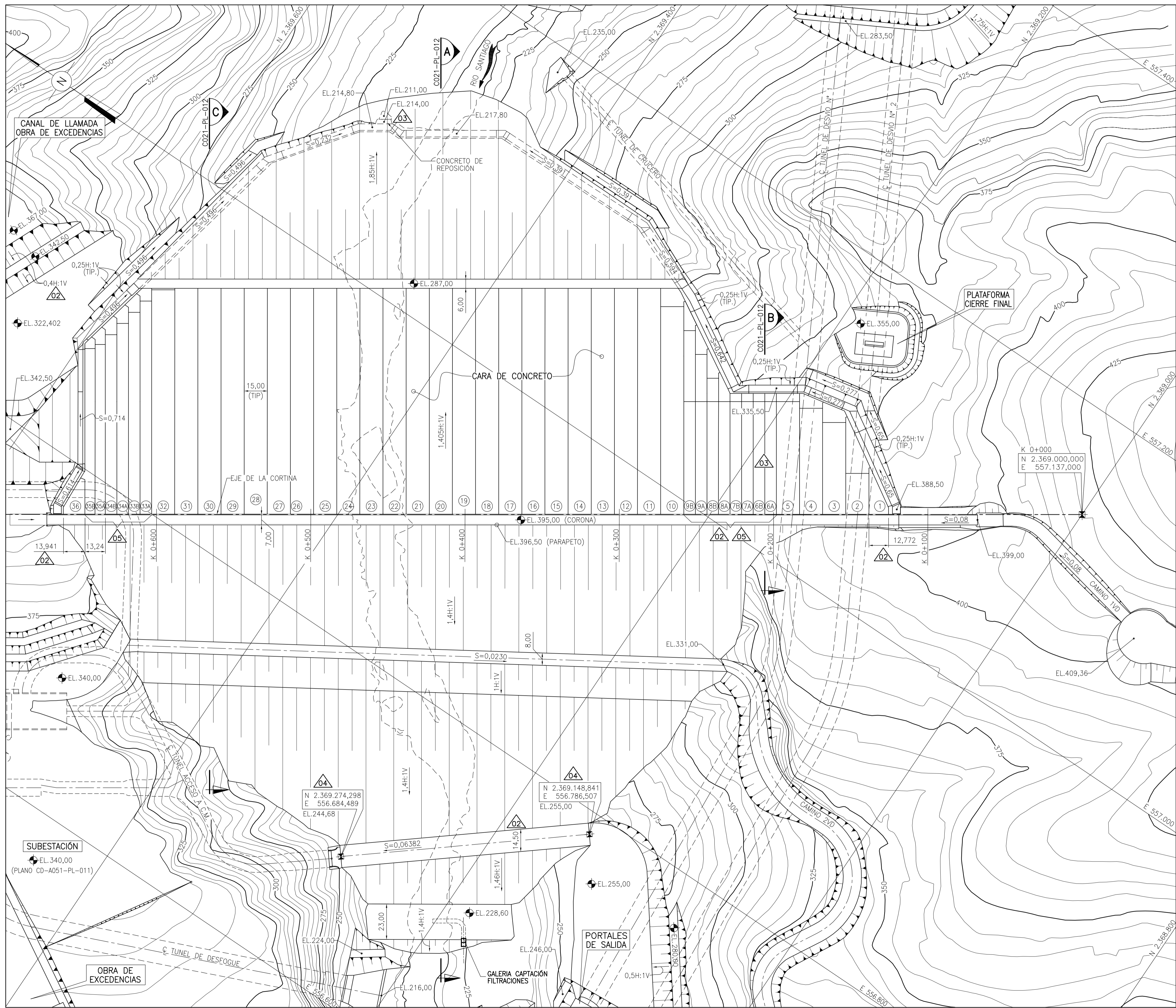
DISERO: MAGO FIRMA \_\_\_\_\_  
 REVISO: SP/MIP FIRMA \_\_\_\_\_  
 APROBO: JCA FIRMA \_\_\_\_\_

N° DE IDENTIFICACIÓN: **CD021PL04302**

FECHA: ENE/04 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: INDICADA

**PYPSS** VERIFICO \_\_\_\_\_ **Inter techne**

N° INIT DE-412-30-043



**NOTAS:**

- 1- ACOTACIONES Y ELEVACIONES EN METROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2- EL CONTENIDO DE ESTE PLANO ESTA BASADO AL PLANO ELABORADO POR CFE CON IDENTIFICACION N° LE CAJ 01 02 DES T OC 08 CON REVISION DE FECHA OCT/02.
- 3- EL BORDILLO DE CONCRETO EXTRUIDO DEBERA SER DOSIFICADO, EN PRINCIPIO, POR LA MEZCLA DEL MATERIAL DE TRANSICION 2F, SIN LA FRACCION DE AGREGADO MAS GRANDE QUE 25 mm, Y DE 75 kg DE CEMENTO POR METRO CUBICO. LAS CANTIDADES DE CEMENTO ASI COMO DEL AGUA DEBERAN SER AJUSTADAS PARA QUE FORMEN UN MATERIAL CUYAS CARACTERISTICAS RESULTEN ADECUADAS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE TRANSPORTE Y COLOCACION DEL CONCRETO, RESULTANDO EN UN PRODUCTO CON ASENTAMIENTO NULO MEDIDO EN EL CONO (SLUMP TEST).

**PLANOS DE REFERENCIA:**

- CD-G000-PL-002 - OBRAS PRINCIPALES - ARREGLO GENERAL
- CD-G000-PL-011 - OBRAS PRINCIPALES - EJES Y COORDENADAS
- CD-C021-PL-001 - OBRAS DE CONTENCION - EXCAVACION DEL PLINTO - DATOS GEOMETRICOS
- CD-C021-PL-012 - OBRAS DE CONTENCION - CORTINA - DETALLES Y SECCIONES TICAS
- CD-C021-PL-053 - OBRAS DE CONTENCION - GEOMETRIA DEL PLINTO - DATOS GEOMETRICOS BASICOS
- CD-C021-PL-121 - OBRAS DE CONTENCION - PLINTO - JUNTA PERIMETRAL - DETALLES DE LOS SELLOS - HOJA 1 DE 2
- CD-A051-PL-011 - SUBESTACION - EXCAVACION - PLANTA Y SECCIONES

PLANO BUENO PARA EJECUCION (BPE)					
05	MAP	JCA	MODIFICADAS LOSAS 6A, 6B, 7A, 7B, 8A, 8B, 9A, 9B, 33A, 33B, 34A, 34B, 35A, Y 35B.	REV.	
04	ENE/05	JCA	AJUSTE DE LA GEOMETRIA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO Y UBICACION DEL PORTAL DE TUNEL DE ACCESO A LA C.M.	REV.	
03	SEP/04	SEP/04	CAMBIO DE ANCHO LOSAS 6, 7, 8 Y 9; PLINTO EN EL CAUCE DEL RIO; ARREGLO EXCAVACION LADERA DERECHA.	REV.	
02	WV	AGO/04	DONDE SE INDICA	REV.	
01	RM	JCA	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/111/2004	REV.	
00	MAR/04	MAR/04	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/082/2004	REV.	
REV.	REVISO	APROBO	MODIFICACIONES	STA.	



COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION  
COORDINACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS  
GERENCIA TECNICA DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS

PROYECTO HIDROELECTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCION  
TITULO: CORTINA - ARREGLO GENERAL  
PLANTA HOJA 1 DE 2

COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_

N° DE IDENTIFICACION DE LA CPH: **LECAJ0102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_

JEFE DE DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ JEFE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

DISENO: MAGO FIRMA: \_\_\_\_\_  
REVISO: SP/MIP FIRMA: \_\_\_\_\_  
APROBO: JCA FIRMA: \_\_\_\_\_

N° DE IDENTIFICACION: **CD021PL0105**

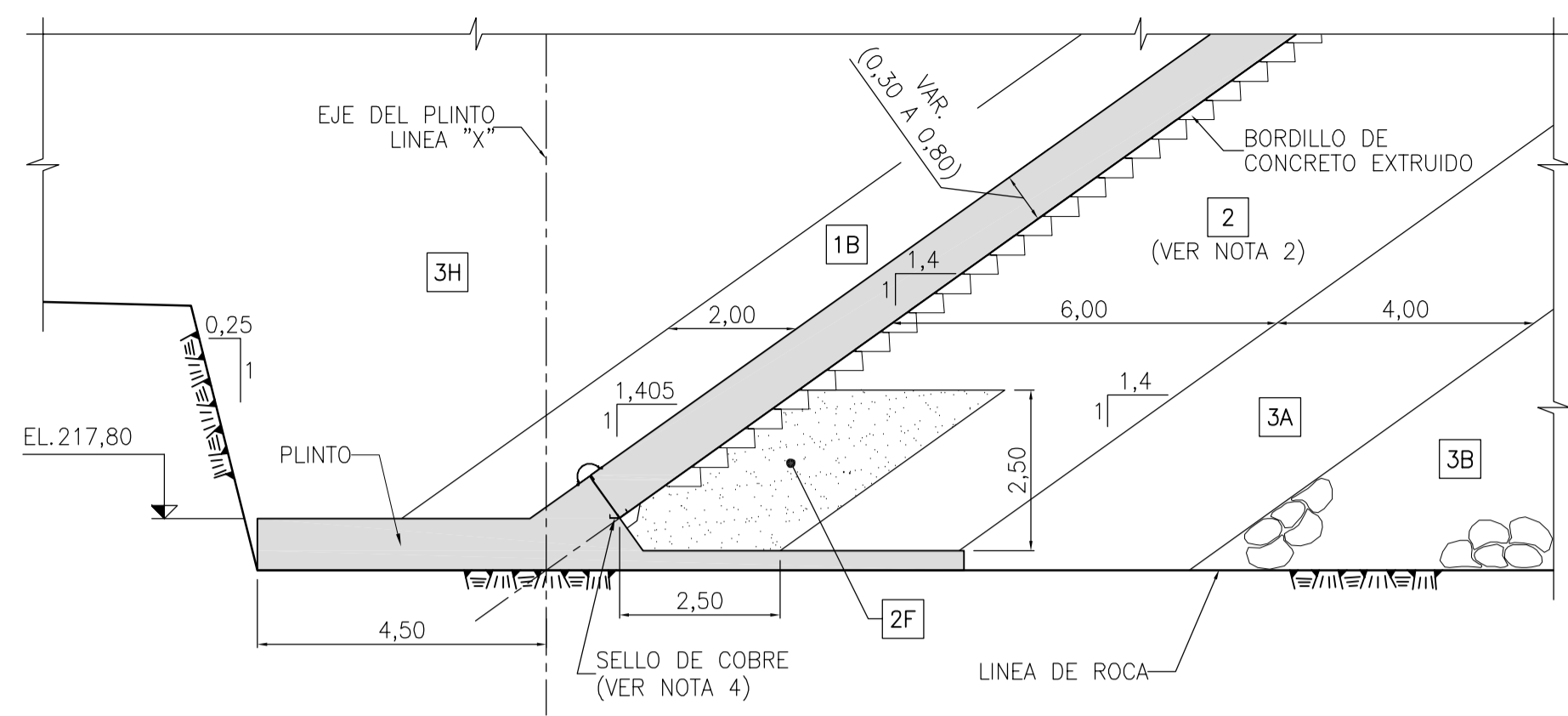
FECHA: DIC/03 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: INDICADA

**Inter techne**

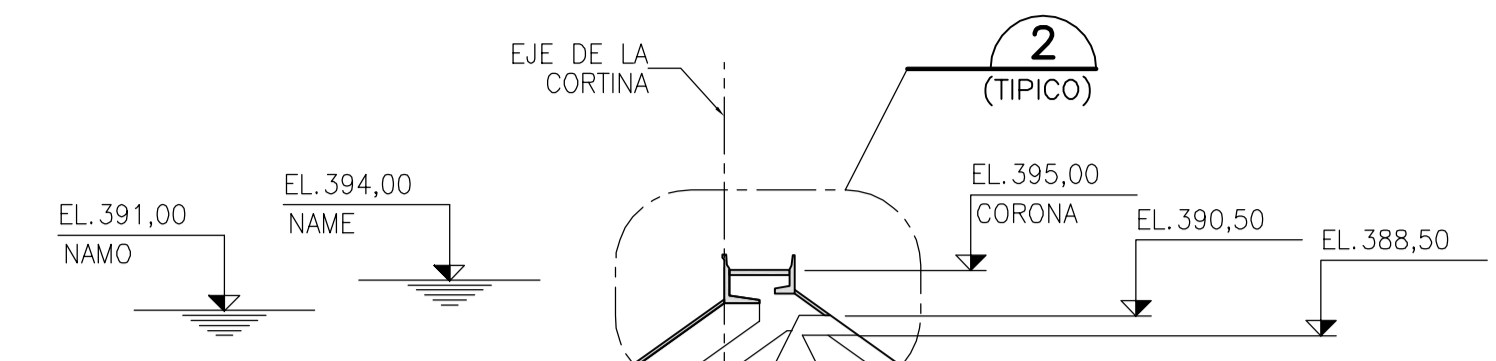
**PLANTA**  
ESC. 1: 1250

N° INIT DE-412-00-011

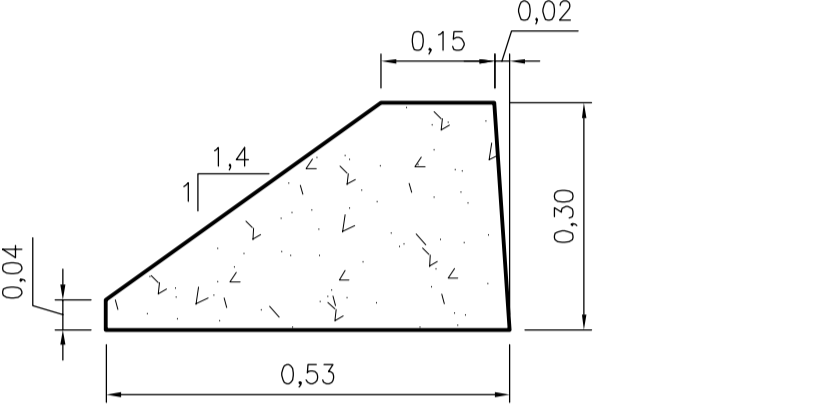




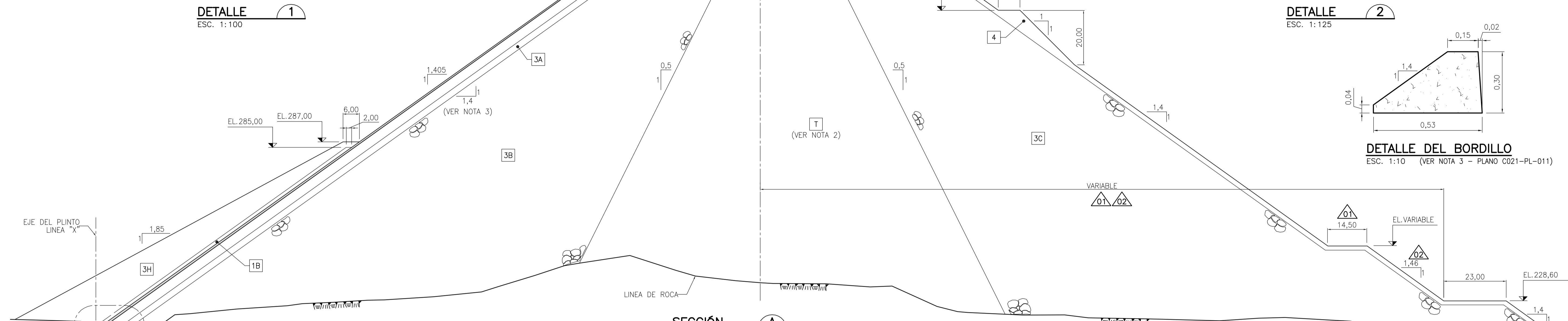
**DETALLE 1**  
ESC. 1:100



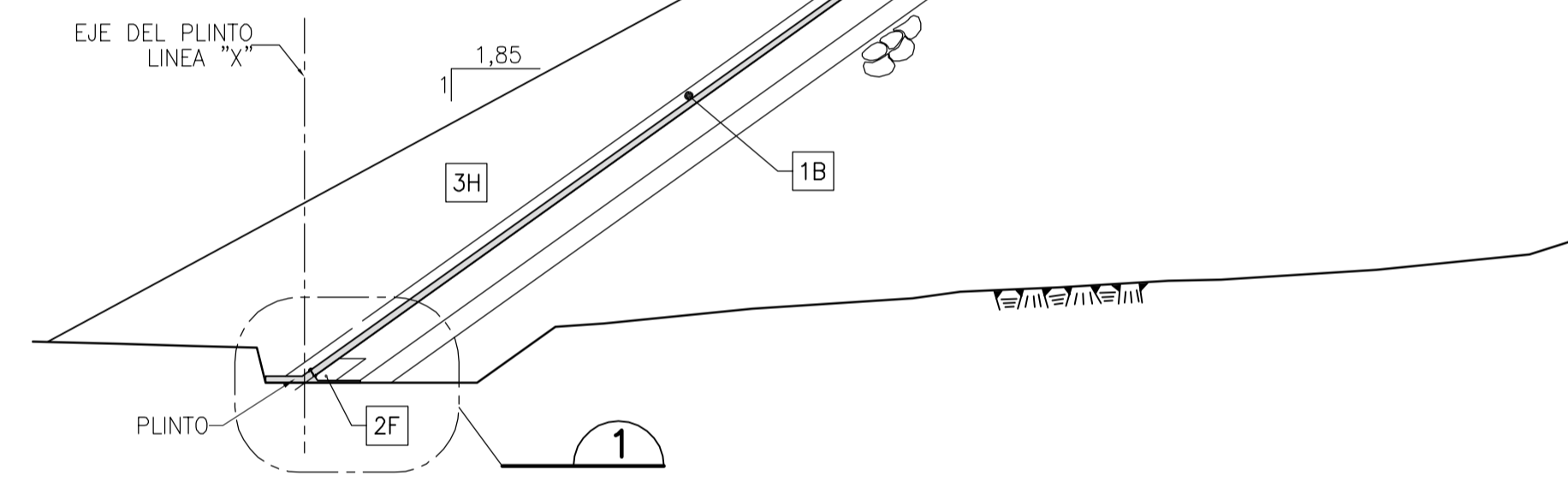
**DETALLE 2**  
ESC. 1:125



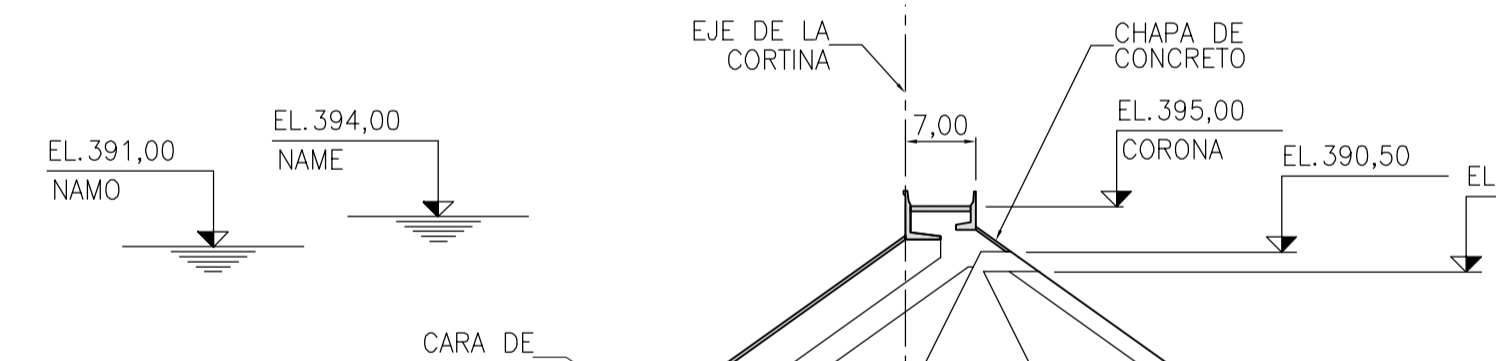
**DETALLE DEL BORDILLO**  
ESC. 1:10 (VER NOTA 3 - PLANO C021-PL-011)



**SECCIÓN A**  
ESC. 1:750 C021-PL-011 (K 0+415,000)



**SECCIÓN B**  
ESC. 1:750 C021-PL-011 (K 0+205,000)



**SECCIÓN C**  
ESC. 1:750 C021-PL-011 (K 0+568,000)

- NOTAS:**
- 1- PARA NOTAS Y PLANOS DE REFERENCIA VER PLANO N° CD-C021-PL-011.
  - 2- PARA ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES INDICADOS, VER PLANO N° CD-C021-PL-040 (OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - ZONIFICACIÓN DE MATERIALES)
  - 3- EN RAZON DE LA VARIACIÓN DE ESPESOR DE LA CARA DE CONCRETO LA PENDIENTE 1,4H:1V ES VALIDO SOLAMENTE PARA EL LECHO INFERIOR DE LA CARA DE CONCRETO.
  - 4- PARA DETALLES DE LOS SELLOS, VER PLANO N° CD-C021-PL-121 (OBRAS DE CONTENCIÓN - PLINTO - JUNTA PERIMETRAL - DETALLES DE LOS SELLOS - HOJA 1 DE 2).

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)						
02	Apell.	MAGO	JCA	AJUSTE DE LA GEOMETRIA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO Y UBICACION DEL PORTAL DE TUNEL DE ACCESO A LA C.M.	REV.	
	Fecha	SEP/04	SEP/04			
01	Apell.	MAGO	JCA	DONDE SE INDICA	REV.	
	Fecha	ABR/04	ABR/04			
00	Apell.	MAGO	JCA	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/062/2004	REV.	
	Fecha	FEB/04	FEB/04			
REV.	REVISO	APROBO	FIRMA	MODIFICACIONES	STA.	

**CFE** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS  
GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

PROYECTO HIDROELÉCTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCIÓN  
TÍTULO: CORTINA - ARREGLO GENERAL  
SECCIONES TÍPICAS Y DETALLES HOJA 2 DE 2

COTEJO: ACEPTO: N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA CPH: **LECAJ0102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE

JEFE DE DEPARTAMENTO: JEFE DE PROYECTO:

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

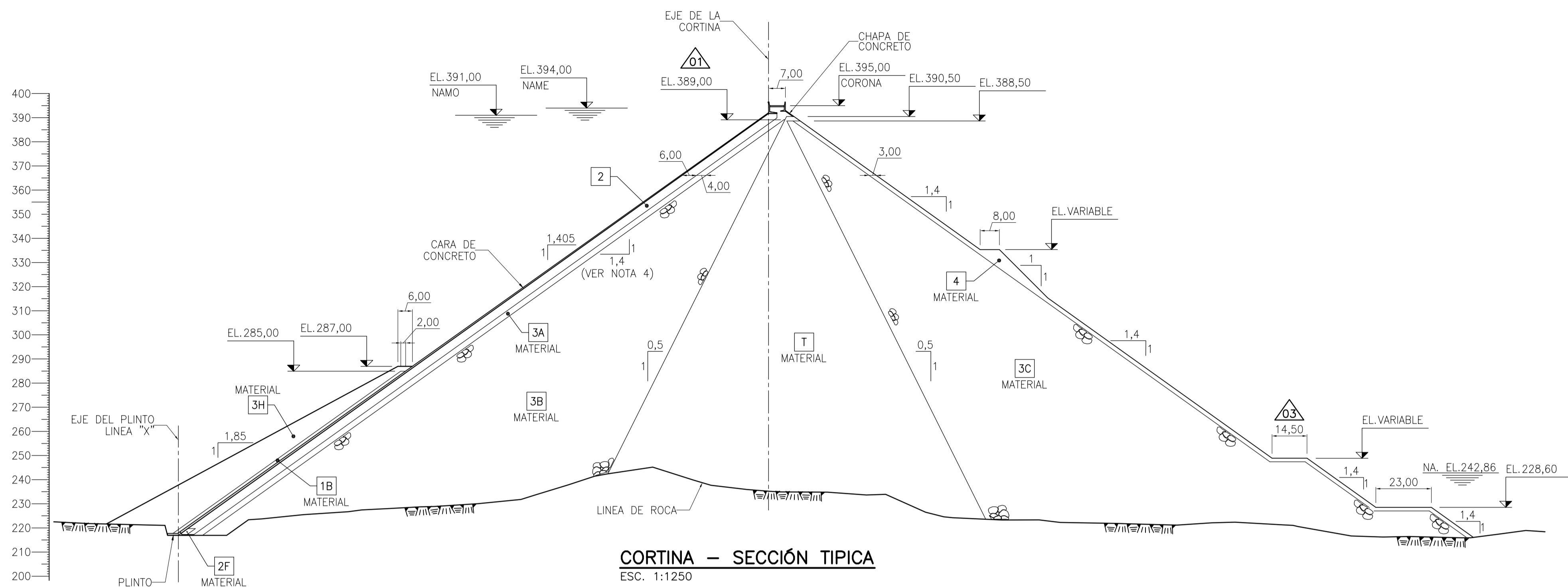
DISERNO: MAGO FIRMA  
REVISO: SP/MIP FIRMA  
APROBO: JCA FIRMA

N° DE IDENTIFICACIÓN: **CD C021 PL 012 02**

FECHA: DIC/03 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: INDICADA

**Inter techne**

N° INIT DE-412-00-012



**CORTINA - SECCIÓN TÍPICA**  
ESC. 1:1250

CUADRO DE MATERIALES				
MATERIAL	ZONA EN LA ESTRUCTURA	ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIONES (VER NOTA 3)
1B	SOBRE LOSA DE CONCRETO	BANCO DE ARENA FINA LIMOSA DEL CAUCE O PRODUCTO DE PROCESAMIENTO DE ENROC.	ARENA FINA LIMOSA SIN PLASTICIDAD	COLOCADA EN CAPAS DE 30cm DE ESPESOR SIN COMPACTAR, BANDEADO CON TRACTOR.
2F	FILTRO BAJO JUNTA PERIMETRAL Y JUNTAS DE TENSION	BANCO EL VERTEDOR	GRAVA ARENA LIMOSA BIEN GRADUADA	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA COLOCADA EN CAPAS DE 30cm DE ESPESOR CON EL CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO Y COMPACTADA CON RODILLO LISO VIBRATORIO DE 100KN HASTA ALCANZAR UNA RELACION DE VACIOS IGUAL O MENOR DE 0.22. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA Y ESTAR LIBRE DE ZONAS SEGREGADAS.
2	SOPORTE DE LOSA	BANCO EL VERTEDOR	GRAVA ARENA LIMOSA CON CONTENIDO DE FINOS ENTRE 6 Y 10% Y AL MENOS 35% PASANDO LA MALLA N° 4	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA TRITURADA Y COLOCADA EN CAPAS DE 30cm DE ESPESOR CON EL CONTENIDO DE AGUA ÓPTIMO Y COMPACTADA CON RODILLO LISO VIBRATORIO DE 100KN DE PESO MINIMO ESTATICO HASTA ALCANZAR UNA RELACION DE VACIOS IGUAL O MENOR DE 0.22. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA Y ESTAR LIBRE DE ZONAS SEGREGADAS.
3A	FILTRO/TRANSICION ENTRE ZONA 2 Y 3B	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO CON 20CM DE TAMAÑO MÁXIMO	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA COLOCADA EN CAPAS CON ESPESOR EN ESTADO SUELTO NO MAYOR DE 100cm, AGREGANDO 200 LITROS DE AGUA POR CADA m <sup>3</sup> COMO MINIMO Y COMPACTADA CON 6 PASADAS DE RODILLO LISO VIBRATORIO DE 118KN DE PESO MINIMO ESTATICO. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA Y ESTAR LIBRE DE ZONAS SEGREGADAS.
3B	ENROCAMIENTO PRINCIPAL	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 65cm GRANULOMETRIA MOSTRADA EN LA FIGURA ANEXA	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA COLOCADA EN CAPAS CON ESPESOR EN ESTADO SUELTO NO MAYOR DE 100cm, AGREGANDO 200 LITROS DE AGUA POR CADA m <sup>3</sup> COMO MINIMO Y COMPACTADA CON 6 PASADAS DE RODILLO LISO VIBRATORIO DE 118KN DE PESO MINIMO ESTATICO. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA.
T	TRANSICION	BANCO EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 80cm GRANULOMETRIA MOSTRADA EN LA FIGURA ANEXO	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA COLOCADA EN CAPAS CON ESPESOR EN ESTADO SUELTO NO MAYOR DE 100cm, AGREGANDO 200 LITROS DE AGUA POR CADA m <sup>3</sup> COMO MINIMO Y COMPACTADA CON 6 PASADAS DE RODILLO LISO VIBRATORIO DE 118KN DE PESO MINIMO ESTATICO. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA.
3C	RESPALDOS DE AGUAS ABAJO	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	ENROCAMIENTO BIEN GRADUADO, CON TAMAÑO MÁXIMO IGUAL A 110cm GRANULOMETRIA MOSTRADA EN LA FIGURA ANEXA	MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO DE ROCA EL VERTEDOR. IGNIMBRITA SANA COLOCADA EN CAPAS CON ESPESOR EN ESTADO SUELTO DE 140cm, AGREGANDO 200 LITROS DE AGUA POR CADA m <sup>3</sup> COMO MINIMO Y COMPACTADA CON 6 PASADAS DE RODILLO LISO VIBRATORIO DE 118KN. EL MATERIAL YA COLOCADO Y COMPACTADO DEBERA CUMPLIR CON LA GRANULOMETRIA ANEXA.
3H	PROTECCION DE MATERIAL 1B	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	REZAGA LIBRE DE MATERIALES ARCILLOSOS Y DE ROCA INTemperizada 30cm DE TAMAÑO MÁX.	COLOCADO EN CAPAS DE 40cm DE ESPESOR Y BANDEADO CON TRACTOR
4	ENROCAMIENTO DE PROTECCION	EXCAVACIONES Y/O BANCO DE ROCA EL VERTEDOR	FRAGMENTOS DE ROCA SANA CON TAMAÑO MAYOR QUE 100cm	ACUÑADO

**NOTAS:**

- 1 - ACOTACIONES Y ELEVACIONES EN m, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2 - EL CONTENIDO DE ESTE PLANO ESTA BASADO AL PLANO ELABORADO POR CFE CON IDENTIFICACION N° DES-T-0C-09, CON REVISION "3" DE FEB/03.
- 3 - LOS MATERIALES SE COLOCARAN DE ACUERDO CON LAS ESPECIFICACIONES DE CONSTRUCCION DE OBRA CIVIL LICAJ2900 RG1EEC35, CAPITULO 15, CON REVISION 5.
- 4 - EN RAZON DE LA VARIACION DE ESPESOR DE LA CARA DE CONCRETO LA PENDIENTE 1,4H:1V ES VALIDO SOLAMENTE PARA EL LECHO INFERIOR DE LA CARA DE CONCRETO.

**PLANOS DE REFERENCIA:**

- CD-G000-PL-002 - OBRAS PRINCIPALES - ARREGLO GENERAL
- CD-C021-PL-011 - OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - ARREGLO GENERAL - PLANTA
- CD-C021-PL-041 - OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - CUERPO - PLANTA

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)					
03	Apellido: MAGO Fecha: ABR/04	JCA	ABR/04	DONDE SE INDICA	REV.
02	Apellido: MAGO Fecha: MAR/04	JCA	MAR/04	DONDE SE INDICA	REV.
01	Apellido: MAGO Fecha: MAR/04	JCA	MAR/04	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/0121/2004	REV.
00	Apellido: MAGO Fecha: FEB/04	JCA	FEB/04	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/062/2004	REV.
REV.	REVISO	FIRMA	APROBO	FIRMA	MODIFICACIONES
					STA.

**CFE** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS  
GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

PROYECTO HIDROELÉCTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCIÓN  
TÍTULO: CORTINA  
ZONIFICACIÓN DE MATERIALES

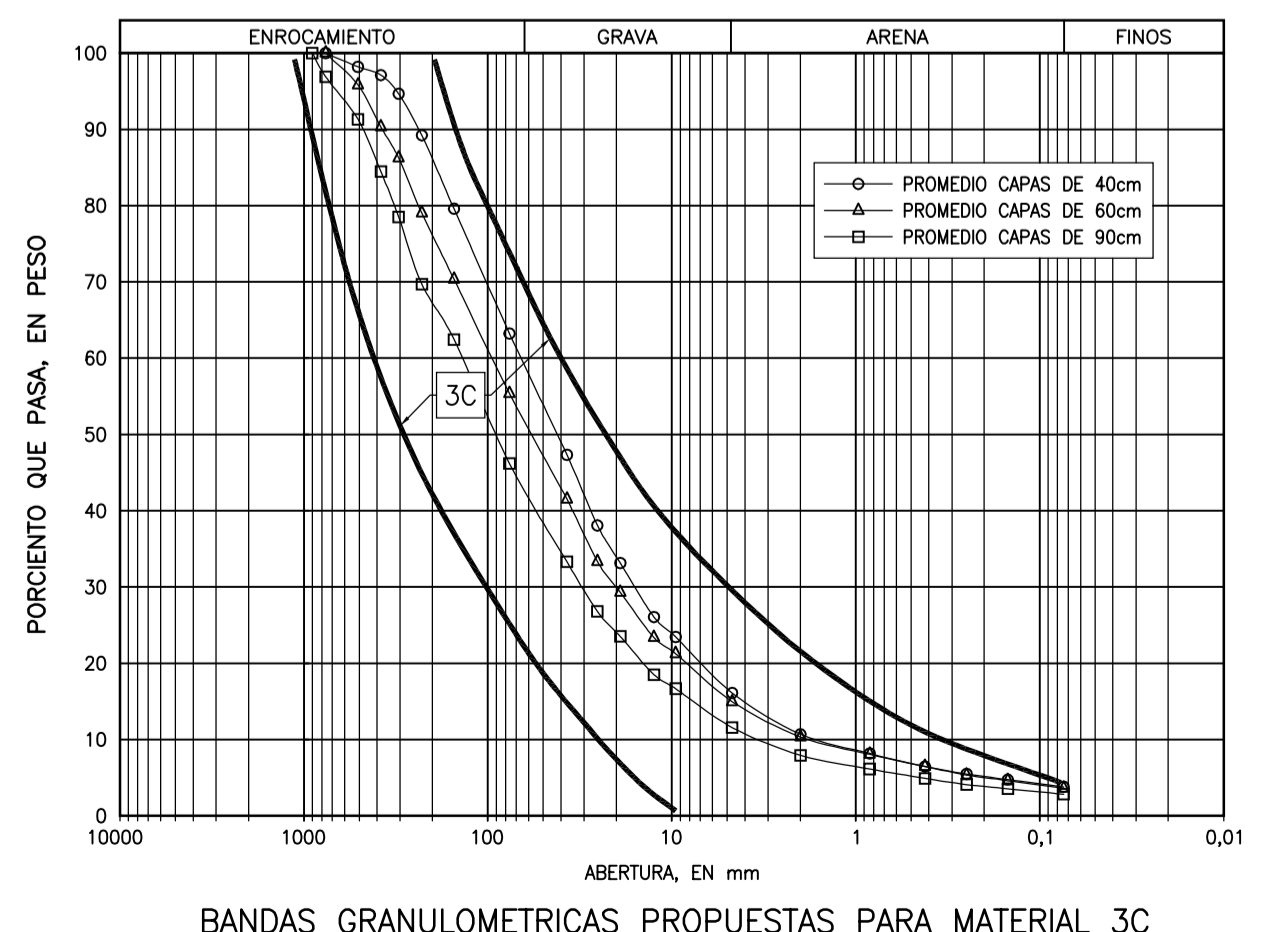
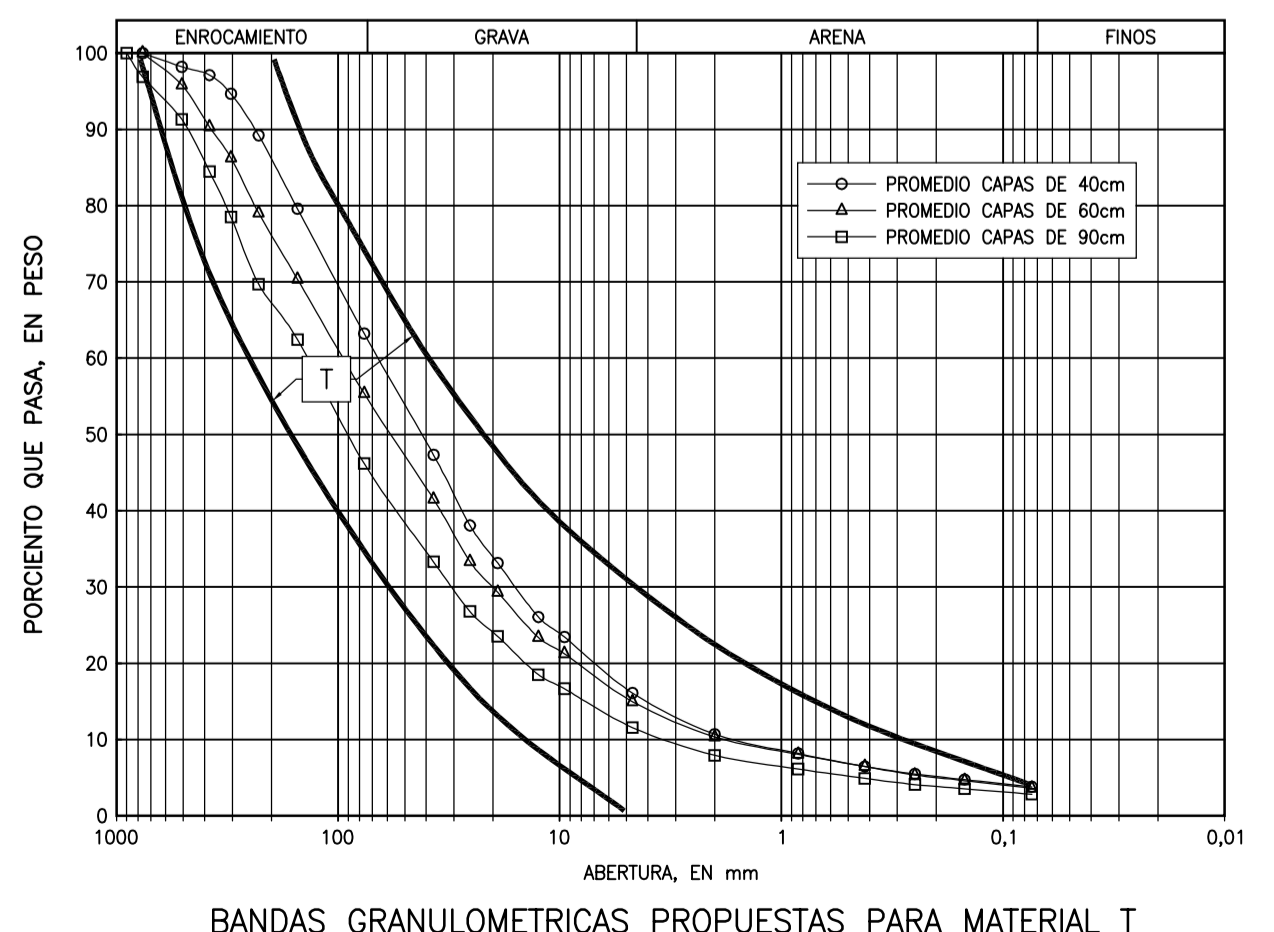
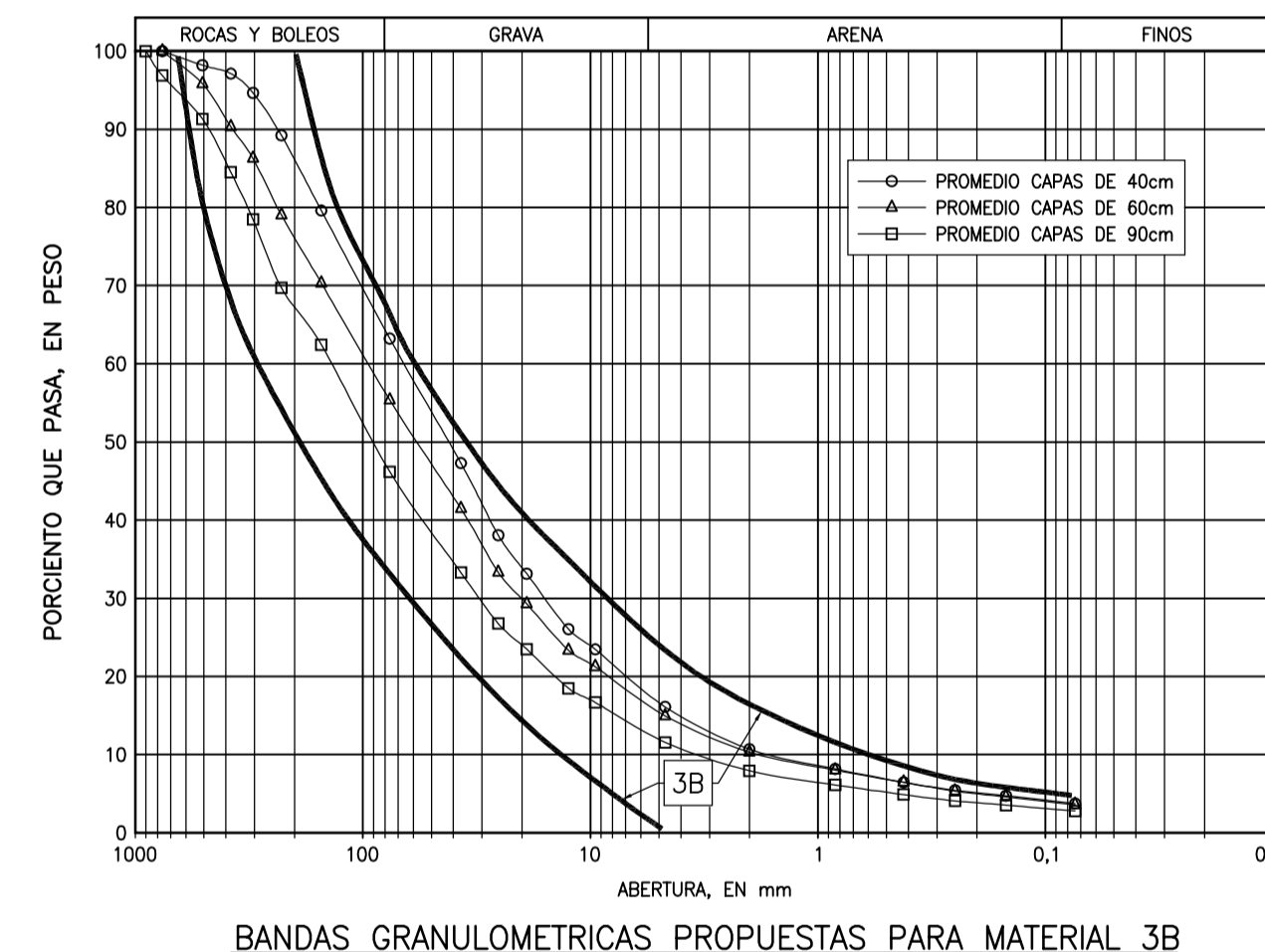
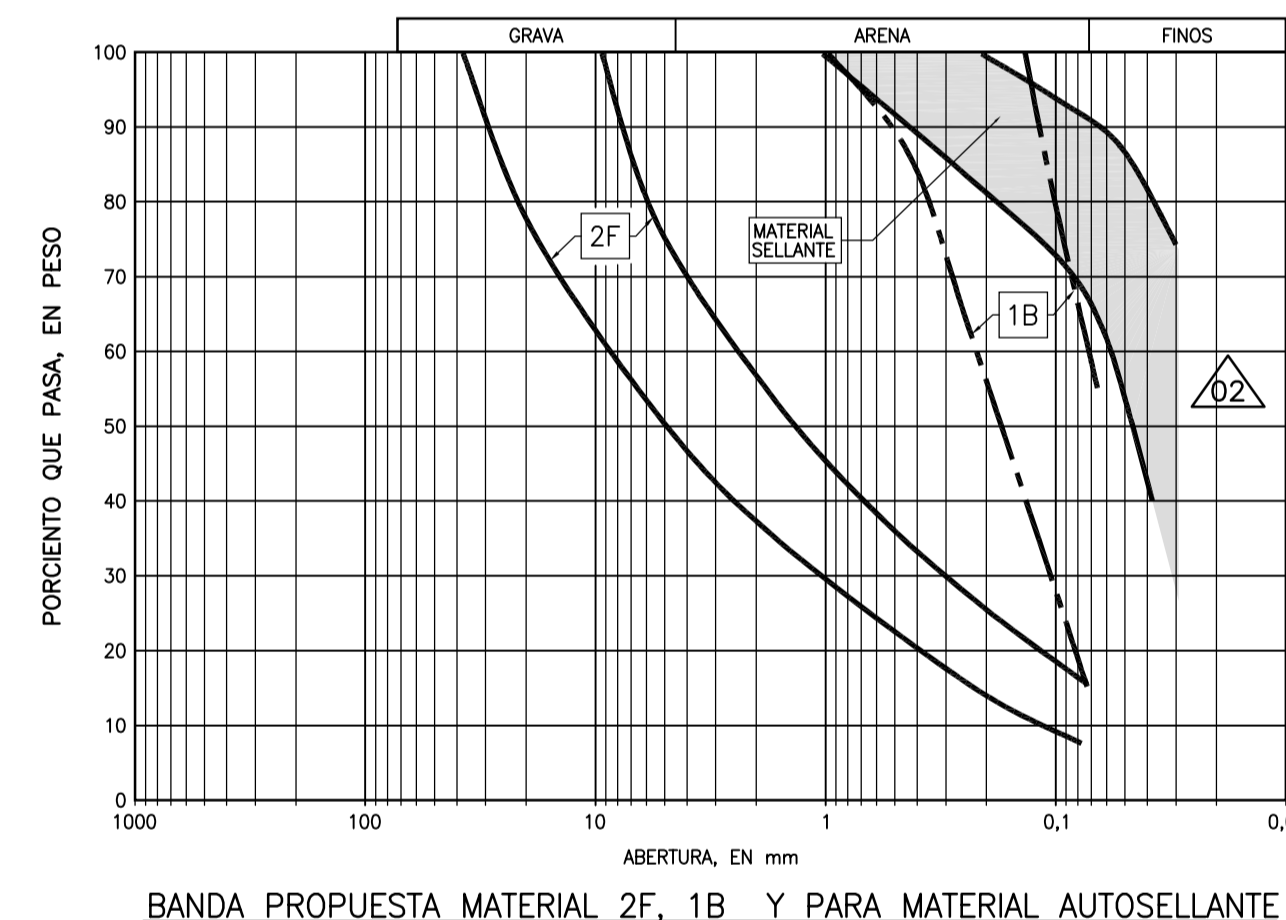
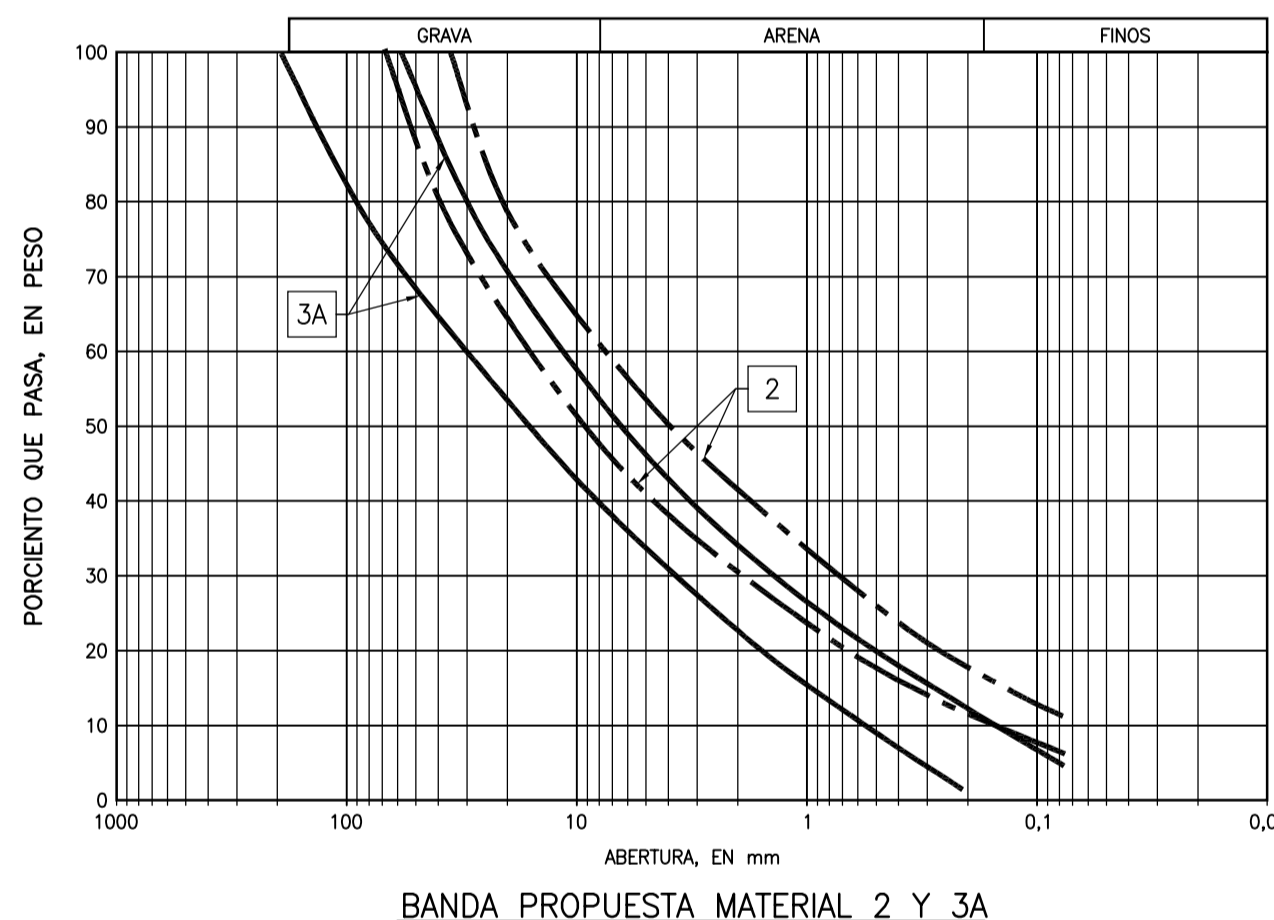
COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_  
N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA CPH: **LECAJ010102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_  
JEFE DE DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ JEFE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_

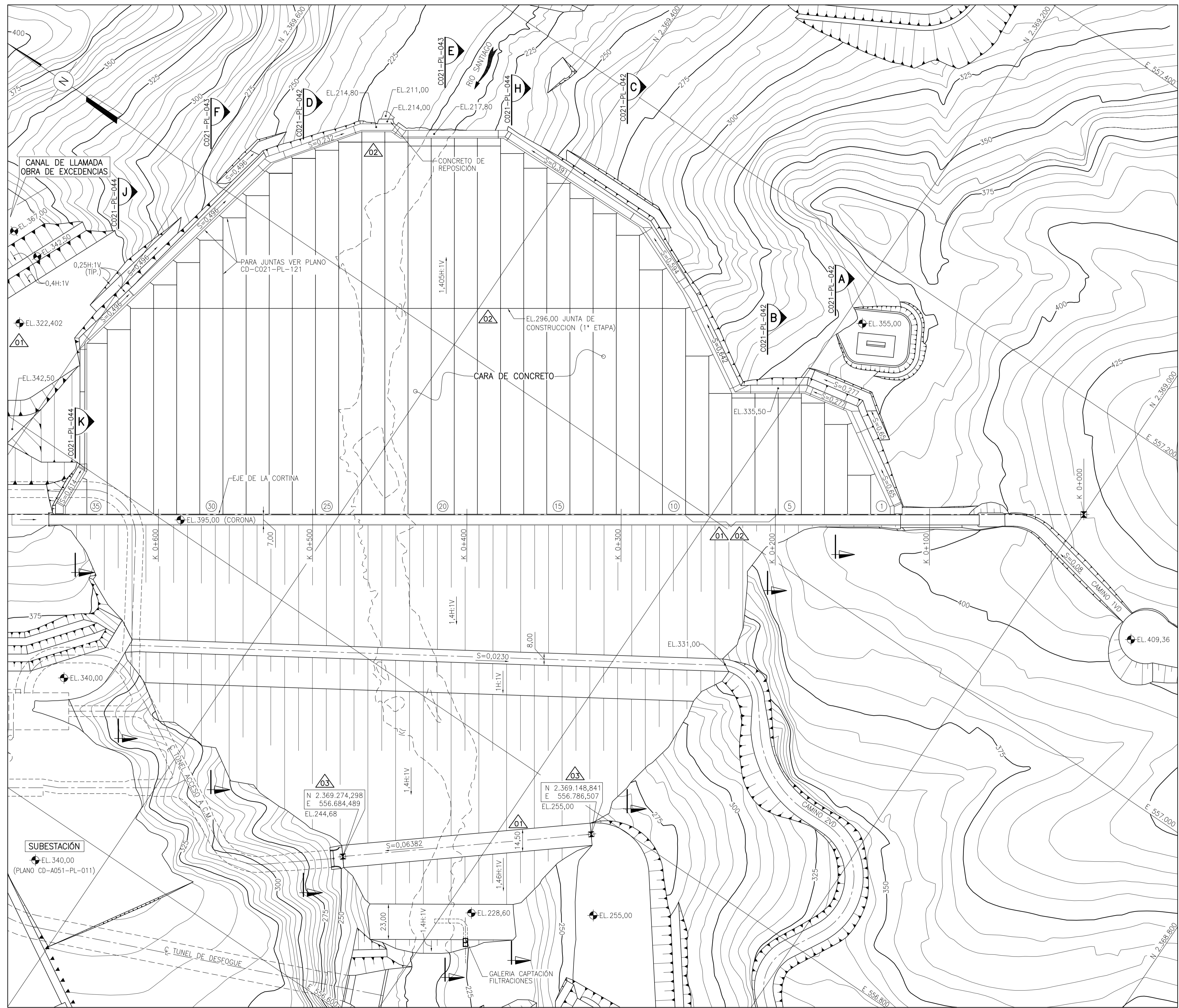
**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

DISÑO: MAGO FIRMA: \_\_\_\_\_  
REVISO: SP/MIP FIRMA: \_\_\_\_\_  
APROBO: JCA FIRMA: \_\_\_\_\_  
FECHA: DIC/03 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: IDICADA

N° DE IDENTIFICACIÓN: **CD021PL04003**

**Inter techne**





**NOTAS:**

- 1- ACOTACIONES Y ELEVACIONES EN METROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2- PARA ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES INDICADOS, VER PLANO N° CD-C021-PL-040 (OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - ZONIFICACIÓN DE MATERIALES)
- 3- EN RAZON DE LA VARIACION DE ESPESOR DE LA LOSA DE CONCRETO LA PENDIENTE 1,4H:1V ES VALIDO SOLAMENTE PARA LA CARA INFERIOR DE LA LOSA DE CONCRETO.
- 4- LAS SECCIONES TRANSVERSALES DEL PLUNTO Y ZONAS DE TRANSICIÓN Y ENROCAMIENTO FINO, EN LAS ÁREAS DE LA CIMENTACIÓN, MUESTRAN ALGUNAS PROTUBERANCIAS O VARIACIONES MUY BRUSCAS EN EL TALUD DE EXCAVACIÓN. LA CORRECCIÓN DE ESTAS GEOMETRÍAS INDESEABLES DEBERÁN SER HECHAS CUANDO EL CUERPO DE ENROCAMIENTO LLEGUE A UNA ELEVACIÓN QUE PERMITA EFECTUARLOS, DE ACUERDO CON PLANOS DEFINIDOS EN EL CAMPO. LOS MATERIALES RESULTANTES PODRÁN SER INCORPORADOS AL ENROCAMIENTO, O COMO DEFINA CFE.
- 5- EL CONTENIDO DE ESTE PLANO ESTA BASADO EN EL PLANO ELABORADO POR CFE CON IDENTIFICACION N° LE CAJ 01 02 DES T 0C 08 CON REVISION DE FECHA OCT/02.
- 6- EL BORDILLO DE CONCRETO EXTRUIDO DEBERÁ SER DOSIFICADO, EN PRINCIPIO, POR LA MEZCLA DEL MATERIAL DE TRANSICIÓN 2F, SIN LA FRACCIÓN DE AGREGADO MÁS GRANDE QUE 25 mm, Y DE 75 kg DE CEMENTO POR METRO CÚBICO. LAS CANTIDADES DE CEMENTO ASI COMO DEL AGUA DEBERÁN SER AJUSTADAS PARA QUE FORMEN UN MATERIAL CUYAS CARACTERÍSTICAS RESULTEN ADECUADOS PARA LOS PROCEDIMIENTOS DE TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO, RESULTANDO EN UN PRODUCTO CON ASENTAMIENTO NULO MEDIDO EN EL CONO (SLUMP TEST).
- 7- LA LINEA DE DESPLANTE DE LA CORTINA PRESENTADA ES APROXIMADA. EL DESPLANTE APROPIADO DEBERA SER DEFINIDO EN EL CAMPO POR LOS GEOTECNICISTAS DE CHISA Y CFE.

**PLANOS DE REFERENCIA:**

- CD-G000-PL-002 - OBRAS PRINCIPALES - ARREGLO GENERAL
- CD-G000-PL-011 - OBRAS PRINCIPALES - EJES Y COORDENADAS
- CD-C021-PL-042 - OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - CUERPO - SECCIONES Y DETALLES
- CD-C021-PL-043 - OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - CUERPO - SECCIONES Y DETALLES
- CD-C021-PL-044 - OBRAS DE CONTENCIÓN - CORTINA - CUERPO - SECCIONES Y DETALLES
- CD-C021-PL-121 - OBRAS DE CONTENCIÓN - PLUNTO - JUNTA PERIMETRAL - DETALLES DE LOS SELLOS - HOJA 1 DE 2

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)					
03	Apel.	MAGO	JCA	ALISTE DE LA GEOMETRIA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO Y UBICACION DEL PORTAL DE TUNEL DE ACCESO A LA C.M.	REV.
	Fecha	SEP/04	SEP/04		
02	Apel.	WVA	JCA	CAMBIO DE ANCHO LOSAS 6, 7, 8 Y 9; PLUNTO EN EL CAUCE DEL RIO; ARREGLO EXCAVACION LADERA DERECHA	REV.
	Fecha	AGO/04	AGO/04		
01	Apel.	RM	JCA	DONDE SE INDICA	REV.
	Fecha	MAR/04	MAR/04		
00	Apel.	MAGO	JCA	REVISION GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/0121/2004	REV.
	Fecha	MAR/04	MAR/04		
REV.	REVISO	APROBO	FIRMA	MODIFICACIONES	STA.

**CFE** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS  
GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

PROYECTO HIDROELÉCTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCIÓN  
TÍTULO: CORTINA - CUERPO  
PLANTA HOJA 1 DE 4

COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_  
N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA CPH: **LECAJ0102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_

JEFE DE DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ JEFE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

DISERNO: MAGO FIRMA: \_\_\_\_\_  
REVISO: SP/MIP FIRMA: \_\_\_\_\_  
APROBO: JCA FIRMA: \_\_\_\_\_

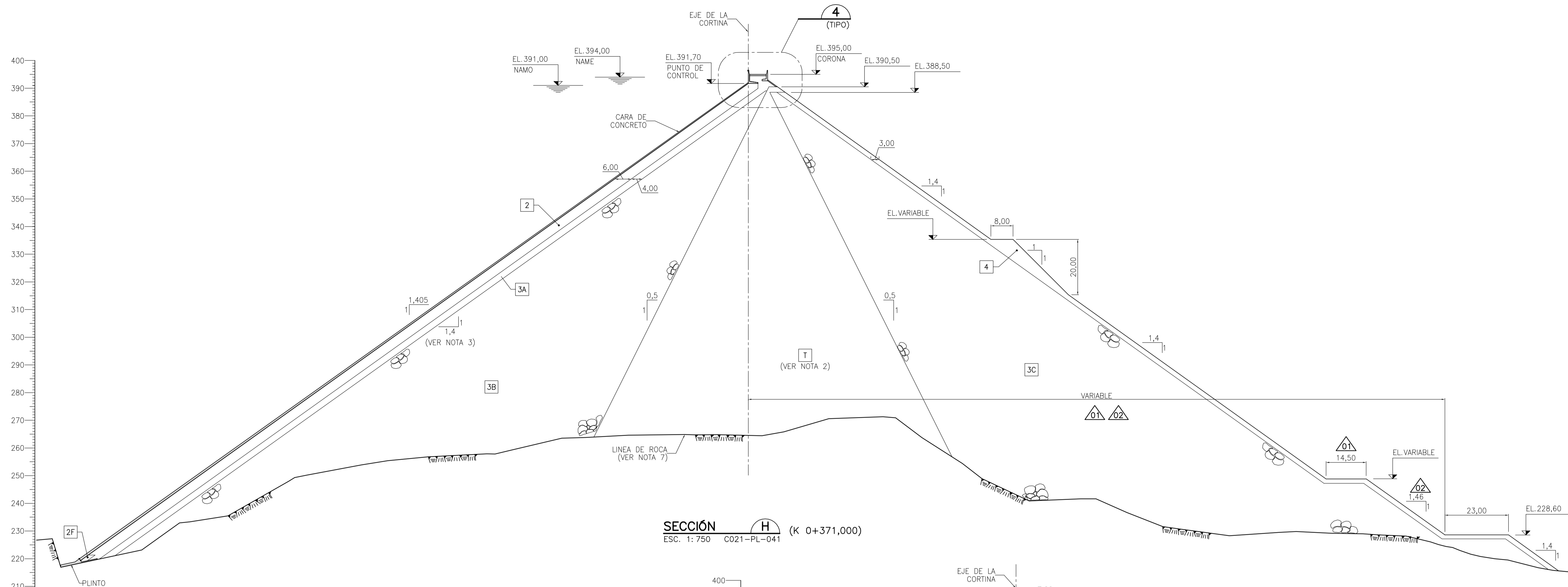
N° DE IDENTIFICACIÓN: **CD C021 PL 041 03**

FECHA: ENE/04 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: INDICADA

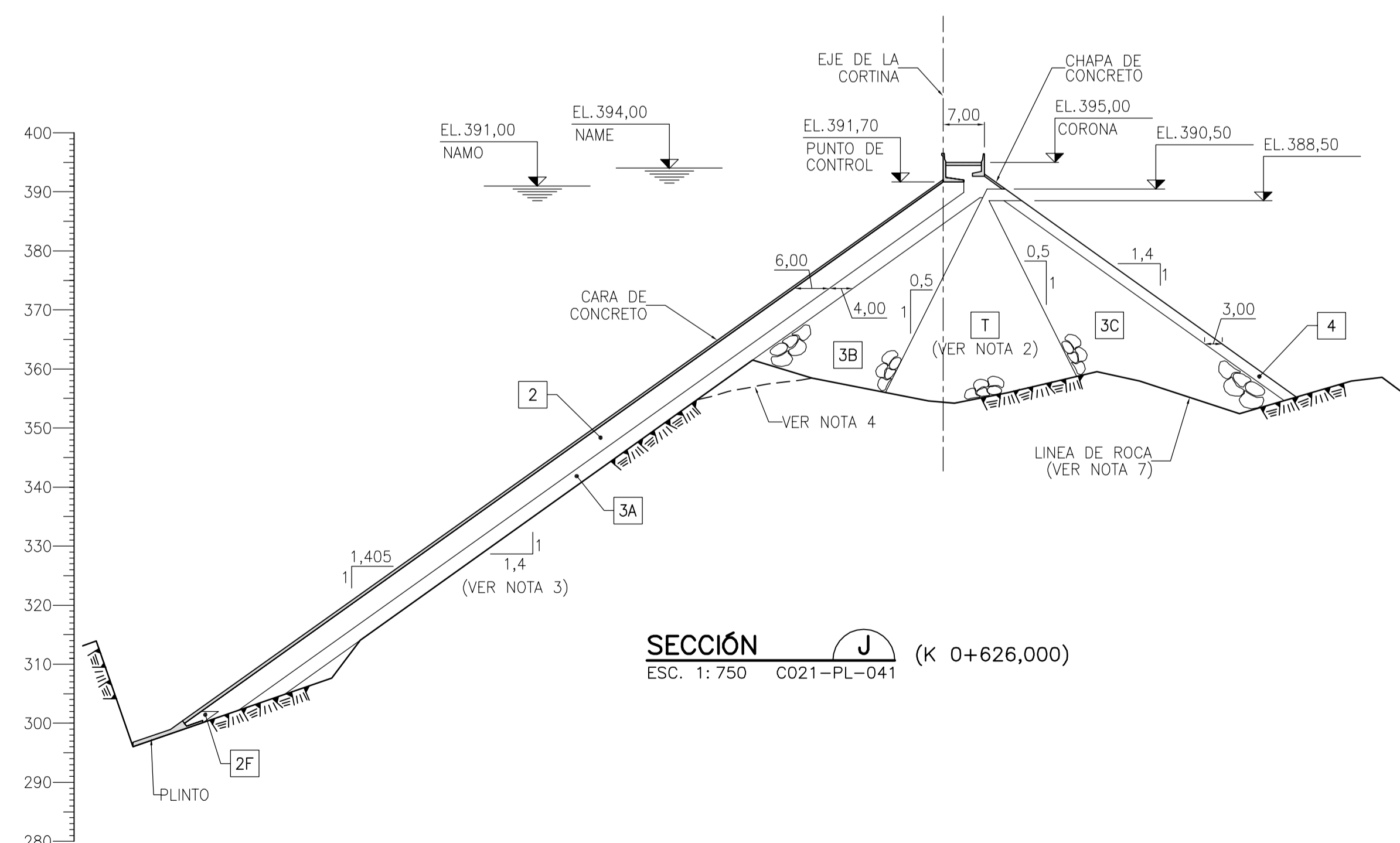
**Intertechne**

**PLANTA**  
ESC. 1: 1250

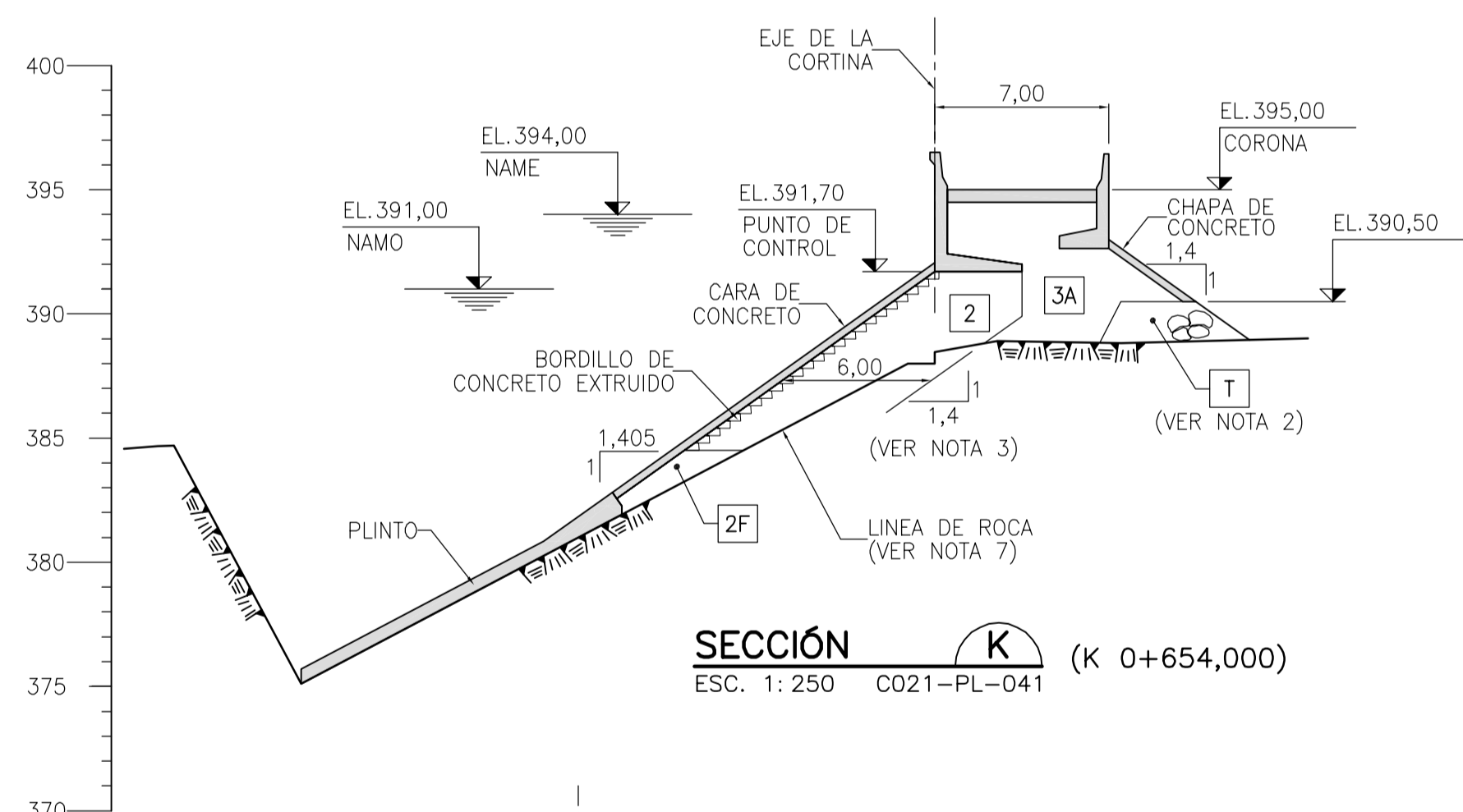
N° INIT DE-412-30-041



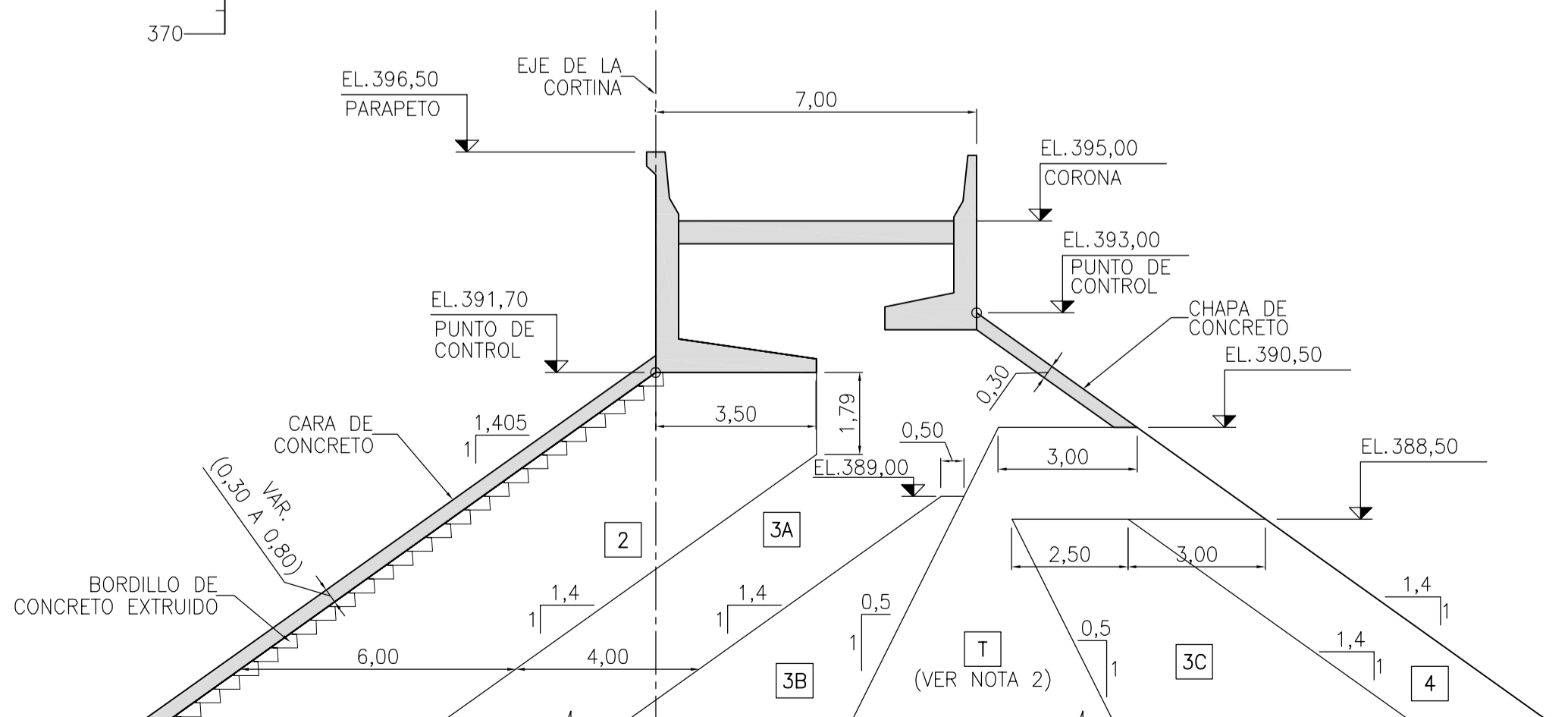
**SECCIÓN H**  
ESC. 1: 750 C021-PL-041 (K 0+371,000)



**SECCIÓN J**  
ESC. 1: 750 C021-PL-041 (K 0+626,000)



**SECCIÓN K**  
ESC. 1: 250 C021-PL-041 (K 0+654,000)



**DETALLE 4**  
ESC. 1: 125 (TIPO PARA TODAS LAS SECCIONES)

**NOTA:**  
- PARA NOTAS Y PLANOS DE REFERENCIA VER PLANO N° CD-C021-PL-041.

PLANO BUENO PARA EJECUCIÓN (BPE)						
02	Apell.	MAGO	JCA	AJUSTE DE LA GEOMETRÍA DEL TALUD DE AGUAS ABAJO Y UBICACIÓN DEL PORTAL DE TUNEL DE ACCESO A LA C.M.	REV.	
	Fecha	SEP/04	SEP/04			
01	Apell.	MAGO	JCA	DONDE SE INDICA	REV.	
	Fecha	ABR/04	ABR/04			
00	Apell.	MAGO	JCA	REVISIÓN GENERAL APROBADA CONFORME OFICIO N° LECAJ/1502/AGN/0121/2004	REV.	
	Fecha	MAR/04	MAR/04			
REV.	REVISÓ	APROBÓ	FIRMA	MODIFICACIONES	STA.	

**CFE** COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCIÓN DE CONSTRUCCIÓN  
COORDINACIÓN DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS  
GERENCIA TÉCNICA DE PROYECTOS HIDROELÉCTRICOS

PROYECTO HIDROELÉCTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCIÓN  
TÍTULO: CORTINA - CUERPO  
SECCIONES Y DETALLE HOJA 4 DE 4

COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_  
JEFE DE DEPARTAMENTO JEFE DE PROYECTO

N° DE IDENTIFICACIÓN DE LA CPH: **LECAJ0102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

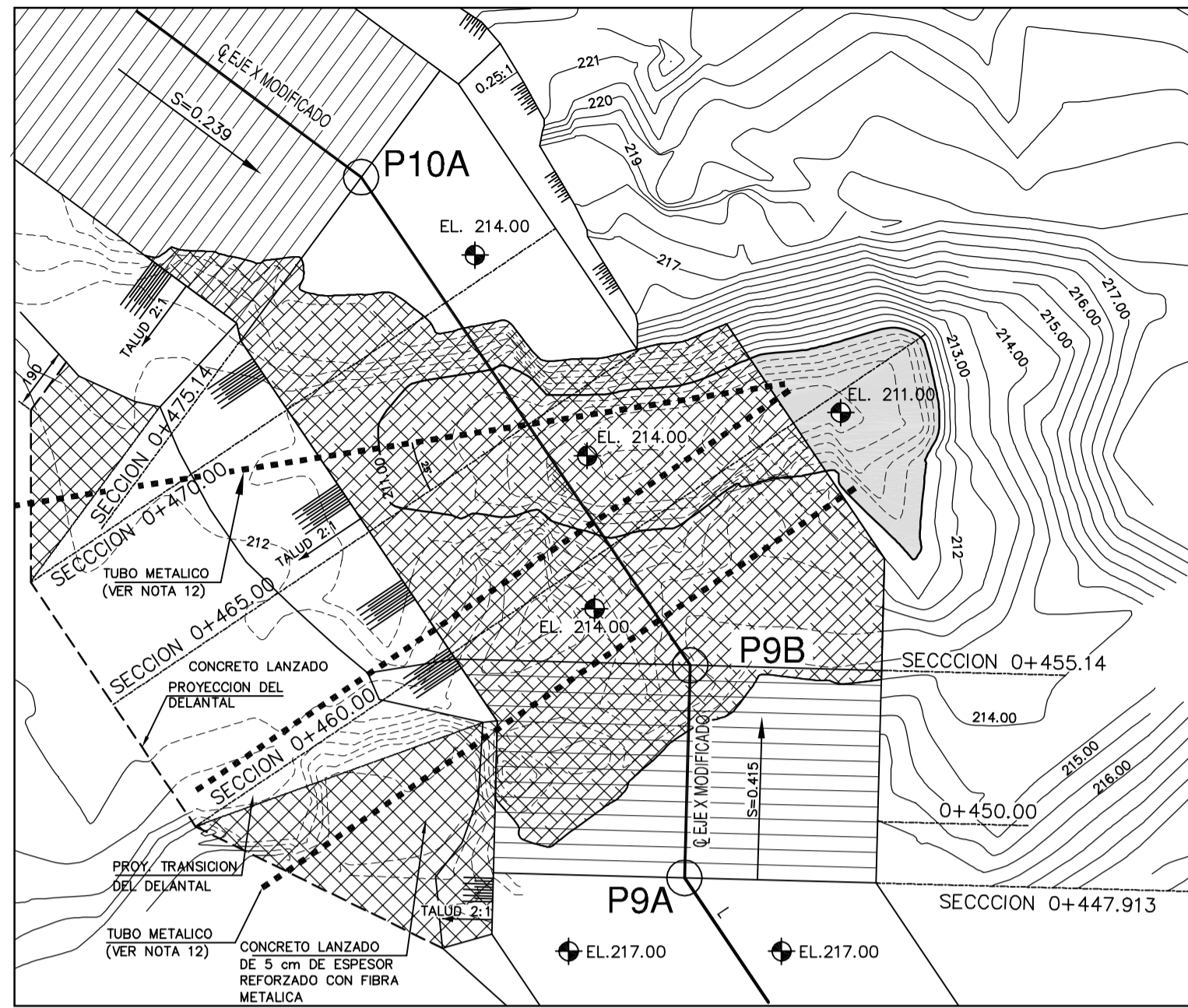
DISERNO: MAGO FIRMA \_\_\_\_\_  
REVISÓ: SP/MIP FIRMA \_\_\_\_\_  
APROBÓ: JCA FIRMA \_\_\_\_\_

FECHA: ENE/04 HOJA: 1 DE 1 ESCALA: INDICADA

N° DE IDENTIFICACIÓN: **CD021PL04402**

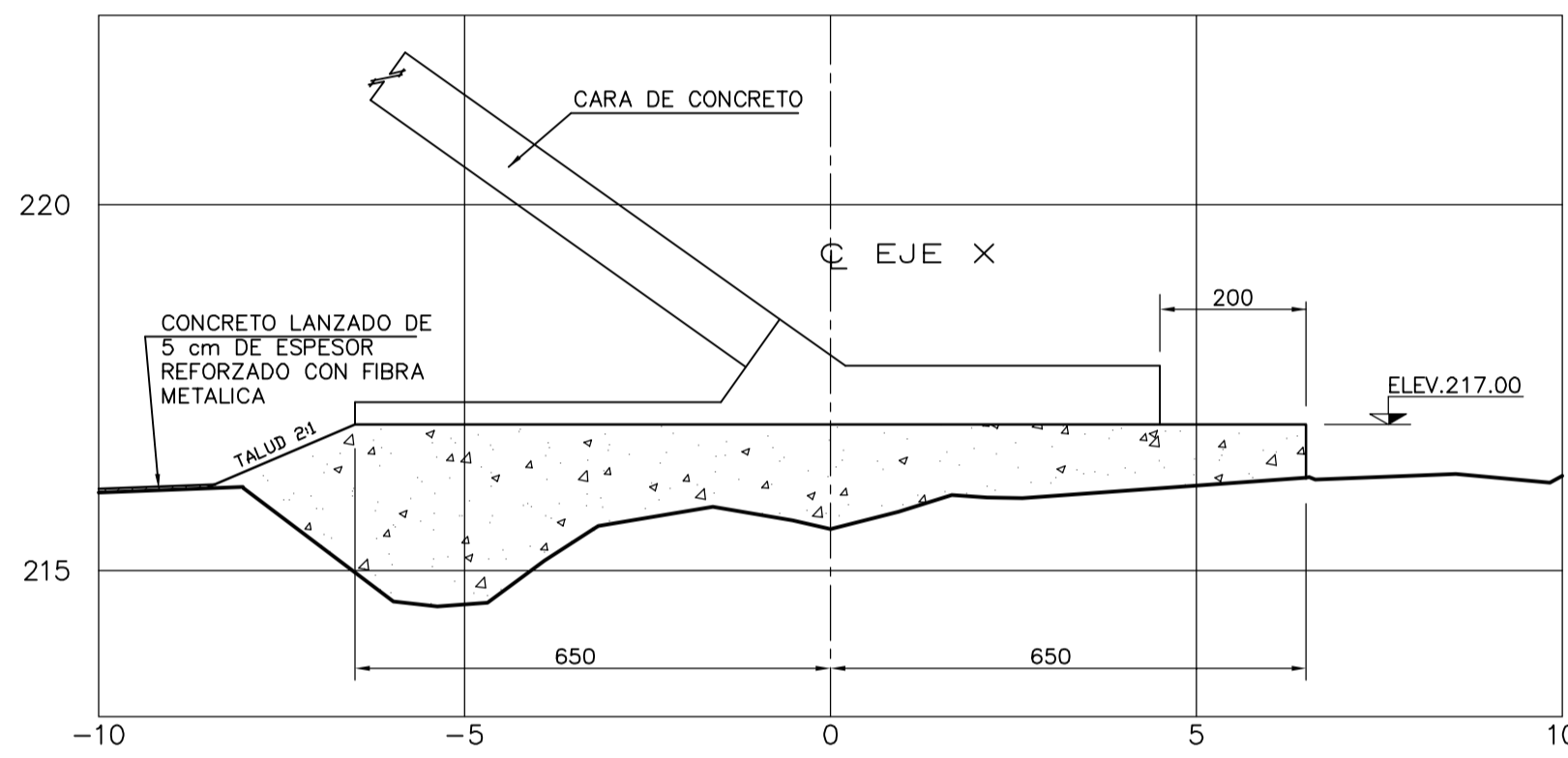
**Inter techne**

N° INIT DE-412-30-044



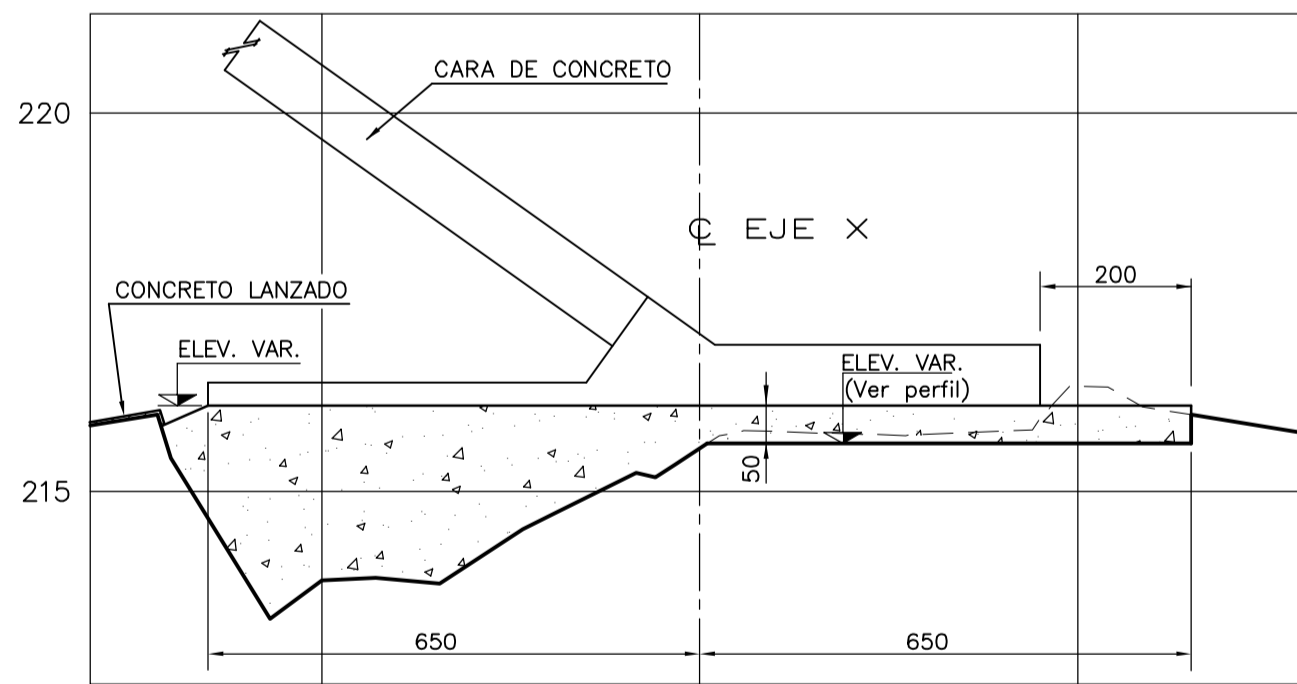
PLANTA (EJE MODIFICADO DEL PLINTO)

ESC. 1:200



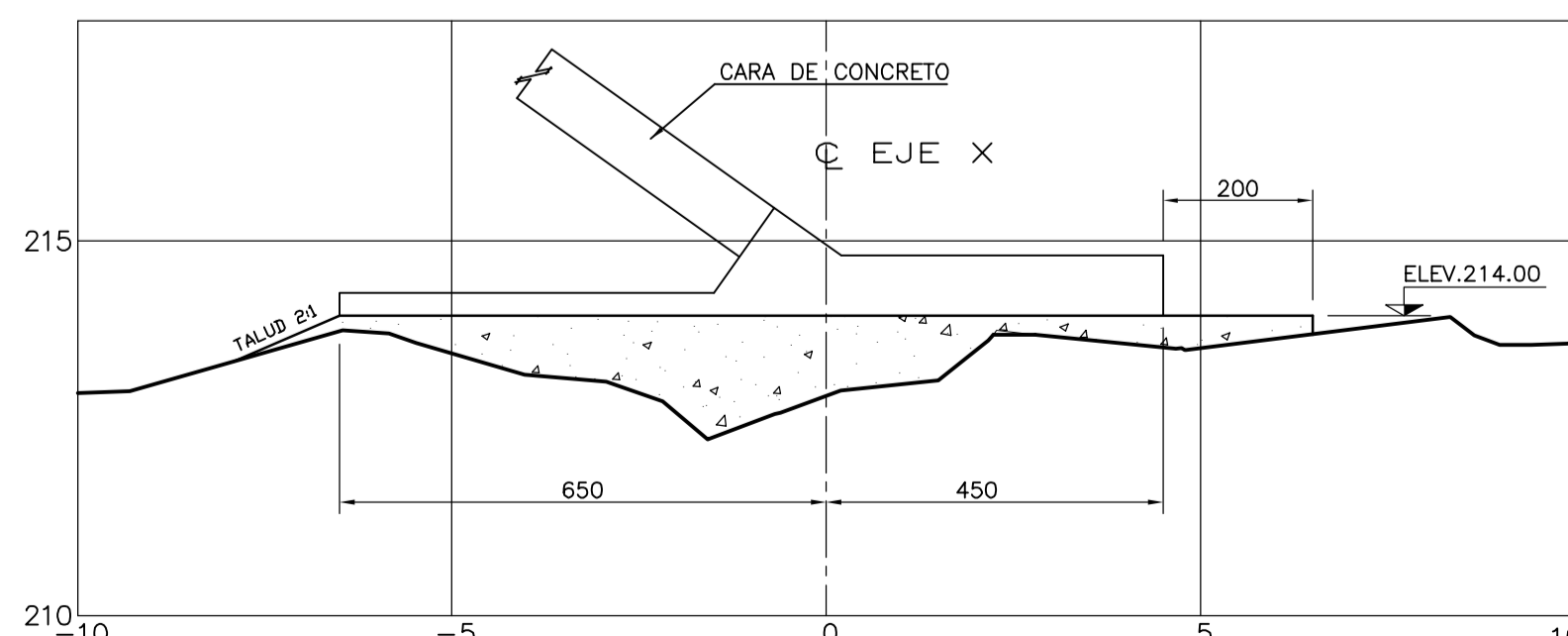
PUNTO 9A ESTACION 0+447.91

ESC. 1:100



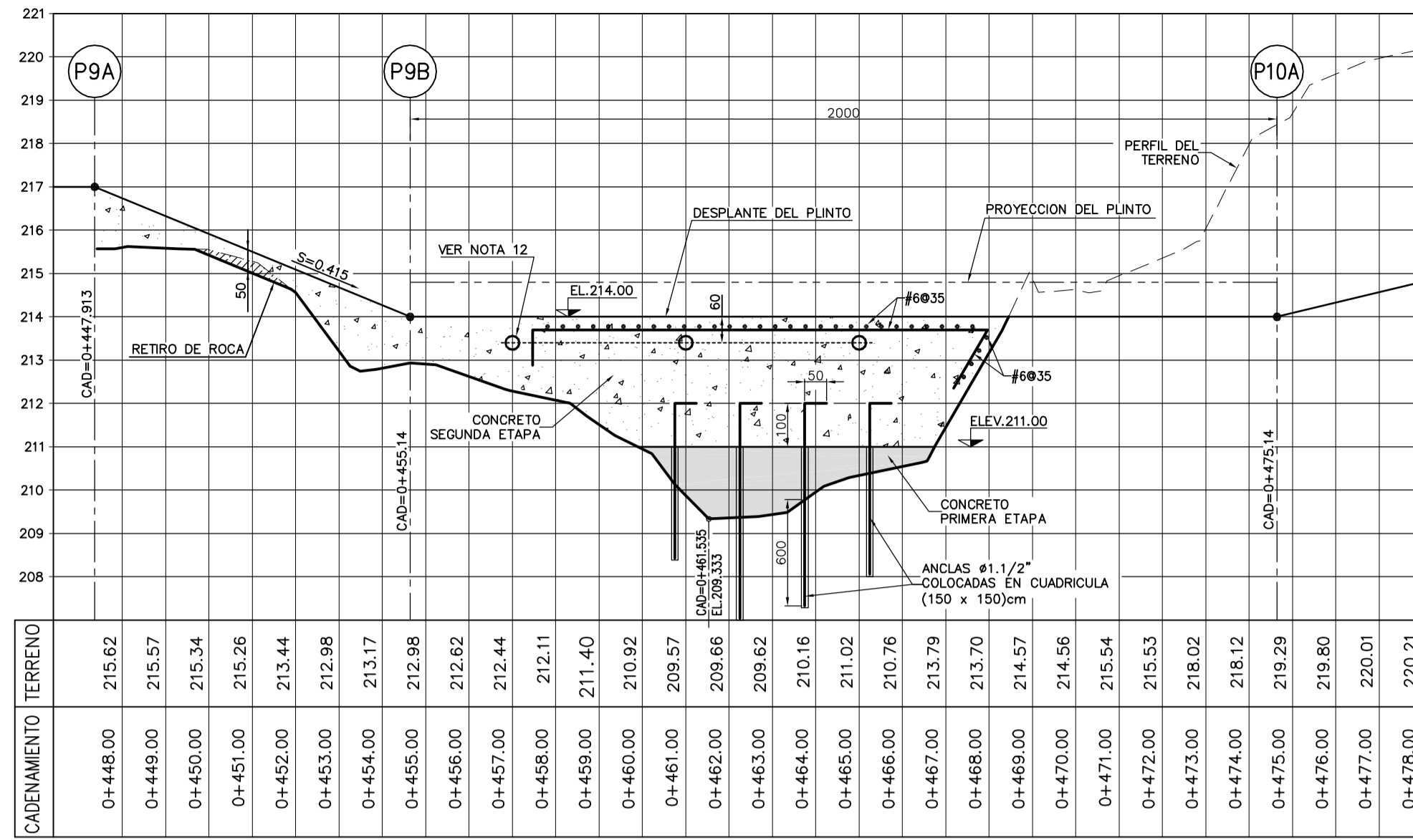
SECCION 0+450.00

ESC. 1:100



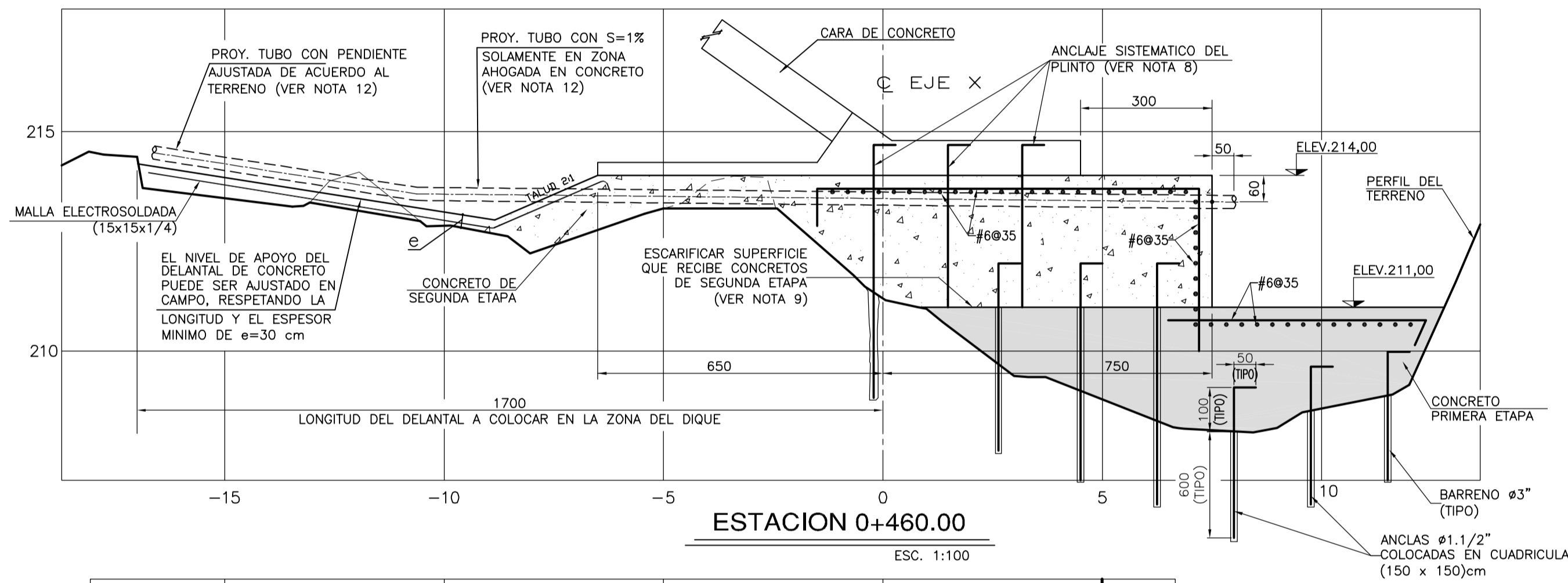
PUNTO 9B ESTACION 0+455.14

ESC. 1:100



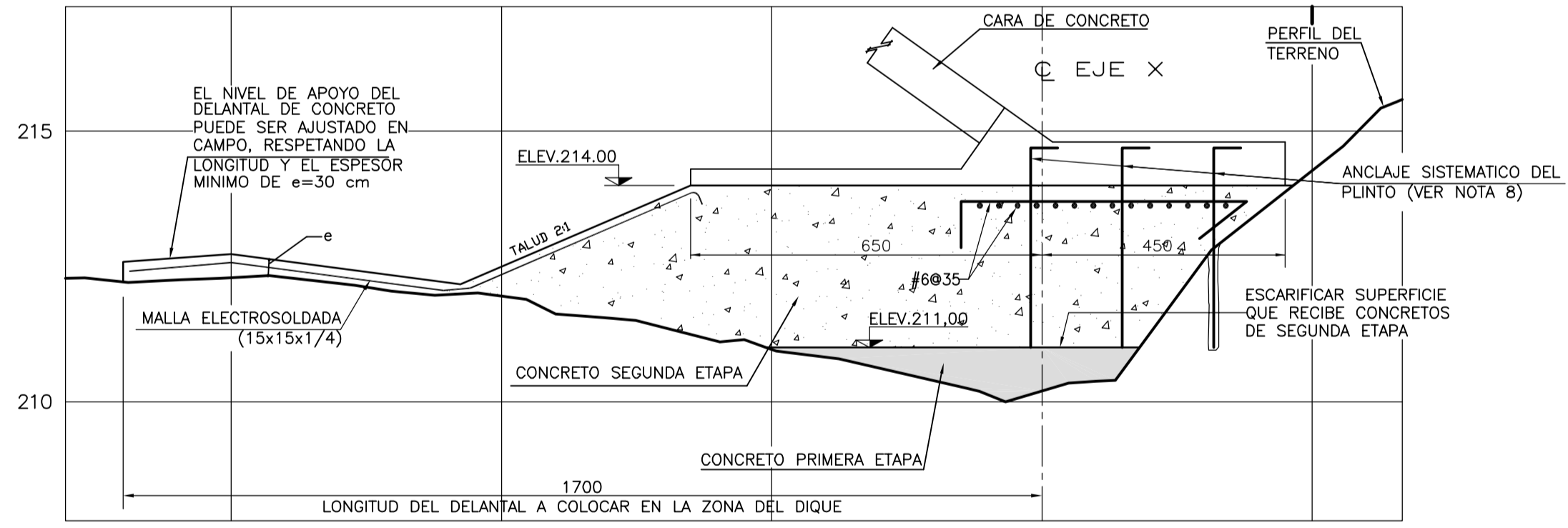
PERFIL POR EL EJE DEL PLINTO (P9-A, P9-B, P10-A)

ESC. 1:125



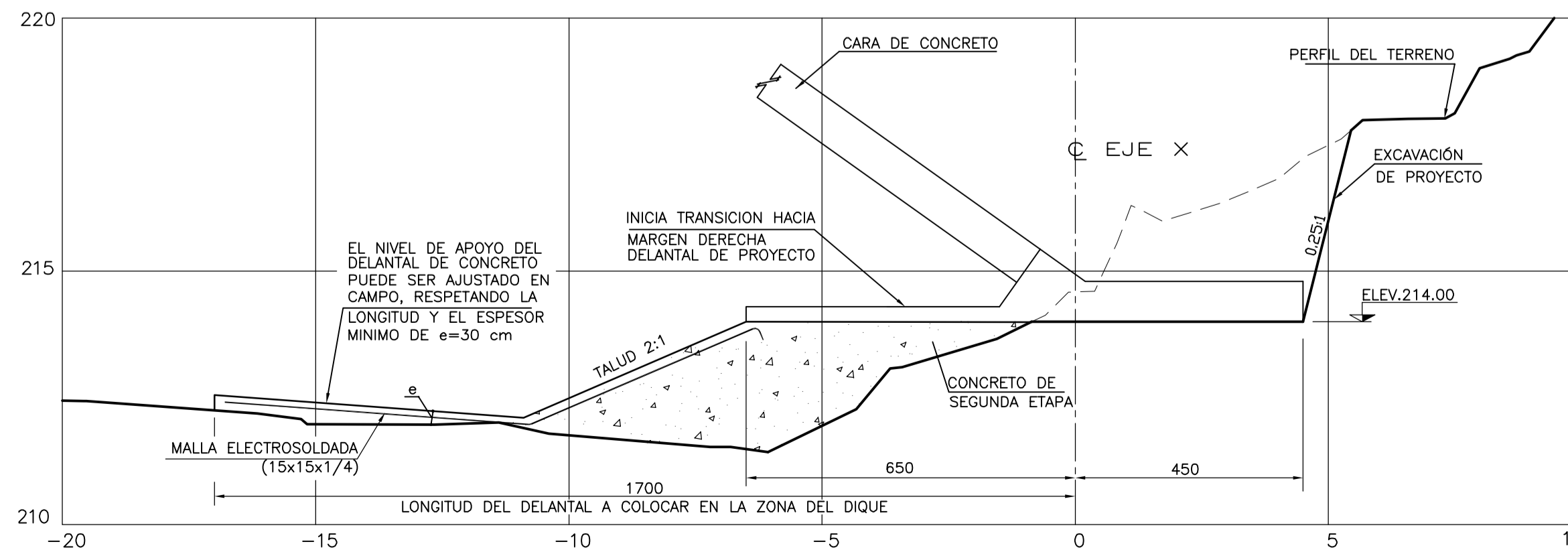
ESTACION 0+460.00

ESC. 1:100



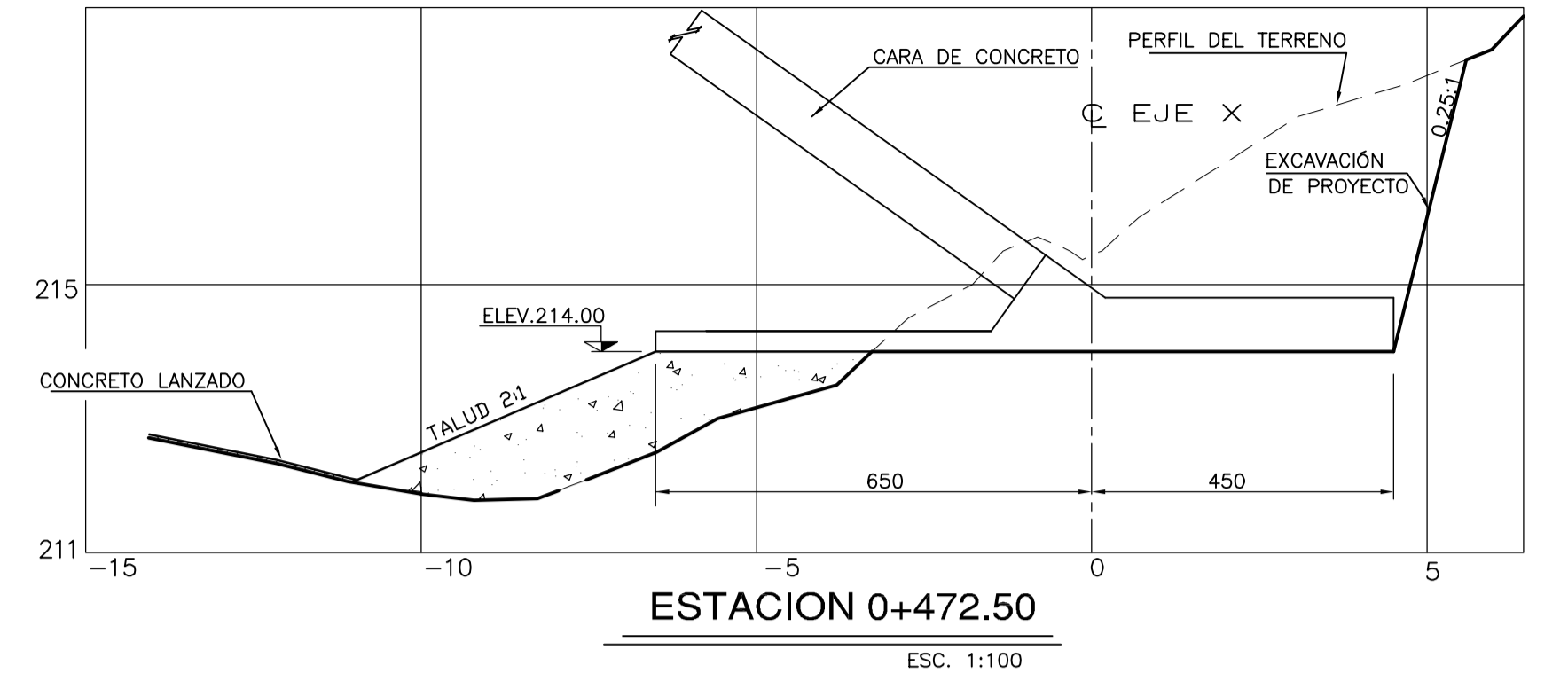
ESTACION 0+465.00

ESC. 1:100



ESTACION 0+470.00

ESC. 1:100



ESTACION 0+472.50

ESC. 1:100

EJE PLINTO - LINEA X			
PUNTO	X (m)	Y (m)	Z (m)
P9A	557092.466	2369503.530	217.00
P9B	557092.660	2369510.755	214.00
P10A	557081.479	2369527.337	214.00
P11	557031.019	2369564.610	229.00

LEYENDA

- CONCRETO DE PRIMERA ETAPA ELEVACION 211.00
- CONCRETO DE SEGUNDA ETAPA ELEVACION 214.00
- CONCRETO LANZADO DE 5 cm ESPESOR Y REFORZADO CON FIBRA METALICA

NOTAS GENERALES

- 1- ACOTACIONES EN CENTIMETROS, EXCEPTO LAS INDICADAS EN OTRA UNIDAD.
- 2- ELEVACIONES Y ESTACIONES EN METROS.
- 3- CONCRETO DE PRIMERA Y SEGUNDA ETAPA  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$ .
- 4- USAR ACERO PARA ANLAJE Y DE REFUERZO  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .
- 5- RECUBRIMIENTO LIBRE 5 CENTIMETROS (MINIMO).
- 6- USAR ANCLAS DE  $\phi=1 \frac{1}{2}$  (38 mm)
- 7- LAS ANCLAS SERAN COLOCADAS EN CUADRICULA DE 150x150 cm EN CIMENTACION
- 8- EL SISTEMA DE ANLAJE DEL PLINTO SERA SEGUN PLANO No. CD-C021-PL-223-00 (ANLAJE PUNTOS P9 A P11) Y LAS NOTAS INDICADAS EN EL PLANO No. CD-C021-PL-222-00
- 9- EL TRATAMIENTO DE LA CIMENTACION SE EFECTUARA CONFORME A LAS NOTAS DEL DEL PLANO No. CD-C021-PL-220-00
- 10- LOS BARRENOS DE CONSOLIDACION E IMPERMEABILIZACION SERA LO INDICADO EN LOS PLANOS: Nos. CD-C021-PL-079-00 Y CD-C021-PL-080-00
- 11- EL DELANTAL DEL PLINTO SERA CONFORME LO INDICADO EN PLANTA CON ESPESOR MINIMO DE 30 cm.
- 12- COLOCAR TUBOS DE 30 cm DE DIAMETRO, DENOMINACION 30 ( $e=1.113 \text{ cm}$ ) PARA DRENAJE (DURANTE LA CONSTRUCCION), SE PROLOGARAN HASTA EL MATERIAL 3B (AJUSTAR EN CAMPO)
- 13- LA INFORMACION DE ESTE PLANO ESTA BASADO EN EL PLANO ENTREGADO POR CFE CON OFICIO No. LECAJ1502/AGN/393/2004

PLANO BUENO PARA EJECUCION (BPE)

Apel.	Fecha	REVISO	APROBO	ESTADO	COMENTARIOS	REV.
01	MAGO/04	JCA	AGO/04		SE ATIENDE AL OFICIO DE CFE N° LECAJ 1502/AGN/550/2004	REV.
00	MAGO/04	JCA	JUL/04		EMISION ORIGINAL	REV.
	JUL/04	JCA	JUL/04		MODIFICACIONES	STA.

**CFE** COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD  
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION  
COORDINACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS  
GERENCIA TECNICA DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS

PROYECTO HIDROELECTRICO: EL CAJÓN, NAY.  
CONJUNTO: OBRAS DE CONTENCION  
TÍTULO: CORTINA  
DESPLANTE DE PLINTO ENTRE PUNTOS 9A Y 10A

COTEJO: \_\_\_\_\_ ACEPTO: \_\_\_\_\_  
N° DE IDENTIFICACION DE LA CPH: **LECAJ0102**  
N° DEL ARCHIVO GENERAL DE CFE: \_\_\_\_\_  
JEFE DE DEPARTAMENTO: \_\_\_\_\_ JEFE DE PROYECTO: \_\_\_\_\_

**CISA** CONSTRUCTORA INTERNACIONAL DE INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V.

DISENO: MAP	FIRMA: _____	N° DE IDENTIFICACION: <b>CD C021 PL 083 01</b>
REVISO: SP/MIP	FIRMA: _____	
APROBO: JCA	FIRMA: _____	
FECHA: JUN/04	HOJA: 1 DE 1	ESCALA: INDICADA



REVISO VERIFICO

**BIBLIOGRAFIA.**

1. "Informe Geológico en la Etapa de Preconstrucción para el Proyecto Hidroeléctrico El Cajón"
2. "Propuesta Técnica". Carpeta 15. CIISA.
3. Especificaciones de Construcción de Obra Civil. Capítulo 15 "Materiales del Cuerpo de la Cortina y Ataguías". LICAJ2900 RG1EEC35. CIISA.
4. "Procedimiento de Explotación del Banco de Roca el Vertedor". SP-DP-MAB-PRO-0005-r01. CIISA.
5. Informe 02-31 SGM/S "Estudio de Materiales de Enrocamiento y Propuesta de Zonificación de la Presa". Subgerencia de Geotecnia y Materiales de CFE.
6. "Procedimiento de Acarreos y Colocación de Materiales en la Presa". CP-CO-TER-PRO-0502- r03. CIISA.
7. "Procedimiento Constructivo del Plinto". CP-CO-EST-PRO-0501-r01. CIISA.
8. "Plinto". CD-C021-CD-001-00. Techno Project.
9. "Procedimiento para el Muestreo de Materiales". SP-DP-LAB-PRO-0005-r01. CIISA.
10. "Procedimiento de Muestreo y Pruebas de Materiales para la Cortina". SP-DP-LAB-PRO-0018-r01. CIISA.
11. "Procedimiento para la Determinación de las Calas Volumétricas Grandes para Ataguías y Cortina". SP-DP-LAB-PRO-0004-r01. CIISA.
12. "Determinación de la Geometría y los Armados de las Losas para la Cara de Concreto". CD-C021-CD-005-00. Techno Project.

REFERENCIAS ELECTRONICAS.

1. <http://www.cfe.gob.mx>
2. <http://www.ica.com.mx>

