

## **II. PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS UTILIZADOS**

La finalidad de este capítulo es aprovechar los conceptos generales de las presas de Enrocamiento con Cara de Concreto desarrollados en el primer capítulo y aplicarlos en el caso particular del P.H. La Yesca. Se tratarán aspectos importantes de los procesos constructivos utilizados en la construcción de la cortina del proyecto se intentarán resumir los procesos a seguir en una construcción de este tipo. Al presentar los procesos constructivos utilizados de manera clara y lo más completamente posible, este capítulo servirá como plataforma al análisis de las mejoras realizadas en los procesos constructivos que se realizará en el capítulo III de la presente Tesis.

### **II.1 Generalidades**

El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, forma parte del sistema hidrológico Santiago, que comprende a 27 proyectos con un potencial hidroenergético de 4 300 MW. La Yesca ocupa el tercer lugar en potencia y generación dentro del sistema.

Desde la década de los sesentas se han estudiado varios sitios para ubicar las obras, seleccionando finalmente el sitio actual en el cual está en proceso la construcción del proyecto.

### **Localización**

El sitio en el que se lleva a cabo la construcción del P.H. La Yesca se encuentra sobre el cauce principal del Río Santiago a 6 km aguas debajo de la confluencia con el Río Bolaños y 62 km aguas arriba de la cortina de la presa El Cajón. El embalse abarcará superficies de los estados de Jalisco y Nayarit, ya que el límite entre ambos es el Río Santiago. Las obras principales se ubicarán en los municipios de Hostotipaquillo, Jalisco y La Yesca, Nayarit, sobre terrenos de régimen particular. El proyecto se encuentra a 109.5 km de la ciudad de Guadalajara; de esta distancia, 60 km corresponden a la maxipista Guadalajara-Tepic, 15 km al tramo de la carretera federal No. 15 entre Magdalena y el entronque al poblado de Hostotipaquillo, 8 kilómetros al camino pavimentado que llega a esta última población, 26.5 kilómetros de la carretera que fue construida para el proyecto, que comprende el tramo de Hostotipaquillo al caserío Mesa de Flores. Las localidades más cercanas al proyecto son los caseríos Mesa de Flores y Paso La Yesca, a 6 y 8 km respectivamente, así como el poblado de Hostotipaquillo a 27 km.

Se ubica aproximadamente a 4 km aguas abajo de la confluencia con uno de sus tributarios mayores, el río Bolaños. Sus coordenadas geográficas son: 21° 11' 49'' de latitud Norte y 104° 06' 21'' de longitud Oeste.

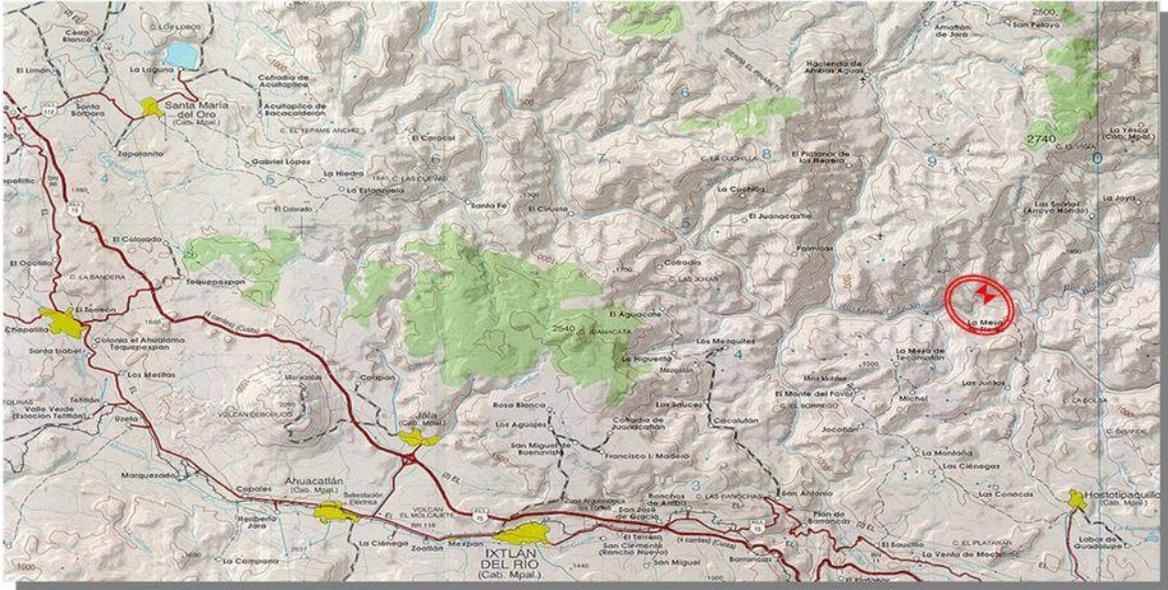


Figura 2.1 Mapa de localización del proyecto

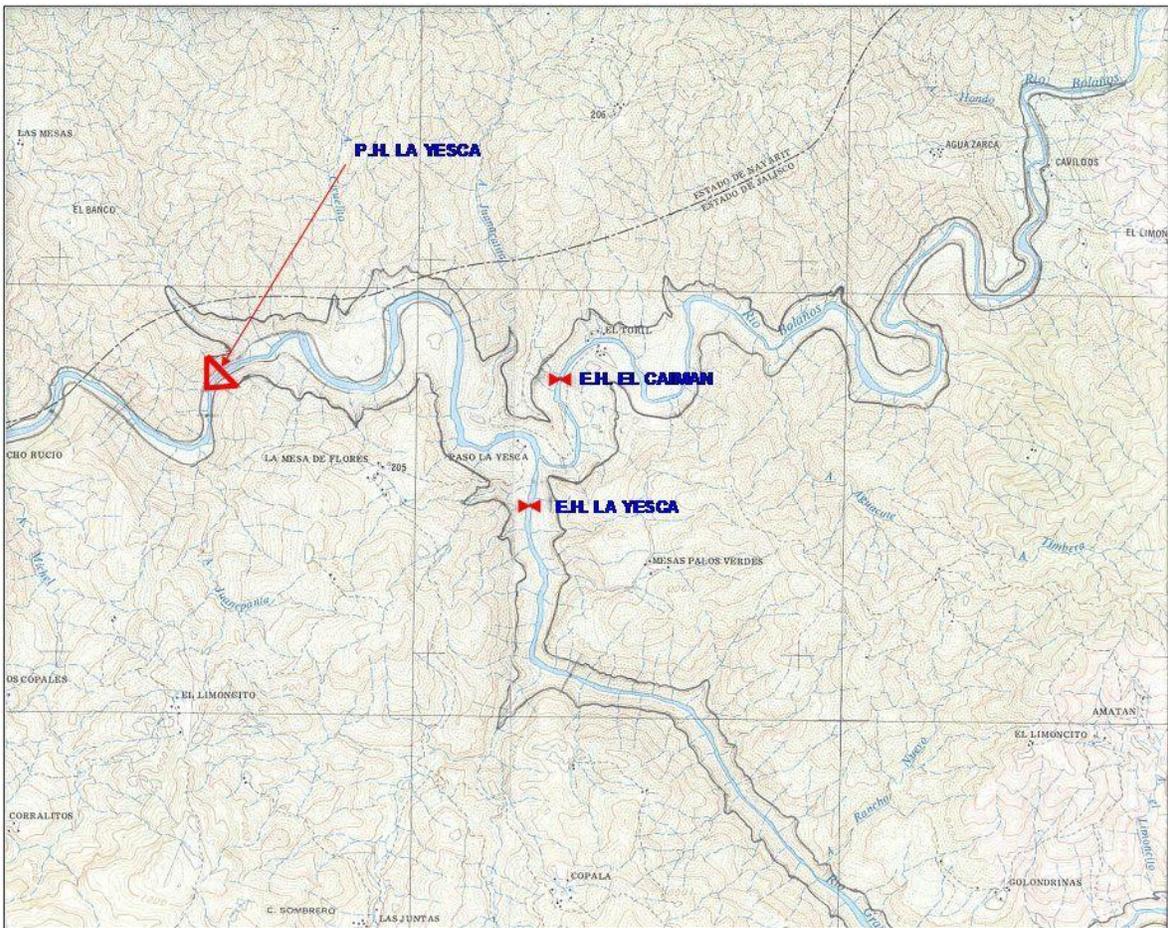


Figura 2.2 Localización de estaciones hidrométricas y embalse

## Descripción General del proyecto

El proyecto P.H. La Yesca contempla la construcción de una presa de 210 m de altura, (en su tipo la segunda más alta del mundo, superada por la cortina de la presa Shibuya en China) para regular los escurrimientos del Río Santiago y Bolaños mediante la formación de un vaso de almacenamiento que permitirá la generación hidroeléctrica; la superficie inundable asciende a 3492 ha, en su nivel máximo extraordinario, involucrando a 64 habitantes afectables. La Yesca ocupará el tercer lugar en potencia instalada y generación dentro del sistema hidrológico del Río Santiago y está conceptuada como planta de generación para horas pico de consumo de energía eléctrica, con una potencia total instalada de 750 MW con dos unidades generadoras para una generación total anual estimada de 1210 GWh.

El embalse contribuirá a regular los escurrimientos de la cuenca del Santiago y beneficiará a las centrales hidroeléctricas Aguamilpa y El Cajón, actualmente en operación, ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río incrementará su generación firme y se reducirán las posibilidades de derrama por el vertedor. Otro beneficio derivado de la realización del proyecto es la creación de más de 5000 empleos directos y 5000 indirectos con la importante derrama económica en la región. Adicionalmente, el embalse podrá utilizarse como vía fluvial de comunicación y comercialización y el camino de acceso al proyecto permitirá el cruce del Río Santiago, comunicando a la zona serrana del estado de Nayarit.

A pesar de de la altura de la cortina, en su tipo la segunda más alta del mundo, el P.H. La Yesca involucra mínimas afectaciones, la superficie inundable (área del embalse) asciende a 3492 ha y los habitantes afectables suman 64. En el siguiente listado podemos observar la potencia instalada, superficie de embalse y habitantes afectados de algunas centrales hidroeléctricas comparativamente al P.H. La Yesca.

Proyecto o generadora	Central	Potencia instalada (MW)	Superficie de embalse (ha)	Población involucrada
Malpaso		1080	30 000	3 500
Infiernillo		1000	40 000	6 000
Aguamilpa		960	12 800	870
La Angostura		900	62 925	15 480
El Caracol		594	3 960	5 500
Peñitas		426	6 930	2 420
Huites		422	9 457	1 350
Temascal		354	64 250	22 000
Zimapán		292	2 290	2 500
El Novillo		135	11 400	10 000
El Cajón		750	4 100	210
La Yesca		750	3 492	64

*Tabla 2.1 Potencia instalada, superficie de embalse y habitantes afectados de algunas centrales hidroeléctricas comparativamente al P.H. La Yesca*

Las obras principales que comprende el proyecto son: i) Obras de infraestructura (caminos, campamentos, comedores, almacenes, etc), ii) Obras de desvío (túneles y ataguías), iii) Obra de contención (cortina), iv) Obra de excedencias (vertedor), v) Obras de generación (obra de toma, casa de máquinas, galería de oscilación, desfogue y subestación eléctrica). Las obras principales están relacionadas entre sí tanto en la construcción como en la operación. Durante la construcción se desarrollan vialidades o caminos provisionales, así como la vialidad definitiva para el acceso a la central hidroeléctrica.

### Descripción de obras y actividades principales

Al P.H. La Yesca lo integran las obras principales que se indican en la tabla siguiente:

Nº	Concepto	Descripción
a)	Número de unidades	2 Turbinas tipo Francis Vertical
b)	Capacidad por unidad	375 MW cada una
c)	Superficie de embalse	3 492 ha
d)	Capacidad del embalse	
	NAME	2 393 Mm <sup>3</sup>
	NAMO	2 293 Mm <sup>3</sup>
	NAMINO	901 Mm <sup>3</sup>
e)	Tipo de cortina	Enrocamiento con cara de concreto (ECC)
f)	Superficie para estructuras	
	Contención	18.0 ha
	Generación	3.5 ha
	Excedencias	7.5 ha
	Desvíos	3.5 ha
g)	Obra de generación	
	Obra de toma	En rampa y canal a cielo abierto con 0.353 Mm <sup>3</sup> de excavación
	Tuberías a presión	2 de 7.5 m de diámetro con camisa metálica, longitud de 193.3 m y carga bruta de diseño de 180 m
	Casa de máquinas	Subterránea de 22.2 m de ancho, 48.3 m, altura y 95.0 m de longitud
	Subestación de potencia	Blindada con dispositivos SF <sub>6</sub>
	Galería de oscilación	Subterránea de 15 m de ancho, 51 m de altura y 60 m de longitud
h)	Obra de excedencias	3 canales abiertos excavados en la ladera de margen izquierda de 13 x 15 m y longitud total de 1 740 m; capacidad de descarga de 14 264 m <sup>3</sup> /s con 6 compuertas radiales de 13.5 x 20 m.
i)	Obras de desvío	
	Túneles de desvío	2 túneles de sección portal de 14 x 14 m y longitud total de 1 547 m; capacidad de descarga de 4 828 m <sup>3</sup> /s

	Ataguías	De materiales graduados ambas, aguas arriba y aguas abajo.
j)	Desfogue	Túnel de sección portal de 13.8 x 13.8 m y 271 m de longitud
k)	Nuevos poblados	Se tiene previsto un sitio para reacomodos, localizado en la misma superficie habitacional del plano de ocupación de obras.

*Tabla 2.2 Obras y Actividades para la construcción del P.H. La Yesca*

La descripción detallada de estas obras es la que se describe a continuación.

### **Obra de desvío**

Consiste en la excavación de 2 túneles excavados en roca en la margen izquierda del río, la longitud de ambos túneles es de 1 547 m, con una sección portal de 14 m de ancho y 14 m de alto, se han diseñado con una capacidad para descargar un caudal de agua de 5 932 m<sup>3</sup>/s, cuando exista una avenida de 8 653 m<sup>3</sup>/s, avenida del río que corresponde a un periodo de retorno de 50 años.

Cada túnel debe contar en su portal de entrada con una compuerta deslizante para el control del flujo de agua, accionada por malacates estacionarios. La platilla de entrada de al túnel 1 debe ser inferior al del túnel 2, para realizar por el túnel 1 el cierre final del desvío e iniciar con éste, el llenado del embalse de la presa. Por esta razón también se debe instalar en el túnel 1 una compuerta para cierre final. La compuerta de cierre final se deslizará por medio de un malacate a través de una lumbrera vertical revestida de concreto. Dicho malacate será instalado en la superficie junto al marco que soportará la compuerta durante el cierre final.

Las obras de desvío se complementan con dos ataguías, que se deben diseñar y construir con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas ataguías (una a cada lado de la cortina) debe estar ligado a una pantalla impermeable construida sobre el aluvión, hasta la roca sana del fondo del cauce del río para evitar filtraciones hacia la zona de construcción de la cortina.

Se debe garantizar la correcta construcción del núcleo impermeable y la pantalla impermeable, para tener las condiciones necesarias para el desplante de la cortina. Dichas condiciones consisten básicamente en tener seca la zona de desplante de la cortina, por lo que se deben construir las ataguías antes del período de lluvias para poder iniciar la construcción de la cortina y los tratamientos de la roca en su desplante.

### **Obra de contención**

Recibe este nombre porque es la obra que contiene el embalse, está integrada principalmente por la cortina, galerías de inspección, inyección y drenaje, y por una pantalla impermeable construida sobre el macizo rocoso donde se desplanta la cortina, basada en perforaciones e inyecciones de cemento-agua.

La cortina será de enrocamiento compactado con cara de concreto en el frente de aguas arriba, tendrá una altura máxima de 210 m y un volumen aproximado de 12 650 000 Mm<sup>3</sup>.

La parte impermeable de la cortina se forma con una gran losa de concreto reforzado de 60 000 m<sup>3</sup> en su cara de aguas arriba. La cara de concreto se apoya sobre los materiales de la cortina y tiene su cimentación en las laderas de desplante de la misma, mediante una losa de concreto construida sobre terreno firme a lo largo del perímetro de la cara de concreto. A esta losa de cimentación se le denomina plinto. Para la construcción de las losas de la cara de concreto de la cortina y el plinto, se aprovechará la experiencia obtenida en la construcción de las presas de C.H. Aguamilpa y la C.H. El Cajón, ya que los diseños son muy similares.

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

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

### **Obra de excedencias**

Se localiza en la margen izquierda de la boquilla y es de tipo canal a cielo abierto, controlado por compuertas. Consta de un canal de acceso con un ancho mínimo total de 91.0 m, con elevación de plantilla a la cota 549.4 msnm y una longitud de 94.0 m. La estructura de control es un cimacio del tipo Creager con altura de 6.6 m, seis vanos de 12 m y longitud total de cresta de 72.0 m, pilas de 3.8 m de espesor que soportan el puente de maniobras a la elevación 580.0 msnm. El control de la descarga se logra mediante seis compuertas radiales de 12.0 x 22.4 m, accionadas mediante servomotores. La elevación de la cresta es la 556.0 msnm. La descarga la constituyen tres canales desfasados de 419.53 m de longitud. La estructura terminal es una cubeta deflectora con ángulo de salida de 0 grados.

La obra de excedencias está diseñada para una avenida máxima de 15 915.0 m<sup>3</sup>/s. La descarga máxima es de 15 110 m<sup>3</sup>/s. La velocidad máxima del flujo de agua en la descarga es de 40.0 m/s.

Dadas las características de operación del vertedor, en casos de emergencia, la zona de la estructura de control se debe incluir una planta generadora de energía eléctrica de combustión interna alojada en una caseta. Sobre las pilas se deben ubicar casetas para el equipo oleodinámico que operará los servomotores, requiriendo para ello una caseta por cada dos compuertas.

## **Obras de generación.**

El complejo de obras de generación de energía eléctrica se ubica en la margen derecha y consiste en obras a cielo abierto y obras subterráneas. Consta de dos unidades generadoras tipo Francis de eje vertical con potencia nominal de cada una de 380.32 MW, con una caída de diseño neta de 163.35 m y un gasto de diseño de 250 m<sup>3</sup>/s. Se logrará una generación media anual de total de 1 210.0 GWh.

### *Obra de toma y conducciones a presión*

Descritas en el sentido del flujo de agua y localizadas en la margen derecha del río, inician con la obra de toma de concreto reforzado, alojada en un canal a cielo abierto excavado en roca; consta de dos bocatomas con un gasto total de 500.0 m<sup>3</sup>/s (250.0 m<sup>3</sup>/s por unidad) de concreto reforzado que deberán contar con rejillas finas metálicas para impedir el paso de cuerpos y objetos diversos que pudieran dañar las turbinas; la estructura de control aloja una compuerta rodante de servicio por unidad, las cuales serán accionadas por servomotores. Adicionalmente se debe instalar una compuerta auxiliar que debe rodar por guías auxiliares, accionada por medio de una grúa pórtico que le permita colocarse en cualquiera de los conductos permitiendo con ello efectuar las maniobras de mantenimiento a las compuertas de servicio.

Aguas debajo de la obra de toma se encuentran los conductos a presión, que consisten en 2 túneles circulares excavados en roca, de concreto reforzado la parte inicial y revestidos con camisa metálica en su parte final, las tuberías a presión son de 7.7 m de diámetro interior, con una longitud cada una de 221.9 m y una velocidad de flujo de 5.37 m/s. Las conducciones a presión inician a partir de las ranuras de compuertas hasta la casa de máquinas, la sección de concreto reforzado será de las ranuras hasta el inicio del codo inferior incluyendo una transición de rectangular a circular, la sección con camisa metálica inicia a partir de codo inferior hasta la casa de máquinas e incluye la transición de 7.7 a 5.48 m en sección circular para la conexión con la turbina, la camisa metálica estará empacada con concreto y las conducciones estarán tratadas mediante inyecciones de consolidación y contacto concreto-roca y concreto-placa, sólo en la zona con blindaje.

### *Casa de máquinas*

Aguas debajo de las tuberías a presión está la casa de máquinas, alojada en una caverna excavada en roca. Todas las losas y muros situados entre el piso de excitadores y el desplante de la casa de máquinas, serán de concreto reforzado y hacia arriba del nivel de excitadores las paredes y la bóveda llevarán un revestimiento de concreto lanzado. En la casa de máquinas se deben instalar dos turbinas tipo Francis, de eje vertical, adicionalmente se debe instalar una turbina auxiliar. El factor de planta del proyecto se ha estimado en 0.19.

La excavación de la casa de máquinas se debe iniciar por la bóveda y ejecutarse en etapas. Una vez realizada la excavación total de la casa de máquinas se construirá una estructura metálica para soportar la trabe carril que soportará las grúas viajeras que se utilizarán en los montajes.

A la casa de máquinas se ingresa mediante un túnel de acceso vehicular dimensionado de acuerdo con las partes más grandes de los equipos que se van a instalar. La casa de máquinas debe contar con un sistema forzado de ventilación por medio de lumbreras verticales. Adicionalmente, se deben construir cuatro lumbreras, una para alojar todos los cables de control, fuerza y medición, dos para los buses de fase aislada y la cuarta para la lumbrera que alojará un elevador de cremallera que dará servicio a los diferentes niveles de la casa de máquinas y llegará a la Subestación.

#### *Galería de Oscilación y túnel de desfogue*

Las obras de generación se complementan con la galería de oscilación excavada en roca y revestida de concreto reforzado en paredes y con concreto lanzado en bóveda. Tiene comunicación con la casa de máquinas por medio de los túneles de aspiración. En la galería de oscilación se alojarán compuertas deslizantes accionadas con una grúa viajera para poder aislar cualquiera de las dos unidades principales y la unidad auxiliar, para su mantenimiento. En el muro que coincide con el acceso a la galería de oscilación se ubicará una compuerta hermética con sus partes fijas de primer y segundo colado, cuya dimensión permitirá el paso de las secciones de estructurales (independientes) de las compuertas de desfogue, hacia la zona de mantenimiento.

Después de la galería de oscilación el agua se conduce al cauce del río por el túnel de desfogue revestido de concreto reforzado en plantilla y muros y concreto lanzado en bóveda; trabajará como canal, tendrá sección portal con dimensiones de 13.0 x 14.0 m y una longitud de desarrollo de 254.58 m. el túnel desembocará en un canal de sección trapecial con un ancho variable de 13.0 a 35.0 m y una longitud de 60.0 m, para su descarga en el río.

#### *Subestación eléctrica*

La subestación eléctrica se ubica en la margen derecha sobre las obras de generación; la obra civil consistirá en la construcción de una plataforma a la elevación 580.0 msnm con cunetas, ductos, trincheras para cables y buses, zona de transformadores, las estructuras mayores y su cimentación, cimentación de los equipos menores, equipos auxiliares y edificio de control, tanque separador aceite-agua, casetas de ventilación y la protección de seguridad física. Se debe considerar el diseño y construcción del tanque de agua para el sistema contra incendio.

### **Geología**

Para establecer las condiciones geológicas en la zona de obras, se llevaron a cabo en campo levantamientos geológicos y geofísicos realizando en los primeros una toma sistemática de datos estructurales y utilizando en los segundos el método de refracción sísmica; posteriormente se realizó la integración geológico-geofísica.

### **Geología regional**

Geológicamente en la zona del estrechamiento o boquilla, solamente afloran dos formaciones litológicas de origen volcánico del Terciario.

**1.-** Unidad dacítica-riodacítica de color grisáceo, textura porfirítica, fluidal y en parte esferulítica, con bandeamientos de sílice. Se halla ampliamente distribuida a lo largo del futuro embalse y en el río Bolaños.

**2.-** Unidad ignimbrítica dacítica-riodacítica de tono pardusco, por intemperismo cambia a gris verdosa, compacta, dura, silicificada y de textura eutaxítica. Tiene aspecto masivo, pseudo estratificado con fragmentos subredondeados, bien soldados con apariencia brechoide, capas de espesores de 1 a 5 m. Están sobre las dacitas-riodácitas y son prácticamente contemporáneas. Su mejor expresión se encuentra en las partes: media e inferior de la margen derecha del área de estudio. También están afectadas por diques doleríticos de 1 a 2 m de espesor.

La región está enmarcada dentro de una zona difusa de los límites de las provincias geológicas de la Faja Ignimbrítica Mexicana y la Faja Volcánica Transmexicana de edad Cenozoica, origen volcánico y ambiente tectónico de arco continental.

El fallamiento en bloques es el resultado de una o varias etapas de tectónica distensiva, donde también intervienen movimientos de corrimiento lateral.

Por lo anterior, en la zona de estudio, han prevalecido movimientos tectónicos de carácter distensivo. También se levantaron varias estructuras que muestran estrías horizontales de fricción o con cierto componente que denotan movimientos laterales importantes.

### **Geología del sitio**

Los rasgos locales de deformación a la que han estado sujetas las rocas de la zona de la boquilla, denotan esfuerzos transpresivos (compresión oblicua, fracturas planas y lisas) y de extensión principalmente.

La secuencia ácida del área de boquilla, presenta un basculamiento de 40° a 45° hacia el NW y está afectada por lineamientos de tendencia E-W, sellados al Norte y Sur, lo que divide al macizo rocoso en bloques tabulares, afectados a su vez por lineamientos NW y NE.

La asociación de estos rasgos ha provocado círculos de erosión y zonas altamente inestables, como la zona muy descomprimida de la margen derecha.

El fracturamiento presenta una orientación preferencial NW-SE, que se manifiesta principalmente en la margen izquierda y coincide con el cambio brusco que sufre el río a partir del arroyo Juanepanta, seguido de otro de menor intensidad E-N y de un tercero N-S, este último escasamente distribuido.

En la zona del estrechamiento La Yesca, las inclinaciones del paquete ignimbrítico son del orden de 45° hacia el Oeste, señalado por el basculamiento de los pseudoestratos, que indican un fallamiento en bloques, como reflejo local.

Las fallas en algunos casos están ocupadas por diques de diabasa y otras contienen rellenos cataclásticos.

En la margen derecha los planos de la pseudo estratificación están inclinados hacia el macizo rocoso y aunque favorecen la estabilidad de los bloques superficiales, al ser removida su sustentación, tienden a colapsar.

En la margen izquierda los bloques tienen salida a favor del talud y provoca que presenten deslizamiento a favor de la pendiente.

Las estructuras observadas consisten en pseudo estratificación, fluidez, fracturas y fallas. Además, localmente la roca presenta segregaciones amorfas de jaspe, sílice de color rojizo con distribuciones irregulares en la textura de la roca.

Los rasgos de pseudo estratificación están más marcados en la margen derecha que en la margen izquierda.

La fluidez, por lo general tiene direcciones casi perpendiculares al curso del río Santiago aunque en algunas localidades se aprecian cambios bruscos en dichas tendencias.

Existen fracturas tanto cerradas como abiertas, cuyos espacios están ocupados por suelo, epidota y sericita. Las fallas generalmente tienen rellenos cataclásticos.

En la margen derecha existen estructuras que en el plano de máxima pendiente del terreno, con superficies lustrosas debido a la presencia de sericita.

La zona de roca sana en ambos márgenes alcanza un valor uniforme de velocidad compresional del orden de 3,0 km/s; sin embargo, el espesor de la unidad de roca descomprimida es mucho mayor en la margen derecha.

### **Sismicidad**

Como resultado de la realización de un estudio de monitoreo sísmico, se ha determinado que la aceleración máxima de terreno puede ser de 0,091 g, correspondiente a un sismo situado a 20 km del sitio con una magnitud de 6 en la escala de Richter, sin tomar en cuenta la respuesta del terreno.

## **Bancos de Material**

Se realizó un estudio preliminar de bancos de materiales con el propósito de identificar y evaluar los materiales disponibles en la zona, para la construcción de las obras.

### **Material permeable:**

Sobre el río Santiago, hasta la confluencia del río Bolaños (distancia máxima de 5 km del eje de la cortina), se identificaron 5 bancos de depósitos aluviales constituidos por boleos, gravas y arenas, que en conjunto suman 7,7 millones de metros cúbicos.

Cuatro de estos bancos se localizan aguas arriba del eje de la cortina, con un volumen estimado de 7,2 millones de metros cúbicos y uno aguas abajo, a 1,0 km de distancia, con un volumen de 0,5 millones de metros cúbicos. Adicionalmente, se tiene gran potencial de reserva de acarreos sobre el río Bolaños.

### **Material impermeable:**

Se identificaron bancos a distancias entre 2,0 y 8,0 km en línea recta del eje de la cortina.

En todos los bancos se tienen arcillas arenosas de alta plasticidad, con contenidos naturales de agua cercanos al límite plástico e índices de contracción lineal variable entre 17 y 24 %. Estos materiales se consideran aptos para la formación del núcleo impermeable de una cortina de materiales graduados. El volumen total estimado es de 4 millones de metros cúbicos.

### **Material para enrocamiento:**

Se ha identificado a la ignimbrita como la roca de mejor calidad para la formación de los enrocamientos de la cortina y ataguías, debido a su homogeneidad, dureza y fracturamiento para facilitar su explotación. Este material existe en la cercanía de la zona de obras.

## **Camino**

Para la obra se tienen contemplados caminos de las siguientes categorías:

1. Caminos auxiliares. Son aquellos caminos para uso temporal cuyas características técnicas son: ancho de 10 a 12 m; pendiente de hasta 18%. Estos caminos serán empleados en la apertura de frentes de excavación, básicamente por ellos se movilizarán equipos montados sobre orugas y/o equipos de perforación, en algunos casos ingresarán equipos de carga y transporte.
2. Caminos de construcción. Sus características técnicas son: ancho 10 a 13 m; pendiente máxima de 13%. Por estos caminos se transitarán los insumos básicos a los frentes de trabajo así como los materiales en general para la construcción de la presa.
3. Caminos definitivos. Tal como su nombre lo indica son los caminos que de acuerdo al diseño quedarán como de servicio para la operación del proyecto Hidroeléctrico la Yesca.

A continuación se enumeran los caminos de construcción, auxiliares y definitivos que se han proyectado:

MARGEN DERECHA		MARGEN IZQUIERDA	
NOM	DESCRIPCIÓN	NOM	DESCRIPCIÓN
<b>1 MD</b>	Acceso desde el puente provisional aguas abajo a casa de máquinas, elev. 426	<b>1 MI</b>	Acceso a parte superior del vertedor 1
<b>2 MD AUX</b>	Auxiliar acceso provisional a casa de máquinas	<b>2 MI</b>	Acceso desde la estructura de control de vertedor a puente aguas arriba
<b>3 MD</b>	Acceso al recinto y desfogue por ataguía provisional aguas abajo.	<b>3 MI</b>	Acceso al canal de llamada del vertedor Aux. 1- Acceso a berma 540 del portal de entrada del túnel de desvío
<b>4 MD</b>	Acceso desde subestación al recinto por aguas abajo	<b>4MI</b>	4 MI - acceso al recinto desde la vialidad 2VD para etapa 1 cortina (etapa 1) 4 MI - acceso al recinto desde la vialidad 2VD para etapa 1 cortina (etapa 2) 4 MI - acceso al recinto desde la vialidad 2VD para etapa 1 cortina (etapa 3)
<b>5 MD</b>	Acceso desde puente provisional aguas arriba hacia obras de toma	<b>5 MI</b>	Acceso a túneles por la entrada para excavación de sección inferior del túnel de desvío.
<b>6 MD</b>	Acceso para excavación de obra de toma y subestación, elev. 580 a 640.	<b>6 MI</b>	Acceso de portal de entrada de los túneles de desvío, túnel crucero a portal de salida de túneles de desvío.
<b>7 MD</b>	Acceso al plinto, elev. 439 y bocatoma desde camino 5vd	<b>7 MI</b>	Acceso al recinto desde el túnel crucero
<b>8 MD</b>	Acceso desde subestación a elev. 510 4ta etapa de la cortina.	<b>8 MI</b>	Acceso desde puente aguas arriba a bancos de aluvión por margen izquierda
<b>9 MD</b>	Acceso desde zona industrial margen derecha a bancos de aluvión aguas arriba	<b>9 MI</b>	Acceso por el recinto desde túneles de entrada a salida.
		<b>10 MI</b>	Acceso desde el puente provisional aguas abajo al recinto
		<b>11 MI</b>	Acceso de Mesa de Flores a Los Agaves
		<b>12 MI</b>	12 MI-Acceso desde Mesa de Flores al puente provisional Mabey (etapa 1 vertedor elev. 700)
			12 MI-Acceso desde Mesa de Flores al puente provisional Mabey (etapa 2 ampliación al puente Mabey)

			12 MI- Acceso desde Mesa de Flores al puente provisional Mabey (etapa 3 rectificación)
		<b>13 MI</b>	Acceso desde el puente Mabey al portal de salida
			Auxiliar a parte superior de la excavación del portal de salida de los túneles de desvío
		<b>14 MI</b>	Acceso para excavación del vertedor
		<b>15 MI</b>	Acceso segunda y tercera etapa de la presa, elev. 470 desde el vertedor
		<b>16 MI</b>	Acceso bancos de desperdicio desde 2 MI
		<b>17 MI</b>	Acceso a la berma 580 desde el camino 12 MI
		<b>18 MI</b>	Camino de liga entre 4 MI y 17 MI

Tabla 2.3 Caminos de construcción, auxiliares y permanentes del P.H. La Yesca

Debido a las condiciones topográficas naturales la ladera de la margen derecha representa el principal obstáculo para los caminos de acceso a la zona de la cortina, por lo que se proyectaron la mayor parte de los caminos por la Margen Izquierda, los cuales tienen que cruzar el río Santiago en varios puntos para tener acceso a la Margen Derecha para llevar los materiales de construcción de cada una de las estructuras.



Figura 2.3 Planta de las vialidades de construcción y definitivas.

## **II.2 Procedimiento constructivo del plinto**

Debido a la importancia que tiene la construcción del plinto para el comienzo de las actividades en la cortina, se deben iniciar las actividades desde los comienzos de la obra. Una vez finalizado los procesos de excavación en las laderas se debe de iniciar la construcción de la estructura en la margen izquierda del punto 2 ubicado en la elevación 576 msnm hasta el punto 5 ubicado en la elevación 390 msnm, del mismo modo en la margen derecha del punto 12 al punto 8 siendo las mismas elevaciones que la margen izquierda, quedando pendiente la llegada al cauce en el punto 6 y 8 y la sección del río que será construida cuando este lista la excavación.

### **Excavación**

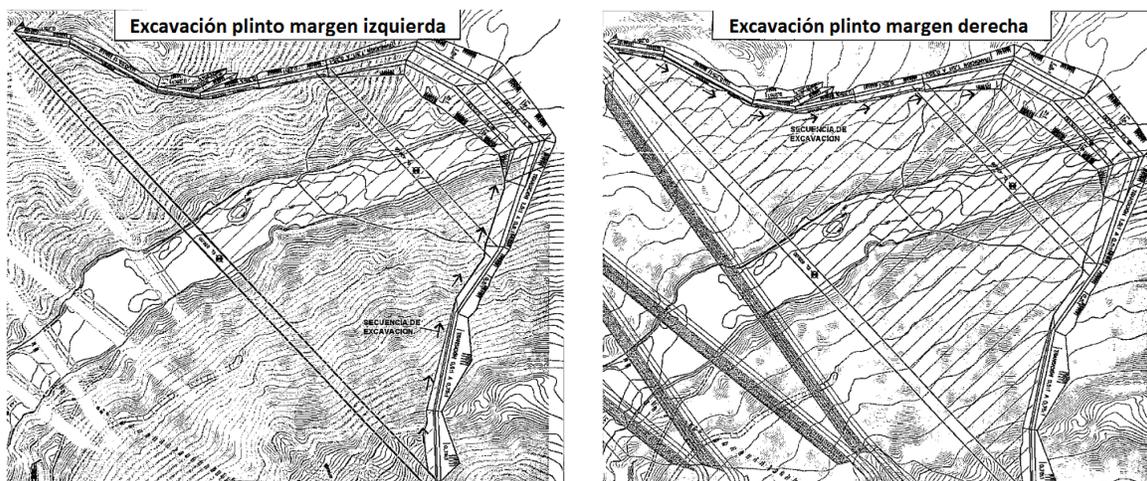
Como primer paso en la construcción del plinto, se debe realizar los trabajos de excavación que para este proyecto están divididas en tres zonas las cuales son margen derecha, margen izquierda y la del lecho del río. Las actividades para el ciclo de excavación proporcionadas por la constructora son:

- Excavación y remoción del material suelto hasta encontrar el lecho de roca
- Perforación de precorte 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

La excavación de ambas márgenes se realizará desde la elevación 576 msnm hasta llegar a la 390 msnm, dejando pendiente la sección de llegada al cauce para excavarse posteriormente al desvío del río y concluirse en forma simultánea con la del cauce hasta la elevación 375 msnm. Los ciclos de excavación serán efectuados en banqueos de 6 m de altura con la finalidad de ir aplicando los tratamientos necesarios en forma simultánea.

En la margen izquierda se prevé la construcción de dos rampas de acceso a la zona de excavación, estando una de ellas en la elevación 440 msnm y la segunda en la zona del camino 9MI a nivel del cauce. En la margen derecha se prevé una plataforma de carga en la elevación 440 msnm en el que interseca con el camino 7MD.

La excavación del lecho del río se realizará posteriormente al desvío del río, requiriendo equipo de bombeo dentro de la zona de excavación para poder abatir el nivel del agua.



*Figura 2.4 Excavación plinto en ambas márgenes*

En el proceso de la excavación primero se optará por remover el material suelto con tractor sobre orugas o retroexcavadora, siendo los encargados de perfilar el terreno de acuerdo con los taludes y pendiente del plano inclinado sobre el que se apoya la losa del plinto. Una vez finalizada la remoción de la parte suelta, se continuará con la excavación del material rocoso mediante voladuras. Para poderlas realizar se debe marcar en el terreno el lugar donde se ejecutará la perforación, considerando el talud que debe dejarse y la profundidad. Esta perforación se realizará con una perforadora sobre orugas, también conocida como track drill, iniciando el proceso por la fila adjunta al talud para formar el precorte y siguiendo la distribución de los barrenos según la plantilla para la extracción de roca. Una vez finalizada la etapa de perforación se procederá a la limpieza de los barrenos a base de soplete de aire comprimido y posteriormente se cargarán de material explosivo. Los explosivos están clasificados en altos y bajos, el primero se usa para la carga de fondo y es amarrado con un detonador no eléctrico y/o cordón detonante logrando depositarlos hasta el fondo, el segundo se distribuirá en forma porcentual de acuerdo con el factor de carga seleccionado que es el indicador de la cantidad de explosivo por m<sup>3</sup>. Al final queda una longitud de barreno sin cargar, denominado taco, que se rellena con material producto de la excavación y se compacta hasta llegar al nivel superior del barreno.

Una vez que se tienen todos los barrenos cargados se realiza la conexión asegurándose que ninguno quede fuera del circuito, al final el último barreno se conecta al fulminante inicial que a su vez se conecta a la mecha lenta hasta el primer barreno. Una vez finalizada la conexión se revisa nuevamente que todos los barrenos estén conectados, se retiran los excedentes de explosivo, equipo y personal. Una vez realizada la voladura se retira la rezaga del material hasta volver a descubrir nuevamente la capa de material rocoso.

Simultáneamente a los trabajos de excavación se van realizando trabajos de tratamiento de taludes, el cual consiste en la aplicación de una primera capa de concreto lanzado, perforación y colocación de las anclas de fricción, fijación de malla electrosoldada, aplicación de una segunda capa de concreto lanzado y por último la perforación de drenes. Se ha considerado como primera



En la parte superior se coloca contracimbra, fabricada de madera y espaciada a cada 40 cm para que se permita llevar a cabo la vibración del concreto mediante el uso de vibradores de inmersión de 50.8 a 76.2 mm de alta frecuencia. La colocación del concreto se efectuará por medio de bombeo y se colocará en caída libre a una altura no mayor de 1 m para evitar segregación del mismo. Los espesores de concreto serán de 1 m a los 0.70 m en el plinto externo y en el interno de 0.40 m a 0.30 m. En esta obra se tiene la restricción que para los colados masivos contiguos (más de 100 cm de espesor) se debe de transcurrir un lapso de 72 hrs y para concretos semi-masivos (60 a 100 cm de espesor) 48 hrs.

### Tratamientos especiales

Los tratamientos especiales son las actividades que se llevarán a cabo con dos finalidades, una es la de mejorar las propiedades mecánicas de la roca donde se va a desplantar la cimentación de la cortina (plinto) sellando las discontinuidades geológicas y por otro lado, crear una pantalla impermeable a través del macizo rocoso por medio de inyecciones de lechada para que junto con la cortina se impida el flujo del agua.

Las actividades a realizar son las siguientes:

### Perforación

Los arreglos que se formaron para las perforaciones de consolidación y de pantalla profunda varían en 2 casos según su localización. La sección del plinto que se ubica en el lecho del río se encuentra configurada en cinco líneas, cuatro de ellas eran de consolidación con profundidad de 10 m para las que se ubicaban en los extremos y de 30 m para las de en medio. En el caso de las perforaciones para la pantalla profunda o de impermeabilización la profundidad era de 50 m, aunque podría haber el caso en que pudiera variar según las condiciones de la roca.

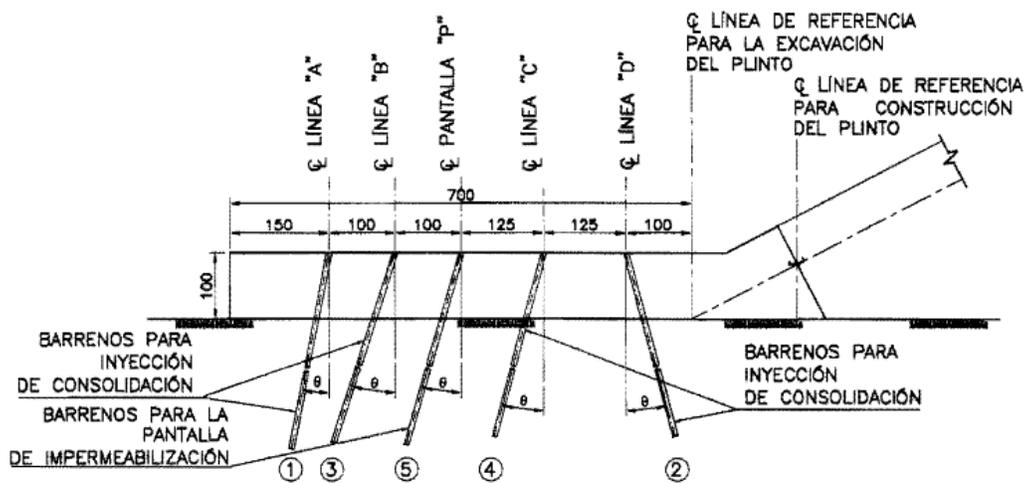


Figura 2.6 Distribución de los barrenos en el plinto en la sección del lecho del río

La sección del plinto ubicada en ambas márgenes cuenta con un arreglo diferente, en este caso solo hay dos líneas de perforación para consolidación variando sus profundidades de 10 m para la línea interna y de 20 m para la línea externa. La línea de la pantalla profunda no cambia, sigue con la misma profundidad de 50 m.

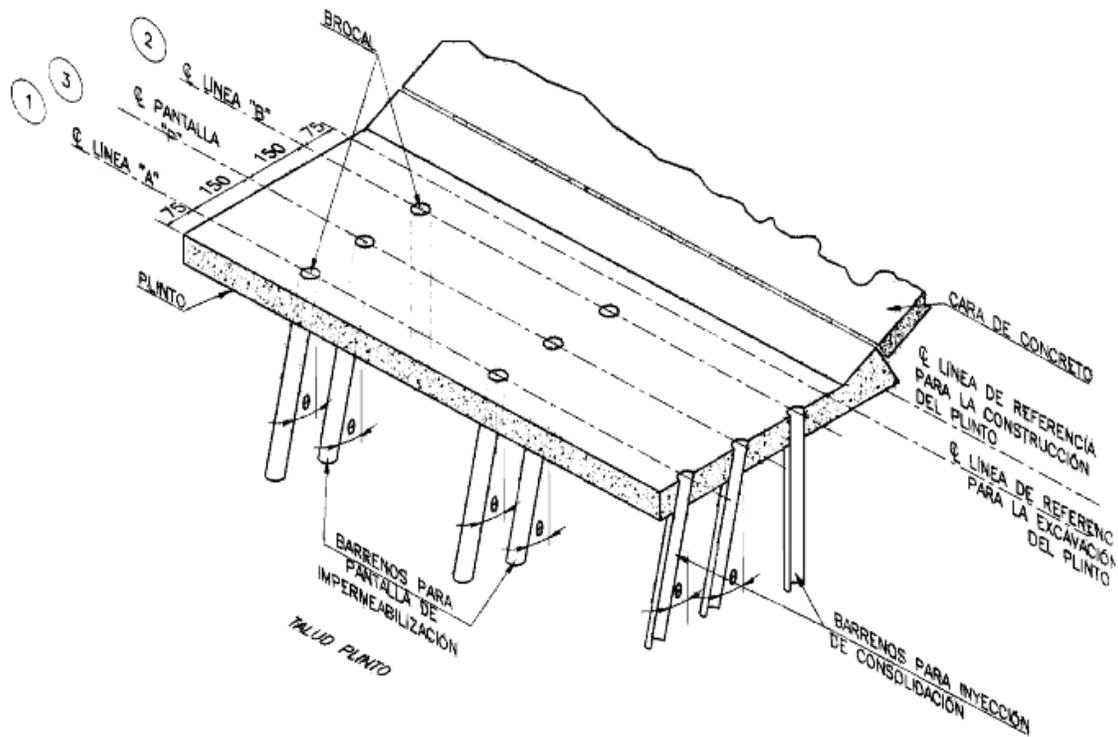


Figura 2.7 Distribución de los barrenos de la sección del plinto en ambas márgenes

Los barrenos, tanto de las márgenes como del lecho del río, se encuentran ubicados sobre líneas a todo lo largo del plinto y separados a una distancia de 3 m uno de otra organizados en etapas, las cuales son:

- Barrenos de exploración a cada 24 m
- Barrenos de 1ª etapa a cada 12 m
- Barrenos de 2ª etapa a cada 6 m
- Barrenos de 3ª etapa a cada 3 m

La perforación se realizará con equipo track drill con unidad de rotación y martillo de fondo, lográndose en una sola operación desde que se inicia hasta la profundidad de proyecto. En caso de encontrar roca de mala calidad que no permita avanzar en la perforación debido a problemas de inestabilidad, será necesario inyectar la zona y volver a perforar hasta llegar a la profundidad deseada.

## **Lavado de barreno**

Esta actividad consiste en introducir agua y aire a presión al barreno mediante el uso de un chiflón o un tubo provisto en la punta de perforaciones que tengan una dirección perpendicular al eje del barreno, pero en el caso de que sea un lavado para un barreno que vaya a ser reinyectado, la dirección del chorro debe de ser paralela al eje. La presión debe ser tal que permita la salida del material producto de la perforación, de inyección, caídos de roca y cualquier otro material hasta que el agua retorne limpia hasta la superficie y el barreno esté libre de toda obstrucción.

## **Saturación Previa**

La saturación se realizará en la zona de los barrenos que se encuentren por encima del Nivel de Aguas Freáticas (NAF). Se realizará en tramos de 20 m de longitud, iniciando con la parte más baja del barreno y continuando en forma ascendente, colocando el obturador por encima de la sección que se va a saturar y se inyectará agua durante un lapso de tiempo de 30 minutos, o bien hasta llegar a los 200 litros por metro, con una presión de 1 MPa (10 kg/cm<sup>2</sup>). Si en las mediciones efectuadas cada 3 minutos del gasto da como resultado que se ha estabilizado, se puede dar por saturado el tramo.

## **Inyección**

En los tratamientos de inyección para los casos de consolidación como de pantalla profunda se usará una lechada de cemento que cumpla con las siguientes características:

- Relación agua/cemento de entre 0.8/1 a 1
- Viscosidad al Cono Marsh de entre 29 y 33 segundos
- Densidad o peso volumétrico entre 1.47 a 1.55 g/cm<sup>3</sup>
- Decantación (sedimentación) menor o igual al 4% en dos horas
- Cohesión (con placa) menor o igual a 0.03 g/cm<sup>2</sup> o 0.2 mm
- Coeficiente de filtrado menor o igual a 0.6
- Cake obtenido de la prueba de filtrado menor o igual a 15 mm
- Resistencia a la compresión simple a la edad de 28 días mayor o igual de 9.8 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>)

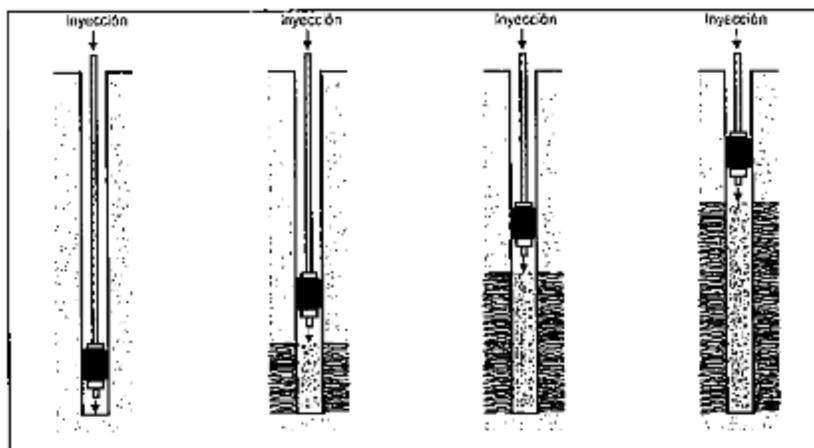
La dosificación que se empleaba hasta mayo de 2010 para hacer la lechada de cemento en las inyecciones es la siguiente:

- 50 kg de cemento
- 47 litros de agua
- 1.2 gr de bentonita perfobent
- 0.4 litros de aditivo Rheobuild 716

La elaboración de la mezcla se realizará en sitio a una distancia no mayor de 70 m del barreno a inyectar. La preparación se hará en turbo mezcladores de 1250 r.p.m. adicionando en el siguiente orden los materiales:

- Agua
- Bentonita (1 minuto)
- Cemento (2 minutos)
- Aditivo (1 minuto)

Una vez finalizada la elaboración se procederá a inyectarla en los barrenos en tramos de 5 m, iniciando por el fondo y continuando en forma ascendente hasta llegar al tramo superficial el cual resultará variable, colocando el obturador 0.50 m por debajo del contacto concreto-roca del plinto. El proceso debe de ser en forma continua y no se debe de suspenderse por ningún caso.



*Figura 2.8 Inyección por progresiones ascendentes de 5 m.*

El proceso de inyección se realiza mediante el proceso del método GIN, el cual estará en función de la carga hidráulica a los que estará sometido el embalse obteniendo como resultado los siguientes valores.

Curva GIN (PxV)	Elevación	Presión Máxima (kg/cm <sup>2</sup> )	Volumen Máximo (l/m)
<b>600</b>	580 a 495	15	100
<b>1000</b>	495 a 410	25	125
<b>1400</b>	410 a 325	35	140

*Tabla 2.4 Valores GIN de referencia usado en el proyecto P.H. La Yesca*

El proceso se iniciará con una presión de 0.5 MPa (5kg/cm<sup>2</sup>) e ira incrementándose a medida que va disminuyendo el gasto, es decir, si el gasto en el brocal es menor de 2 l/min se deberá dar un incremento de 0.5 MPa hasta sellar el tramo, existiendo tres diferentes formas: presión máxima especificada, intersección de la curva GIN o volumen máximo establecido. Esta información se podrá visualizar mediante la elaboración de la gráfica de presión vs volumen.

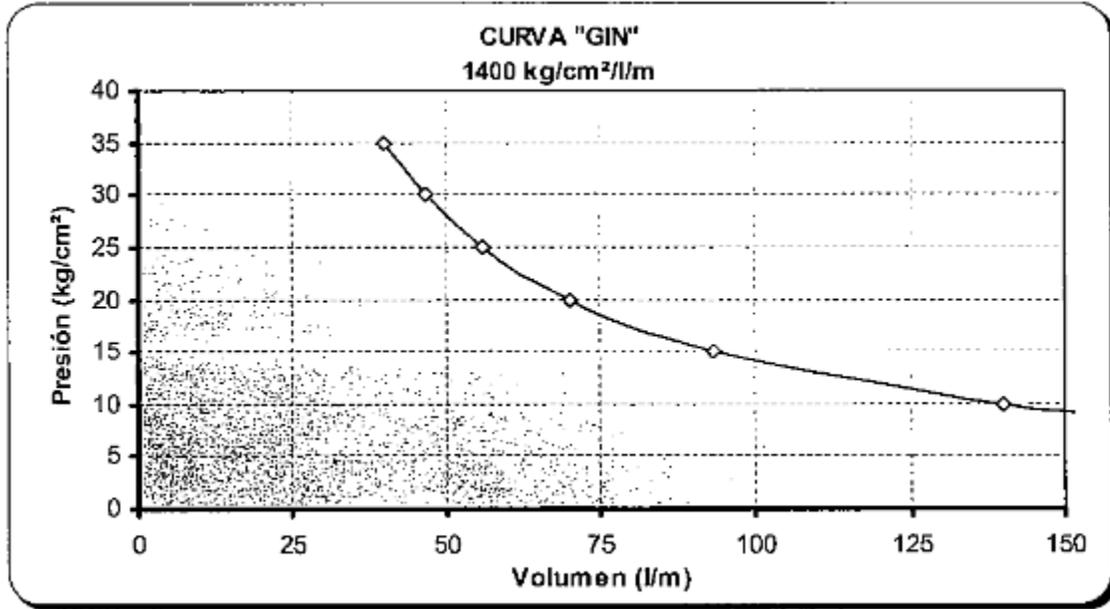


Figura 2.9 Curva GIN de referencia

El orden en que se deben realizar las inyecciones de consolidación y de pantalla profunda en las laderas y en el cauce del río es el siguiente:

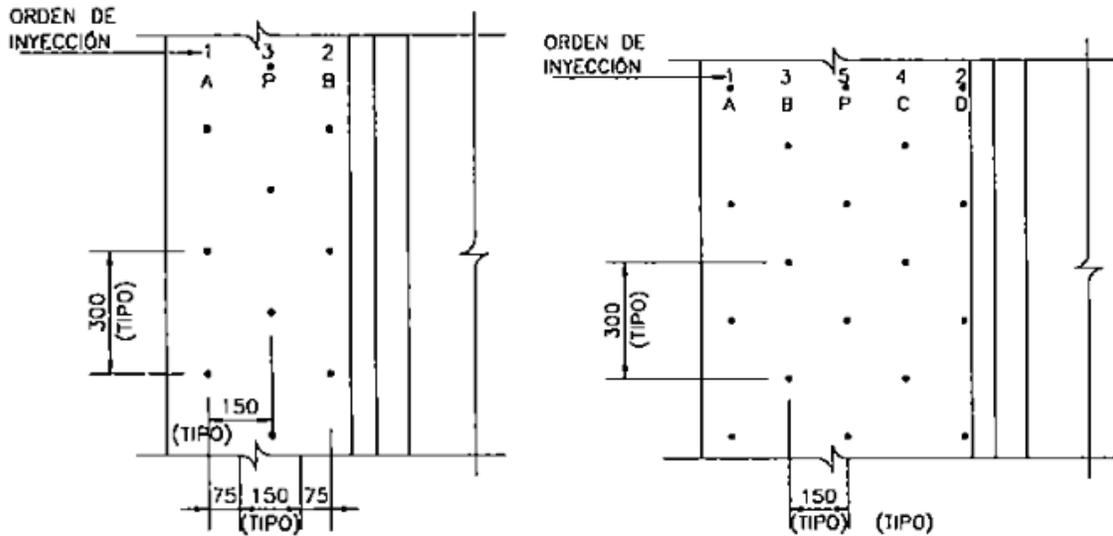


Figura 2.10 Orden de inyecciones en el plinto

Una vez conocido el orden de las líneas de inyección, se debe calcular la secuencia de las etapas que lleva cada línea, es decir, en la línea A se debe limitar la zona de inyección en secciones de 24 m tomando como extremos dos barrenos de exploración, una vez perforados e inyectados se continua con los barrenos de 1ª etapa ubicados a 12 m (uno entre cada barreno de exploración), posteriormente siguen los de 2ª etapa a cada 6 m (uno entre cada barreno de 1ª etapa) y se

termina con los de 3ª etapa, a cada 3 m. Pueden existir casos en los que haya necesidad de realizar de 4ª etapa a cada 1.5 m.

Una vez transcurridas 24 hrs de haberse terminado de inyectar el barreno se limpiará con aire a presión y se llenara con mortero, teniendo en cuenta que existirá decantación del material.

### II.3 Procedimiento constructivo del cuerpo principal de la cortina

#### Antecedentes

La cortina del P.H. La Yesca es del tipo enrocamiento con cara de concreto con altura total de desplante de 205.50 m, incluyendo un parapeto de 4.50 m de altura, formada con materiales de enrocamiento producto de las excavaciones de las estructuras, aluvión del río Santiago y Bolaños y materiales procesados graduados que dan apoyo a la cara de concreto ubicada en el talud de aguas arriba, formando entre todos ellos el cuerpo principal de la cortina.

Con base en 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 de los materiales que conformaran la cortina.

#### Materiales que conforman la cortina

A continuación se presenta una tabla con materiales que conforman la cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto del P.H. La Yesca.

Material	Ubicación	Descripción de los materiales	Volumen Programado (m <sup>3</sup> )
2	Apoyo de la cara de concreto	Aluvión procesado con diámetro menor que 50.80 mm, según granulometría especificada	361,511
2F	Filtro de protección de junta perimetral	Aluvión procesado con diámetro menor que 38 mm, según granulometría especificada en gráficas	8,596
3B	Zona principal cuerpo de la cortina	Este cuerpo de la cortina será compuesto de aluvión en greña o procesado según granulometría especificada.	3,599,127
T	Transición de la cortina	Enrocamiento producto de bancos de roca y excavación de las obras principales y/o bancos de aluvión.	4,077,523
3C	Respaldo aguas abajo de la cortina	Enrocamiento sano compactado proveniente de bancos de roca y/o excavación de estructuras principales.	3,442,121
4	Enrocamiento de protección	Fragmentos sanos de roca con tamaño mayor a 1.00 m, quedando empacados y acuñaados entre sí.	155,501
1B	Material sobre cara de concreto	Limo arenoso de granulometría especificada	33,386

<b>3H</b>	Material sobre cara de concreto	Limo arenoso tendido en capas de 40 cm de espesor y bandeado con al menos 4 pasadas de tractor D8R.	79,539
<b>3G</b>	Estabilidad material "F"	Rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada, 80 cm de tamaño máximo.	407,938
<b>TOTAL</b>			12,201,709

Tabla 2.5 Materiales que conforman la cortina de ECC del P.H. La Yesca, tomado de OCO-PRO-005-r01 OT-12.b) Capítulo c.1

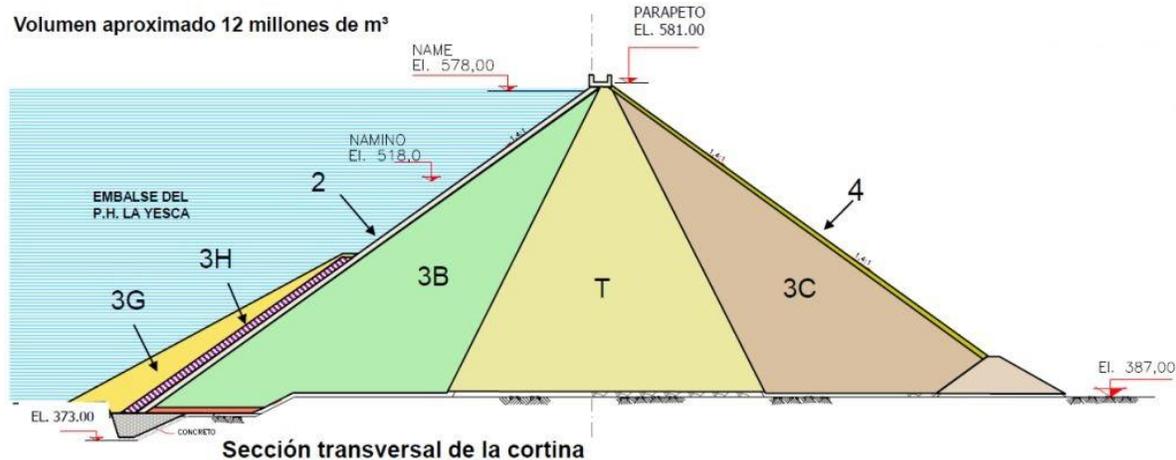


Figura 2.11 Materiales que conforman la cortina de ECC del P.H. La Yesca.

## Colocación de los materiales

### Bordillo Extruido

Se construye en el talud de aguas arriba y funciona como protección y proceso para la colocación del material 2. El material premezclado se transporta desde la planta dosificadora por medio de ollas revoladoras y se descarga en la tolva de una máquina extrusadora que coloca el material de acuerdo con la sección trapezoidal requerida. El proceso consiste en alinear la máquina sobre los datos marcados por la cuadrilla de topografía, quienes tienen un seguimiento permanente del alineamiento del equipo, para cumplir con el talud de proyecto y evitar espesores mayores a lo especificado en la etapa de construcción de la cara de concreto. La máquina extrusadora conforma la sección del borde y se empuja hacia una nueva sección, apoyándose en la recién terminada. Transcurrida una hora después de la colocación del bordillo, se procede a la colocación del material 2 que consiste en enrasar el material hasta el nivel superior del borde, sin embargo, dado el procedimiento de colocación por medio del pavimentador sobre orugas este tiempo de espera se puede acortar e iniciar en forma anticipada, posterior a la colocación se ejecuta la compactación dando el número de pasadas que se hayan determinado en el terraplén de pruebas. En forma cíclica una vez concluido el proceso de compactación de la capa, se coloca el bordillo superior, la secuencia es permanente hasta alcanzar la elevación 576 msnm. La mezcla de concreto para el bordillo extruido corresponde a una dosificación de grava y arena con una dotación

de entre 70 y 75 kg de cemento por m<sup>3</sup>. Como característica principal se requiere que dicha mezcla tenga un comportamiento estable una vez que se haya colocado la sección del bordillo, por lo que se requiere un revenimiento bajo, que puede oscilar entre 0 y 3 cm.

## **Material 2**

Este material se coloca como respaldo para la recepción de la cara de concreto, en capas no mayores a 40 cm de espesor, una vez tendido y antes de ser compactado. Para el proceso de tendido se contempla el uso de una esparcidora finisher o similar. El proceso de compactación se debe realizar mediante las pasadas necesarias de rodillo liso vibratorio de 119 kN de peso estático en el tambor hasta cumplir con la relación de vacíos identificada en el terraplén de pruebas.

## **Material 2F**

Este material es obtenido en la margen derecha y transportado en forma similar al material 2. Por la ubicación de este material dentro de la zonificación de la presa, se requiere un proceso manual-mecánico para la colocación y extendido del material. Estas actividades se efectúan por medio de retrocargador y se complementa la conformación del material manualmente. El material es pre homogenizado en el sitio de extracción por lo que se aplican riegos de mantenimiento para conservar la humedad óptima requerida durante la colocación. El proceso de compactación se realiza por medio de una placa vibratoria montada sobre retroexcavadora sobre orugas.

## **Material 3B**

Este material es el que marca el avance de la colocación para los materiales de respaldo de la cara de concreto, ubicados aguas arriba (2F y 2) de acuerdo con la zonificación de la presa. El material es suministrado desde margen derecha aguas arriba del proyecto, previamente triturado por medio de camiones fuera de carretera de 40 toneladas, los cuales llevan el material hasta la zona de colocación en la cortina. El material se envía a la zona de colocación de acuerdo con los requerimientos del programa de construcción, para las épocas en que los bancos de aluvión se encuentren inundados por el periodo de lluvias, se almacena previamente el material para cubrir la demanda de estos meses.

Posteriormente el proceso de tendido y compactación se realiza con tractor sobre orugas que tiende el material en el espesor de la capa especificado, no mayor de 60 cm, una vez tendido y antes de ser compactado. Al estar conformada la capa se inicia el proceso de compactación aplicando 6 pasadas con el rodillo liso vibratorio especificado con un peso en el tambor no menor de 119 kN.

## **Material T**

De acuerdo con la zonificación de la presa, este material es el que marca el avance de los materiales tanto de aguas arriba como para aguas abajo. Para su obtención se aprovecha al máximo la explotación de las estructuras del proyecto, por lo cual se suministra desde margen

izquierda, ya sea producto de las excavaciones y/o de la plataforma Juanepantla. Para la primera etapa constructiva el material es cargado por medio de cargador 990 series II o similar, sobre volteos pesados de 50 toneladas que lo transportan hasta la zona de colocación. Para el caso del material producto de la excavación de la plataforma Juanepantla es transportado al equipo de trituración primaria 44"x48", posteriormente se alimenta la banda transportadora que lo lleva hasta la cortina a una tolva de 1000 toneladas, la cual descarga sobre volteos pesados de 40 toneladas que lo transportan hasta el sitio de colocación, se descargan los camiones sobre la capa de avance y se inicia el proceso de tendido, en este momento, durante la descarga y tendido del material se efectúa la humectación agregando agua por medio de monitores y en proporción de 250 litros por m<sup>3</sup> de material colocado. El extendido del material se realiza con tractor sobre orugas D8R o similar de acuerdo con el espesor especificado no mayor de 80 cm, después de tendido y antes de ser compactado, posteriormente se inicia el proceso de compactación aplicando 6 pasadas con el rodillo liso vibratorio especificado con un peso estático en el tambor no menor de 119 kN. De acuerdo con el flujo del material T, existe un porte de material producto de las excavaciones de la margen derecha el cual se suministra desde el banco BD-2MD y se transporta en volteo pesado de 50 toneladas de capacidad.

### **Material F**

Por sus características granulométricas su producción será del procesamiento de aluvión y limo-arenoso. Se homogeniza en una planta de mezclado en el que se unen los componentes en las proporciones requeridas para lograr la curva granulométrica especificada, así mismo se adiciona el contenido de agua necesario para lograr el óptimo determinado en las pruebas de laboratorio. Este material se coloca en las zonas mostradas en los planos de las bases de licitación, por su ubicación requerirá de un proceso de colocación más cuidadoso que consistirá en procesos combinados mecánicos y manuales, se extenderá con tractor sobre orugas en el espesor de capa especificado máximo de 50 cm después de tendido y antes de ser compactado con cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio de 119 kN de peso estático en el tambor.

### **Material 3C**

Este material se localiza aguas abajo del eje de la cortina. Para su obtención se aprovecha al máximo las excavaciones de las estructuras del proyecto, por lo cual se suministra desde margen izquierda, ya sea producto de las excavaciones y/o de la plataforma Juanepantla. Para la primera etapa constructiva el material es cargado por medio de cargador 990 series II o similar, sobre volteos pesados de 50 toneladas que lo transportan hasta la zona de colocación. Para el caso del material producto de la excavación de la plataforma Juanepantla es transportado al equipo de trituración primaria 44"x48", posteriormente se alimenta la banda transportadora que lo lleva hasta la cortina a una tolva de 1000 toneladas, la cual descarga sobre volteos pesados de 40 toneladas que lo transportan hasta el sitio de colocación, se descargan los camiones sobre la capa de avance y se inicia el proceso de tendido, en este momento, durante la descarga y tendido del material se efectúa la humectación agregando agua por medio de monitores y en proporción de

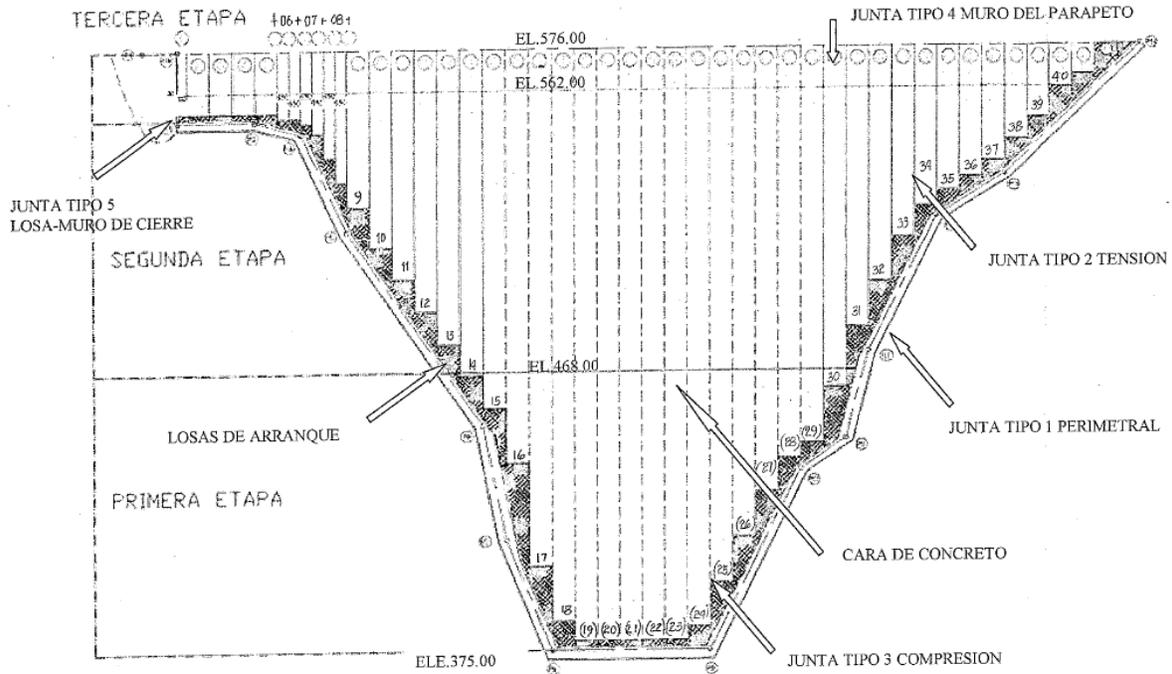
250 litros por m<sup>3</sup> de material colocado. El extendido del material se realiza con tractor sobre orugas D8R o similar de acuerdo con el espesor especificado no mayor de 100 cm, después de tendido y antes de ser compactado, posteriormente se inicia el proceso de compactación aplicando 6 pasadas con el rodillo liso vibratorio especificado con un peso estático en el tambor no menor de 119 kN. De acuerdo con el flujo del material T, existe un porte de material producto de las excavaciones de la margen derecha el cual se suministra desde el banco BD-2MD y se transporta en volteo pesado de 50 toneladas de capacidad.

## **Material 4**

Se coloca en el talud aguas debajo de la cortina, el proceso para la obtención carga y transporte del material 4 se efectúa en volteos pesados de 50 toneladas de capacidad de carga. Para su colocación se descarga en la zona de utilización y se coloca con tractor sobre orugas D8R y/o retroexcavadora sobre orugas que acomoda y acuña los bloques mayores a 1 m de forma tal que la cara de mayor dimensión quede en la parte inferior, conservando la inclinación y alineamiento del talud especificado.

### **II.4 Procedimiento constructivo de la cara de concreto**

La construcción de la cara de concreto está dividida en tres etapas, estando la primera etapa comprendida de la elevación 377.71 a 468.00 en donde se compondrá de 17 losas de arranque y 16 losas deslizadas, cada una con una longitud variable, siendo la máxima de 152 m y un espesor promedio de 0.765 m; la segunda etapa de la elevación 468.00 a 562.00 está conformada de 19 losas de arranque, 35 losas deslizadas y 7 losas de arranque de 6.50 m de ancho con una longitud máxima de 161.72 m y un espesor promedio de 0.485 m; la última etapa va de la elevación 562.00 a 576.00 y está compuesta de 2 losas de arranque y 41 losas deslizadas con una longitud máxima de 24 m y un espesor promedio de 0.32 m. La primera etapa el proceso se llevará a cabo con tres cimbras deslizantes, mientras que en las últimas dos se hará con cuatro, teniendo un ancho constante en las tres etapas de 13 m.



*Figura 2.12 Etapas de construcción de la cara de concreto*

### **Acero de Refuerzo**

Para la construcción de la cara de concreto se debe habilitar la cara aguas arriba para poder colocar el acero de refuerzo. Durante la construcción del bordillo se van colocando anclas de soporte de parrillas, las cuales tienen la finalidad de evitar que el armado se cuelgue, así como ser un apoyo en los atados de varilla que se van realizando a lo largo de las losas. El método normal de fijación consiste en utilizar alambre de amarre número 16 o 18. Estas anclas son varillas de 19 mm (3/4") y se colocan en forma de cuadrícula de 1.3 x 1.3 m.

Los armados de las parrillas se van realizando intercaladamente hasta llegar a la altura de término de cada etapa. Las parrillas están conformadas por 2 superficies (inferior y superior) de armados paralelos entre sí, separados una distancia que varía según la altura. Las características del acero y de las separaciones de los armados están plasmadas en los planos BPE (Buenos para ejecución) de cada losa en cada etapa.

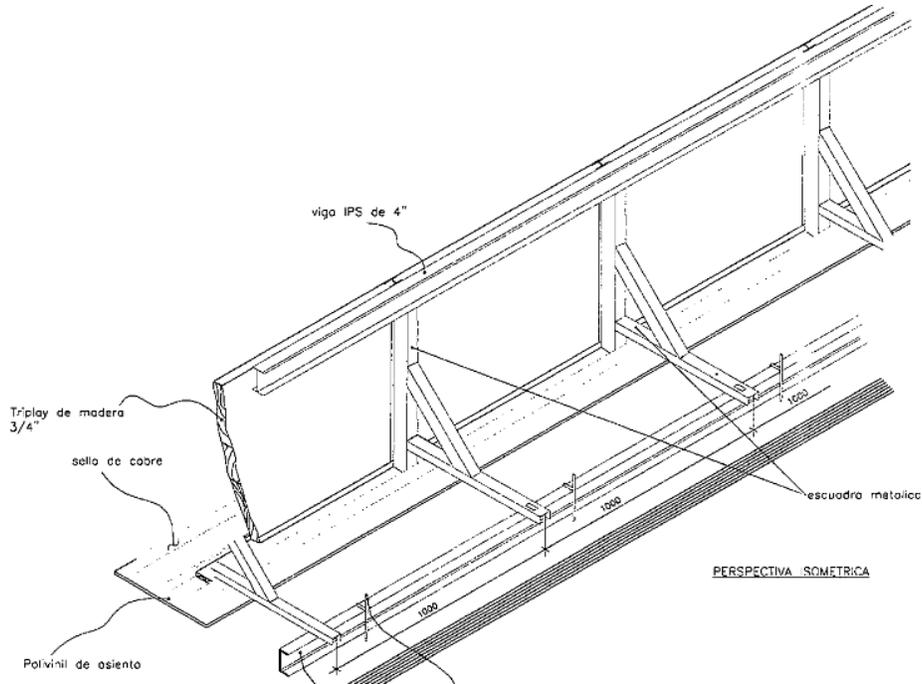


Figura 2.13 Colocación de parrillas de acero de refuerzo

### **Cimbras y colocación de concreto**

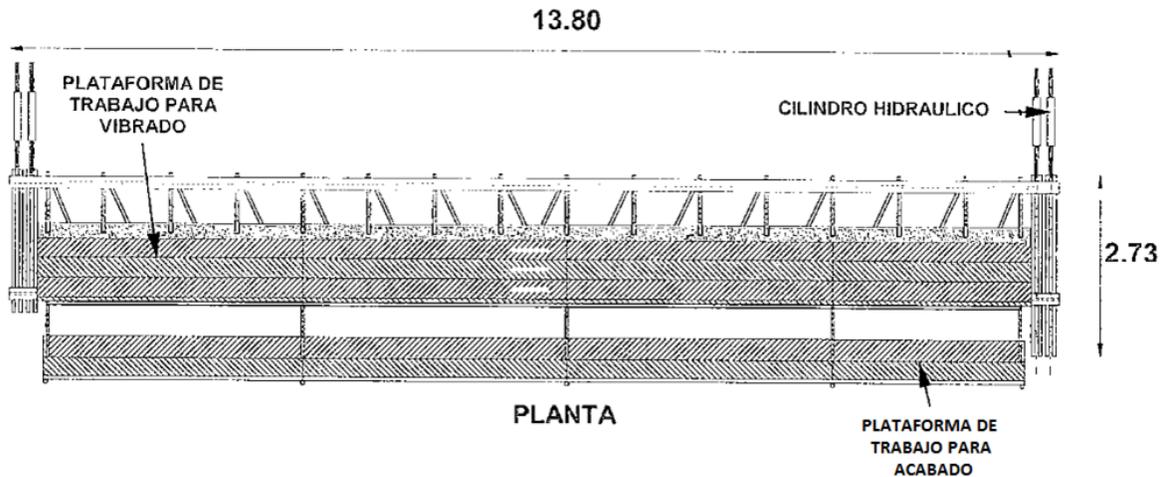
Se debe de tener como primer paso las losas de arranque, ya que en estas se apoyará la cimbra deslizante. Para la construcción de losas de arranque es utilizada contra-cimbra de madera, además de cimbra fija de madera en los laterales, la contra-cimbra es retirada al momento de ir efectuando el colado.

En la construcción de la cara de concreto se considera 2 grandes etapas y una de cierre final, usando para su colocación tres cimbras deslizantes equipadas con un sistema de deslizamiento independiente de cada una. En los costados se coloca cimbras laterales, acompañadas de escuadras metálicas donde se apoyarán las vigas IPS de 10 cm por donde se guiará la cimbra deslizante. Las cimbras laterales, como en el plinto, son de madera y tienen un diseño especial para instalar las juntas de cobre de tensión y de compresión sin causar daños al bulbo del sello. Las escuadras metálicas estarán instaladas a cada metro a lo largo del talud donde se colocarán los paneles de madera y la viga IPS, garantizando soportar el peso total de la cimbra deslizante. La viga IPS sirve de guía para la cimbra deslizante y de tirante para sujetar los elementos de la misma cimbra como la caja de castañas que aseguran el avance del sistema. La viga está anclada en la parte superior por una estructura soportada por 4 bloques de concreto con un peso total de 8 toneladas.

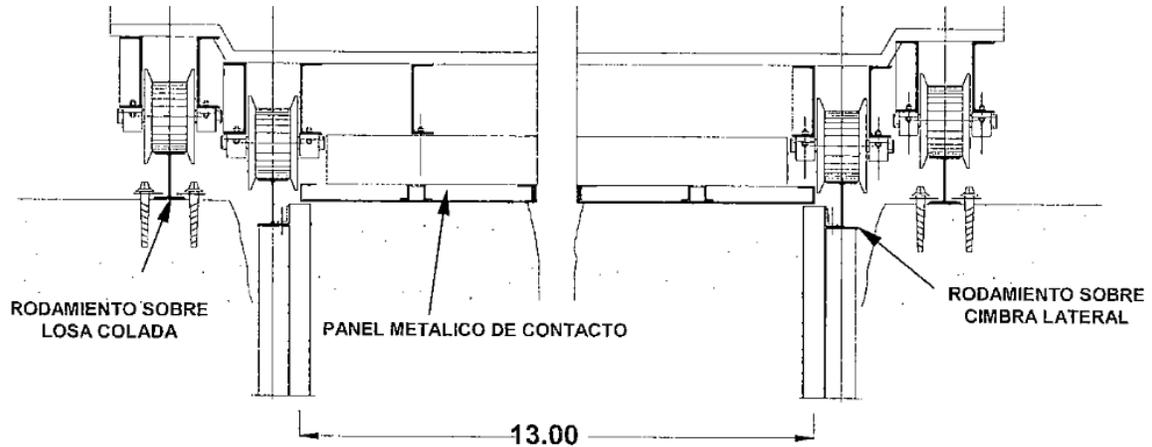


*Figura 2.14 Arreglo general de la cimbra lateral*

La cimbra deslizante es una estructura compuesta por dos vigas I de 51 x 18 cm, con un peso de 136 kg/m, una superficie de contacto de lámina calibre 12 de 13.00 m de ancho por 1.14 m de longitud, un reticulado estructural para soporte de la superficie de contacto y dos plataformas de trabajo, una para la colocación de concreto y la otra para el acabado de la losa. La cimbra cuenta con 2 ruedas de cada lado fijadas a las vigas I, cuenta con una unidad de comando con dos gatos hidráulicos de doble acción con capacidad de 50 ton de empuje y 30 ton de arrastre, caja de castaña que permite el movimiento en un solo sentido evitando que la cimbra retroceda cuando los gatos hidráulicos están en movimiento.

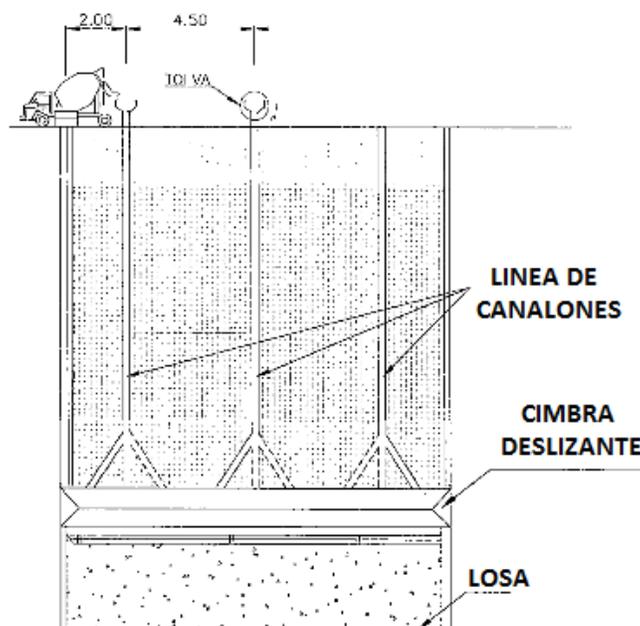


*Figura 2.15 Detalles de cimbra deslizante*



*Figura 2.16 Vista Frontal de cimbra deslizante*

La colocación del concreto es efectuada por gravedad utilizando tres líneas de canalones con descargas directas a la cimbra, estas estructuras estarán apoyadas sobre las parrillas de acero apoyadas en madera para evitar desnivelar el acero de refuerzo, llegando a la cimbra deslizante se coloca un difusor para garantizar una correcta distribución del concreto. Los canalones son de lámina lisa con fondo curvo con la capacidad necesaria para evitar que se derrame el concreto. Se controla el flujo del concreto en el extremo superior del canalón para evitar la segregación, se cubre para evitar la evaporación y la pérdida de revenimiento por las altas temperaturas. La colocación del concreto es en descarga libre con una altura no mayor a 1.20 m con el fin de evitar segregaciones, el acabado final es efectuado manualmente por albañiles utilizando llanas de madera, apoyados en la plataforma de acabado en la cimbra deslizante.



*Figura 2.17 Distribución de concreto mediante el uso de canalones*

Los curados en la cara de concreto se efectúan aplicando una membrana color blanco, agua y yute, según sea necesario siendo generalmente entre 1 y 3 horas después de haber colocado el concreto y ya esté endurecido para colocar la membrana.

## II.5 Procedimiento constructivo del parapeto

El parapeto consiste en dos muros, uno aguas arriba y otro aguas abajo, que corren paralelos a la corona de la cortina, estando ubicados verticalmente entre las elevaciones 576.13 a 580.50 en los extremos y en el centro entre la elevación 576.13 a 581.50, teniendo una longitud aproximada de 579.10 m con un espesor de 50 cm. Para la ejecución de las obras del parapeto es necesario tener terminado por lo menos el 50% de las losas de cierre de la cara aguas arriba, correspondiente a la elevación 576 m.

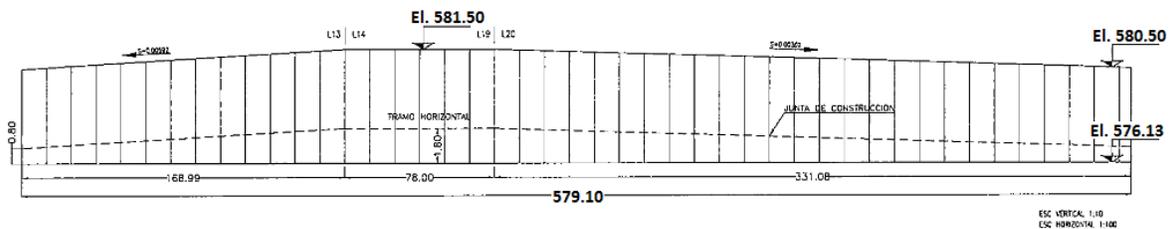
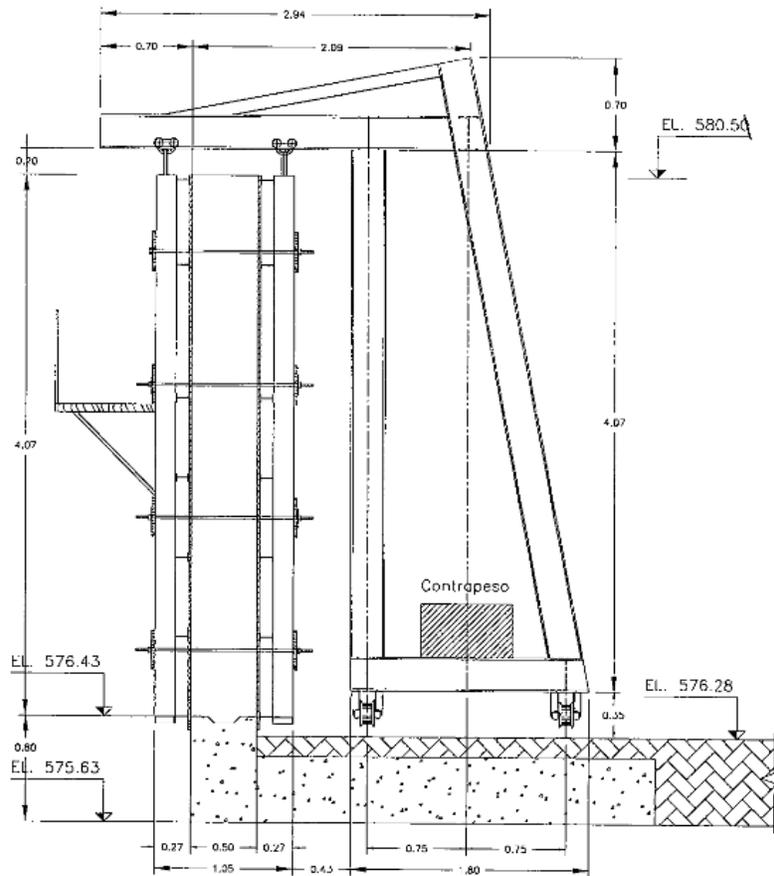


Figura 2.18 Detalle de contraflecha en el parapeto.

## Cimbras y colocación de concreto

Como primer paso se debe construir los arranques de muro que incluyen la zapata, teniendo una altura variable de un metro en el centro hasta llegar a los 30 cm en los extremos. Para el colado de los muros se utiliza una cimbra colapsable autoportante monolítica en toda su altura y longitud compuesta a base de un forro, bastidores, montenes y shebolts para la conformación de muros, así como caballetes sobre bastidor móvil para el cimbrado y descimbrado.



*Figura 2.19 Detalle de cimbra para parapeto*

El elemento inferior estructural de la cimbra es un componente que sirve como apoyo del propio panel, así como de la conexión estructural tanto para los atizadores verticales como de los puntos de anclaje. La estructura metálica, compuesto de cuatro columnas contra-venteadas en todos sus planos sobre el cual se apoyan las armaduras de carga que soportan los moldes, permite dar movimiento longitudinal y de desmolde de los elementos. Para sujetar y dar los anchos de los muros se utilizan shebolts, lo cual permite dar una buena rigidez y dar la geometría precisa.

El diseño de mezcla utilizado para el colado de los muros es de  $14 \pm 2$  de revenimiento y con agregado máximo de  $1 \frac{1}{2}$ ". La descarga del concreto es en caída libre con altura no mayor a 1.20 m para evitar segregaciones por lo que se usarán embudos y mangueras, siendo la distancia entre cada caída no mayor de 3.00 m para evitar el acarreo de concreto. La distribución se hace por capas horizontales de entre 30 y 40 cm de espesor usando vibradores de inmersión de alta frecuencia. El curado de los muros es realizado inmediatamente después de retirar los moldes.

La losa de rodadura se realizará una vez que se haya finalizado una sección suficiente de muros aguas arriba y aguas abajo, así como que se haya realizado el relleno de material indicado en la zonificación de materiales de la cortina hasta el nivel de desplante necesario.

## II.6 Procedimiento constructivo de Juntas

Como se mencionó en el capítulo anterior, en el P.H. La Yesca se podrá encontrar diferentes tipos de juntas, como lo son la junta perimetral que une al plinto con las losas de arranque; la junta de compresión que se encuentra en la losa de concreto central; la junta de tensión ubicada en la losa de concreto en las secciones exteriores y la junta de la losa con el parapeto.

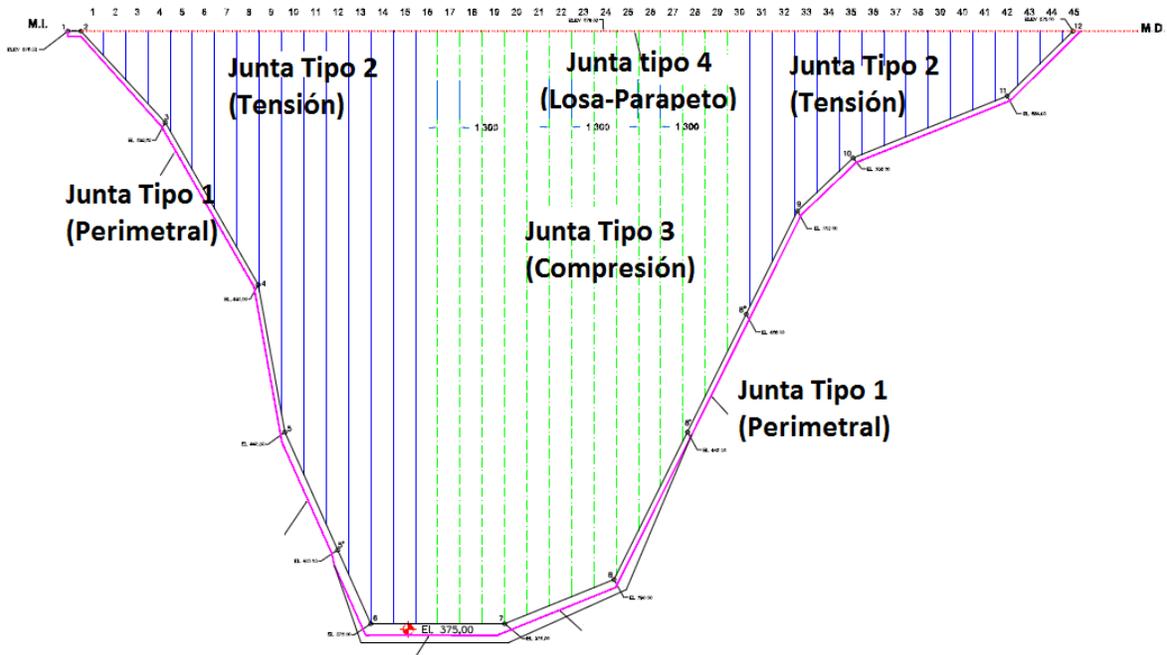


Figura 2.20 Distribución de juntas en cara de concreto

### Junta perimetral

La realización de las juntas en las losas de arranque y perimetral se lleva a cabo mediante la colocación de láminas de cobre previamente rolando en tramos cortos en el taller, con longitud promedio de 20 m, debido a que los colados de la losa de arranque se realizan en colados cortos, contrastando con la cara de concreto en donde se rolan tramos con longitudes mayores según sea necesario. Todas las uniones serán de tipo traslape, y se hacen por medio de mecanismos como prensas y aplicando soldadura de plata y fúndele. El rolando proporcionará la geometría deseada en la lámina, para lo cual habrá equipos situados en el sitio y en el taller de habilitados de sellos. Una vez realizado el rolando se seguirá a conformar los aleros, perforar patines y se doblará el alero que queda embebido en la losa de arranque con el plinto.

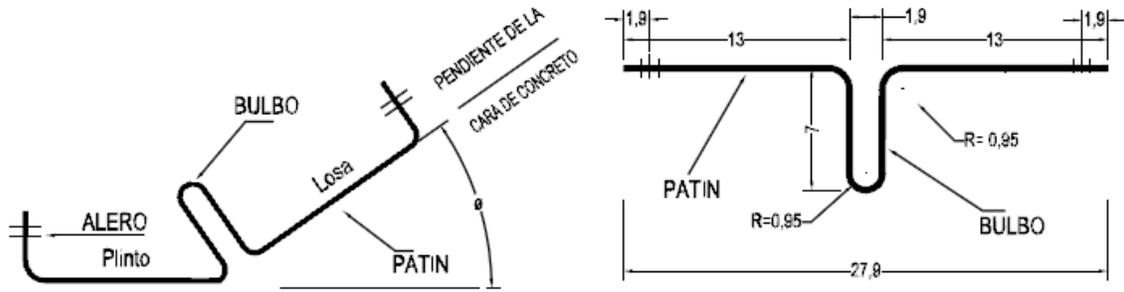


Figura 2.21 Sello de cobre inferior y superior.

El sello inferior está conformado por un bulbo y dos patines perforados, colocado sobre una plantilla de mortero uniforme de 5 cm de espesor y 70 cm de ancho.

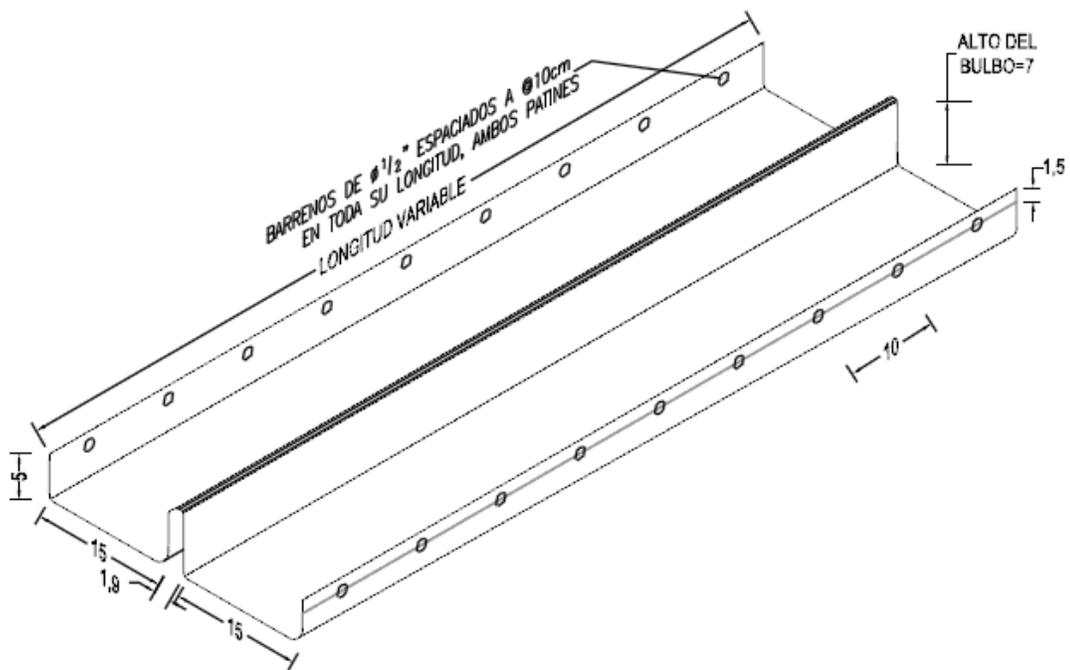


Figura 2.22 Perforación de los patines.



Figura 2.23 Elaboración de la plantilla de mortero.

Encima de la plantilla de mortero se coloca una banda de polivinilo con acabado liso para que absorba las irregularidades de la plantilla y con esto no sufra ningún efecto de punzonamiento. El sello superior tiene la diferencia que es menos ancho, no tiene patines y en la parte superior se coloca un contenedor de ceniza.

El detalle de la junta perimetral es el siguiente:

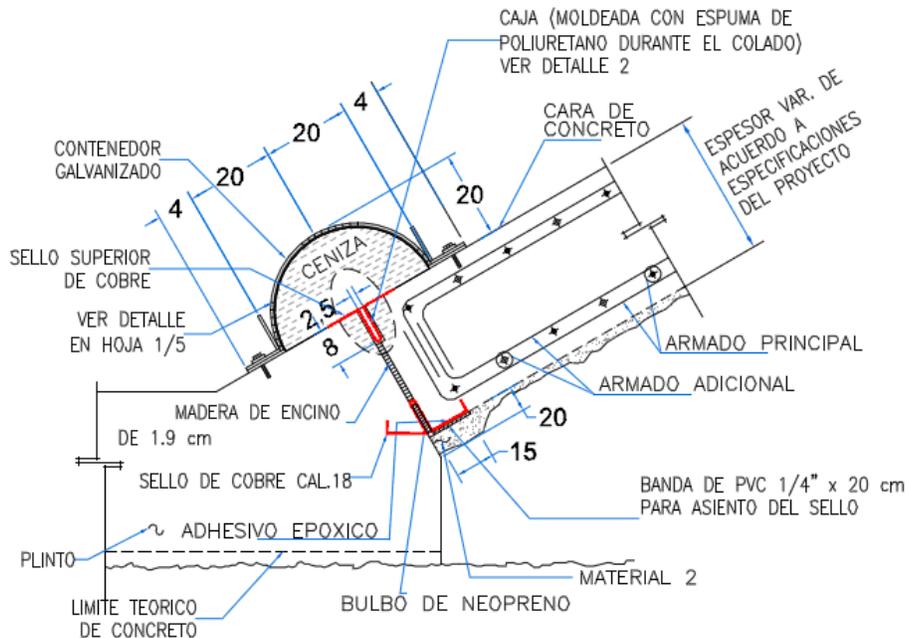


Figura 2.24 Detalle de la junta perimetral (Tipo 1)

### Juntas de tensión y compresión

Ambas juntas están compuestas por la misma configuración en el sello inferior, pero donde se distinguen es en la parte media y superior de su composición. Los sellos de cobre usados en esta etapa son colocados y rolados de la misma forma como se realizaron en el plinto y losas de arranque, descritos anteriormente.

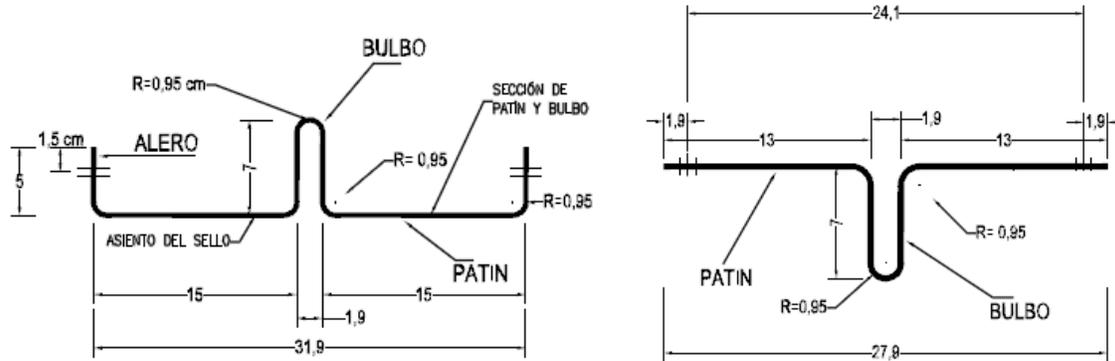


Figura 2.25 Sello de cobre inferior y superior.

La junta de tensión se encuentra conformada por un sello inferior y un sello superior, a diferencia de la junta de compresión en donde se puede observar una capa de hule sin ningún sello superior, con la finalidad de absorber los movimientos de apertura. El sello superior está compuesto por el sello de cobre y por el contenedor de ceniza.

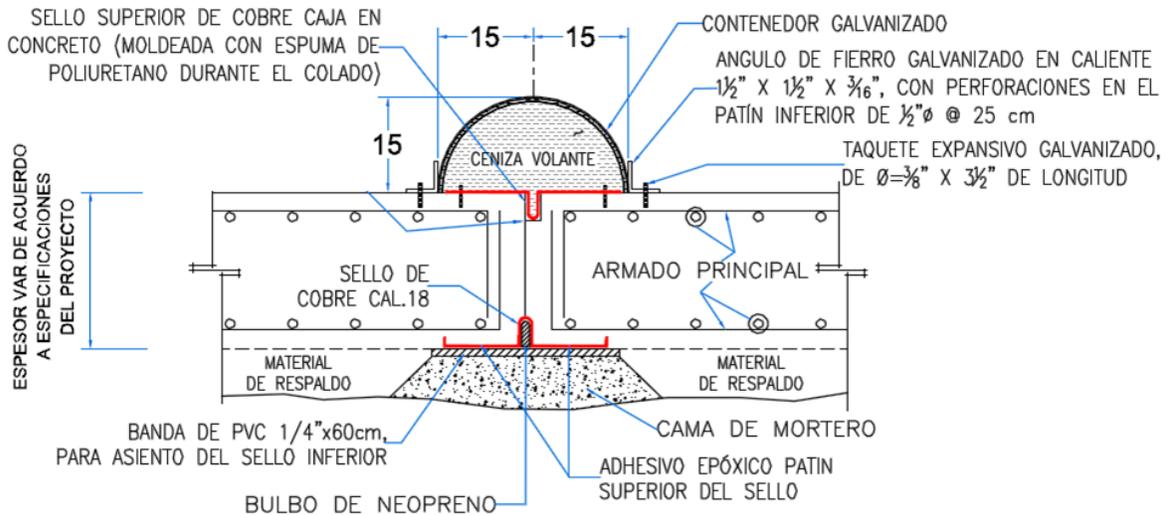
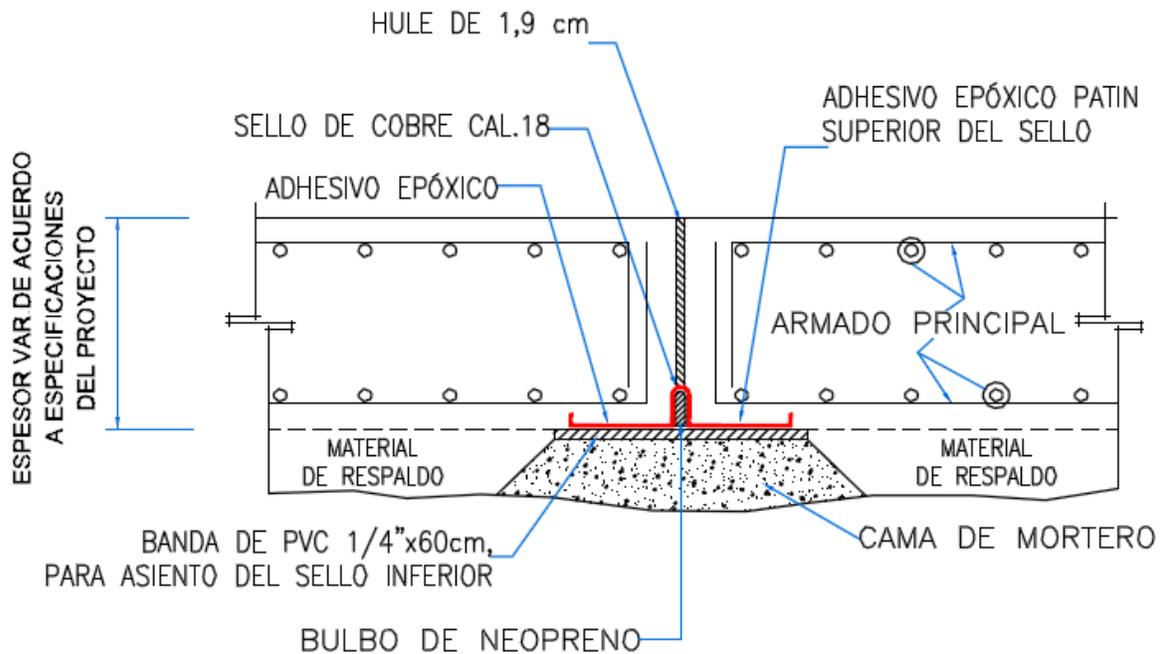


Figura 2.26 Detalle de la junta de tensión (Tipo 2).

Para la junta de compresión se observa que a lo largo de ella se ubica una capa de hule, el cual tiene la finalidad de absorber el movimiento de compresión que tendrán las losas, por lo que no es necesario colocar ningún tipo de sello en la parte superior debido a que el propio movimiento de la cara de concreto irá cerrando los espacios evitando la filtración.



*Figura 2.27 Detalle de Junta de compresión (Tipo 3).*

### Junta Losa-Parapeto

Al igual que en la cara de concreto, las láminas de cobre son roladas en tramos cortos de 4.00 m de longitud, según sea requerida y los traslapes se llevarán a cabo con la misma mecánica llevada en la cara. Terminado el rolado se conforman los aleros y se perforan los patines. El sello vertical está compuesto por un bulbo y dos patines con orificios, este sello es colocado en cimbra fija empotrada a los moldes de la cimbra del parapeto y soldado al patín de la junta horizontal tipo 4.

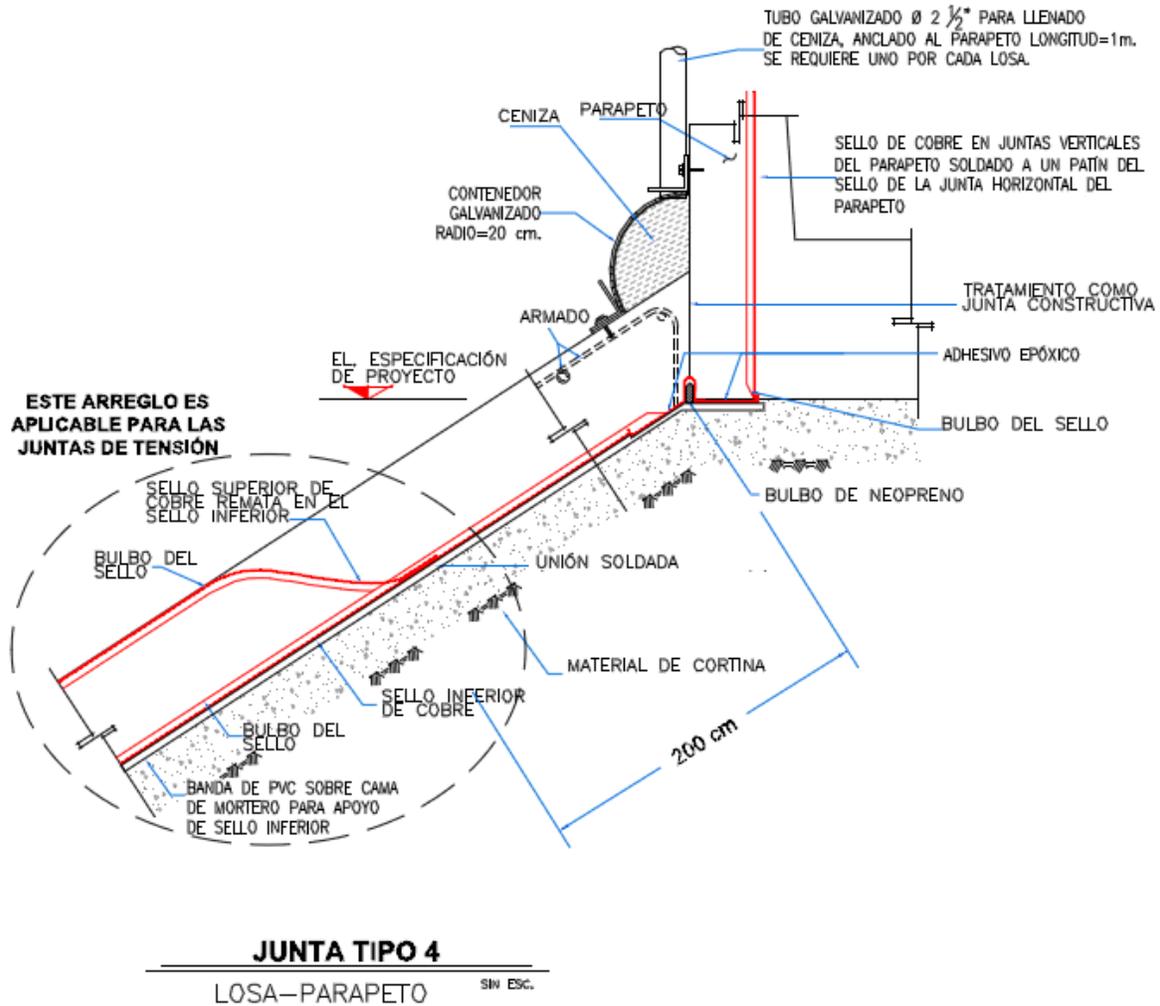


Figura 2.28 Detalle de la junta de parapeto (Tipo 4).

En el caso de las juntas de tensión se tiene una diferencia en el arreglo de las láminas de cobre, teniendo que realizar un diseño distinto que consiste en la unión mediante soldadura de los sellos de cobre superior con el inferior para dar continuidad a la junta de la losa de concreto con el parapeto (véase la figura 2.28).

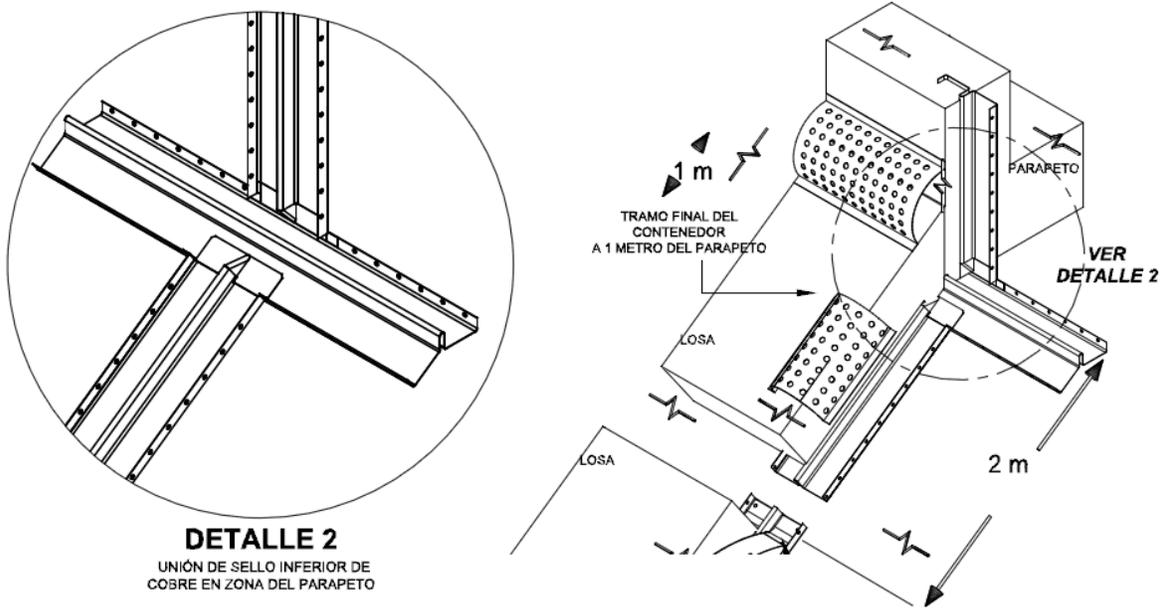


Figura 2.29 Detalle de unión entre juntas

### Contenedores de ceniza

El contenedor se coloca una vez terminado los colados en la cara de concreto, son de forma semicircular con aleros rectos, fabricado en lámina galvanizada caliente calibre 18 y 20, con perforaciones de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro, distanciados a 9 mm, perforaciones en el patín de  $\frac{1}{2}$ " a cada 25 son sujetados con ángulos. Estos ángulos metálicos galvanizados ASTM A-36 son fijados por medio de taquetes expansivos. En el interior de los contenedores es colocado un geotextil no tejido de polipropileno estabilizado adherida mediante pegamento a la lámina galvanizada calibre 20.

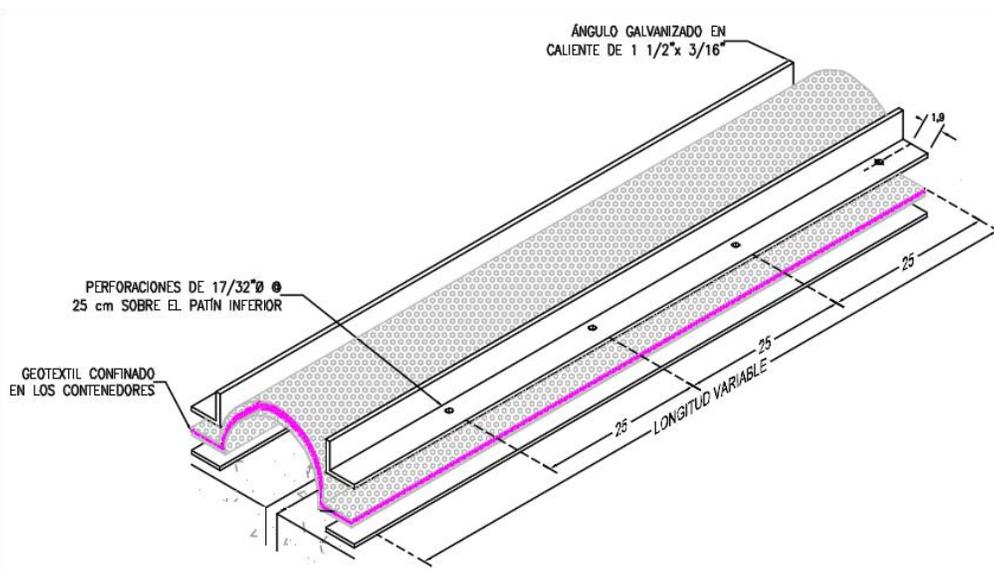
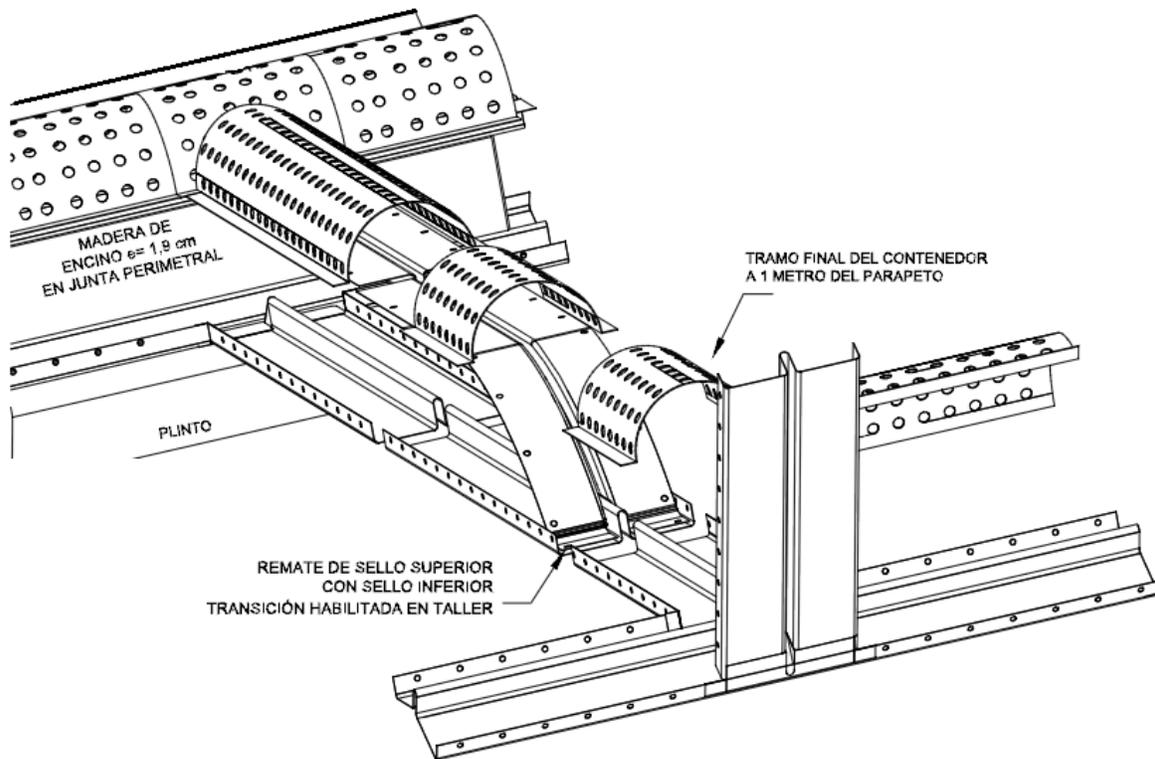


Figura 2.30 Detalle de contenedor de ceniza.

Para el caso de las transiciones de contenedor entre junta vertical y junta perimetral es necesaria la instalación de piezas especiales llamadas tees. Otro caso de transición son los cambios de sección entre el contenedor de radio 20 cm y el contenedor de radio 15 cm



*Figura 2.31 Composición del contenedor de ceniza.*

Una vez finalizado su ensamblaje se llenará mediante gravedad, mezclando la ceniza con agua hasta que tenga la consistencia totalmente fluida para posteriormente desalojar el agua por medio de la membrana de geotextil. La mezcla es conducida por medio de una manguera con diámetro de 1 ½" introduciéndola en la sección a rellenar y retirándola conforme el contenedor se va llenando, siendo la longitud promedio para el llenado de 50 m.