

Antecedentes

El objetivo general de este documento es presentar, de manera breve, un estado del conocimiento sobre los criterios de diseño de las presas de ECC.

Para ello se explican, en primer lugar, las ventajas de estas presas sobre cortinas de otros tipos. Posteriormente, uno por uno se describen los criterios de diseño del plinto, terraplén, cara de concreto y parapeto. Las prácticas e innovaciones que se presentan en este trabajo han sido producto de la investigación y análisis de la información técnica al respecto, en la literatura que ha surgido a partir de la construcción de proyectos alrededor del mundo, como las más recientes presas construidas en Brasil, China, Australia y México.

Introducción

Las presas de enrocamiento con cara de concreto tienen un diseño esencialmente empírico. Concebidas por los mineros de California en la “fiebre del oro” de 1849 – 70, consistían de un terraplén de enrocamiento lanzado y un tablero de madera como cara impermeable. Con la evolución de presas más altas y definitivas, el concreto reemplazó la madera. En los años 60's, el enrocamiento compactado reemplazó el lanzado, su módulo de deformación sencillamente mayor permitiendo desarrollar presas de grandes alturas en el

rango de 150 a 200m o aún más altas. La presa de Shuibuyá, en construcción en China, alcanzará la altura de 233m.

El concepto de la presa es próximo al ideal: una estructura altamente resistente de enrocamiento (o grava), naturalmente drenada, y la membrana impermeable tan aguas arriba cuanto sea posible. La resultante de la fuerza de presión del agua cae en el tercio de aguas arriba de la cortina.

No hay problemas de estabilidad. La cuestión mayor de diseño es la compatibilidad losa de concreto – enrocamiento. El diseño moderno procura limitar y disciplinar la deformación del enrocamiento resultante de la acción del embalse y definir los detalles de las juntas de la losa para garantizar esta compatibilidad.

Esta presentación trata de algunos temas seleccionados relativos a tendencias recientes de diseño.

Una de las principales características de las presas de enrocamiento con cara de concreto (ECC) es su diseño empírico, es decir, basado en mayor medida en experiencias prácticas que en aspectos teóricos. Los datos de presas precedentes y las condiciones del sitio para los nuevos proyectos son la base para el diseño de las presas de este tipo.

La evolución de los criterios de diseño se ha basado en esta experiencia y en la comprobación sistemática de soluciones en diferentes obras.

Ventajas de las presas de ECC

Por lo general, en los sitios donde es factible la construcción de una presa de tierra con corazón impermeable, también es posible proyectar una de ECC (James L. Sherard y J. Barry Cooke, 1987). Sin embargo, una cortina de ECC presenta varias ventajas sobre la primera, desde el punto de vista técnico, económico y confiable.

Entre los aspectos económicos más importantes, que hacen mejores a estas presas ante presas de otro tipo, están los siguientes:

1. El costo de la cara de concreto resulta más económico que la construcción de una base de tierra, filtros y los tratamientos de la cimentación que requieren las presas de tierra.
2. Los riesgos de un retraso en la construcción son considerablemente bajos y los programas de construcción se reducen y aceleran considerablemente debido a:
 - La posibilidad de realizar la construcción del plinto y los trabajos de inyección independientemente de la construcción del terraplén.
 - La versatilidad de climas en los que se pueden construir, ya que no requieren de un periodo de sequía para su construcción. La lluvia no interfiere con los

trabajos de colocación de material ni con la construcción de la cara de concreto.

- La construcción de la cara de concreto en etapas.
 - La manera de colocar el material (por medio de terraplenes), resulta en una mayor libertad para construir, ya que se cuenta con mejores caminos de acceso y tránsito en toda el área, gracias a las rampas y taludes internos que se forman y la característica fundamental de una superficie lisa, después de haberse colocado y compactado el material.
3. La base del terraplén no es tan ancha, ya que la inclinación de los taludes se puede proyectar más vertical. Esto permite la construcción de túneles, conductos y caminos de acceso más cortos.
 4. El hecho de que la zona de enrocamiento es sólida contra el flujo de agua, favorece la economía de la obra de contención, al poder disminuir el espesor del concreto y el porcentaje de acero en la losa, aún cuando la presa sea más alta.
 5. La construcción del parapeto reduce el volumen del enrocamiento, acorta la colocación de la cara de concreto, y a su vez, agiliza los trabajos al resultar una corona más ancha para las maniobras durante su construcción.

Sherard y Cooke (1987) señalan que, aunque las presas de ECC son adecuadas para proyectos de grandes alturas, también resultan económicamente factibles

para proyectos pequeños (40 m o menos), siempre y cuando la cresta tenga una longitud considerable en relación a la altura. Esto se explica por lo siguiente:

- El costo de los tratamientos de cimentación, para una presa de tierra, tratándose de una gran longitud, constituye el mayor porcentaje del costo total; mientras que el espesor que requiere la pantalla impermeable de una presa de ECC es mucho menor.
- El costo de los filtros en una presa larga y pequeña es relativamente alto, ya que constituyen un gran porcentaje del volumen total del material.

En lo que respecta a la seguridad, la ICOLD (2000) menciona algunas características inherentes de las presas de ECC:

1. El enrocamiento zonificado hace a la estructura estable contra el flujo de agua. Esto representa una diferencia básica frente a los flujos que se presentan en presas de tierra: en las presas ECC el agua que emerge, en la base aguas abajo, viaja a través de aberturas en la losa de concreto o a través de la roca; en los dos casos, no hay suelo en la presa que pueda erosionarse y provocar su falla; mientras que en una presa de tierra las filtraciones que ocurran sí representan el colapso de la estructura.
2. Toda la zona de enrocamiento está aguas abajo del embalse; por lo que tiene un grado de estabilidad muy alto debido a que la carga del agua, en la cara de concreto, comienza en la cimentación, aguas arriba del eje de la

presa, y el peso de la estructura se encuentra aguas abajo del plano de aplicación de la presión del agua.

3. No existe subpresión ni presión de poro.
4. Hay una gran confiabilidad contra la fuerza cortante y de compresión en el enrocamiento. La resistencia al esfuerzo cortante en este tipo de presas se ha demostrado con la inclinación que llegan a tener sus taludes o mediante ensayos triaxiales del material. En cuanto a los módulos de compresibilidad, éstos resultan de 5 a 8 veces mayores que los que se obtienen en la zona más baja de las presas de enrocamiento sin compactar.
5. La estabilidad de los taludes también conlleva que los análisis estáticos (a menudo llamados análisis del límite de equilibrio) no sean aplicables, salvo contadas ocasiones cuando la presa es construida en lugares que cuentan con rocas con puntos desfavorables o planos débiles.
6. Tienen una conservación fundamental ante los sismos, por lo que pueden proyectarse, tanto en regiones con alta como con baja sismicidad. Gracias a la compactación del enrocamiento en pequeñas capas, cuando todo el terraplén de la presa se encuentra seco, los movimientos telúricos no pueden causar presiones de poro en los vacíos del enrocamiento. Las rocas de que está hecha la estructura no permiten que se magnifiquen las fuerzas de aceleración. Los sismos sólo pueden causar pequeñas deformaciones

durante el corto periodo que duran los movimientos. Después del sismo la presa es tan estable como antes. En terremotos muy fuertes la losa de concreto puede ser fracturada, incrementando los flujos de agua a través de ella. Estas fracturas y flujos de agua no amenazan la seguridad de la presa porque, como se explicó anteriormente, el agua que pasa a través de las grietas o las zonas de pequeñas rocas debajo de la losa de concreto, puede fácilmente continuar su camino a través de todo el terraplén de enrocamiento, sin que esto ponga en riesgo la seguridad de la presa.

7. Tienen una gran capacidad para contener los sedimentos debido a sus grandes vasos de almacenamiento.
8. Los asentamientos de la corona son pequeños y disminuyen con el tiempo.

En el simposio de Beijing (ICOLD, 2000) Cooke concluyó que:

“La presa de ECC resulta apropiada en el futuro de las presas de gran altura. Se puede predecir un desempeño adecuado para una presa de ECC de 300 m de altura de casi todos los tipos de roca, basado en la extrapolación razonable de mediciones de las presas existentes”.

Criterios de diseño del plinto

El plinto es el elemento impermeable fundamental entre la cara de concreto y la roca. Se desplanta sobre roca sana y poco permeable. Sirve de apoyo para

la losa principal y de base para la construcción de un plano de estanqueidad formado por inyecciones.

En el diseño de la cortina de ECC, este elemento recibe siempre una atención especial; pues de él depende, en gran medida, el buen funcionamiento de la losa de concreto. El contacto losa-plinto debe cumplir con dos requisitos simultáneamente: la impermeabilidad y la flexibilidad.

Los criterios de diseño del plinto se enfocan en tres aspectos: La cimentación, la geometría y la estabilidad de la estructura.

A continuación se describen los diferentes casos de cimentación que pueden presentarse:

a) Roca sana con irregularidades en su calidad y arreglo: En este caso puede ser necesario efectuar análisis de estabilidad y colocar soportes o tensores de acero cuando la sobrecarga ocasiona el desplazamiento de la estructura. Una práctica común es efectuar la excavación del plinto cerca de una línea teórica y entonces colocar el anclaje, de manera que toda la losa puede construirse monolíticamente. También es recomendable colocar concreto dental sobre la roca de cimentación, obteniendo con ello una superficie plana que facilita la perforación para el anclaje y la colocación del acero de refuerzo.

b) Roca erosionada: En este caso la excavación debe disminuir lo más posible la cantidad de explosivo y utilizar métodos de excavación que no dañen más el material.

c) Aluvión: La experiencia de presas con cara de asfalto, desplantadas sobre aluvión, ha sido extrapolada a las presas de ECC; el plinto "articulado" es colocado sobre el aluvión compactado, añadiendo filtros y conectándolo a un muro construido en trincheras, cuya excavación es estabilizada mediante bentonita bombeada, la cual se reemplaza después por concreto. Se debe ajustar el plinto lo más posible a las condiciones naturales.

La geometría del plinto debe ser definida de acuerdo a las condiciones topográficas del lugar y sus accesos. A continuación se muestra el diseño típico del plinto para el caso en el que se desplanta sobre roca sana e inyectable:

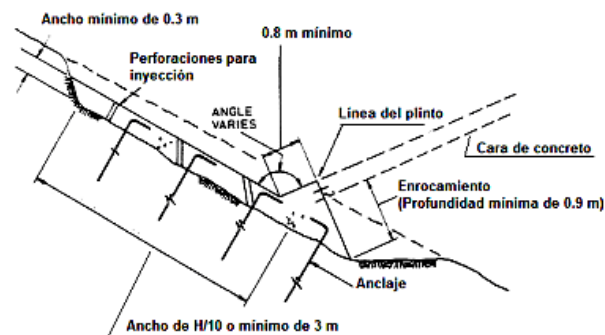


Figura 1.- Diseño del plinto de la presa Pienman.

Cuando la excavación no implica mucha sobrecarga, la forma geométrica es como la que se muestra en la Figura 2.

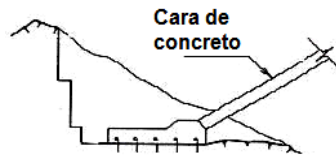


Figura 2.- Plinto convencional (Foz do Areia)

En algunos lugares, donde los estribos son muy inclinados o con pendientes moderadas, la forma geométrica del plinto se puede ajustar a la roca sana expuesta. Este es el caso de la presa de Machadinho, en Brasil (Figura 3).

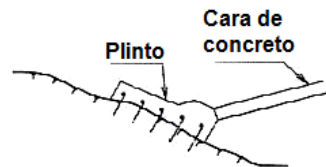


Figura 3.- Plinto inclinado (Machadinho)

En las presas recientes (Marengo, 2005), donde la excavación del plinto resulta más ancha de lo esperado, debido a las dimensiones de la losa, se ha adoptado el criterio de un plinto exterior de ancho constante con una losa o

plinto interno (Figura 4) para garantizar el gradiente específico. Este tipo de plinto fue construido en Itá, Brasil.

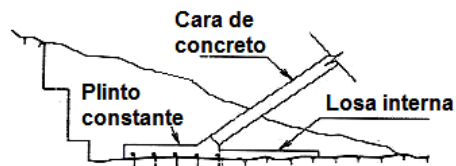


Figura 4.- Plinto interno (Ita-Itapebi)

Los plintos articulados se utilizan sobre depósitos aluviales. Se conectan a una pared en el extremo aguas arriba, como se muestra en la Figura 5. Esta barrera, en el lecho de roca, funciona como sello y corta parcialmente la permeabilidad del aluvión.

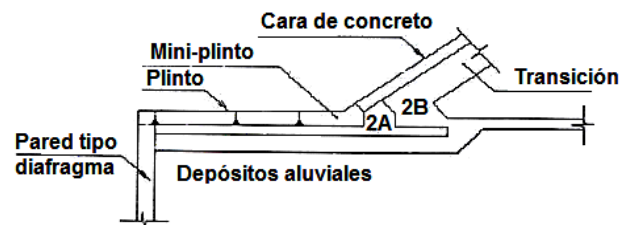


Figura 5.- Plinto articulado (Santa Juana-Puclaro)

El diseño del plinto debe asegurar la impermeabilidad ante las cargas hidrostáticas u otras cargas pertinentes; así como la flexibilidad de la losa para que ésta pueda moverse en las tres direcciones locales:

- De talud: alineado al plano de la losa y paralelo al eje del río
- Normal: perpendicular al plano de la losa

- Horizontal: paralela al eje longitudinal de la cortina.

Generalmente su configuración anclada, dentro de la roca, resulta estable. En sitios donde existe demasiada sobre excavación o aspectos que puedan crear inestabilidades, es prudente analizar el plinto como un muro sujeto a deslizamiento y volcamiento. También se recomienda elegir adecuadamente el ángulo de fricción interna, el cual depende del tipo de roca y la orientación de los planos de falla.

Estos análisis se efectúan considerando, como fuerzas estabilizadoras, el peso del agua sobre la estructura, la presión pasiva del relleno de la presa y las fuerzas de levantamiento producidas por la presión hidrostática disipada linealmente hasta la parte seca del plinto. El gradiente de percolación puede ser tan alto como $H/L=20$ para rocas resistentes y sanas, hasta 2 a 4 en saprolitos y rocas muy fracturadas.

Para evitar un asentamiento excesivo de la cara de concreto que pueda romper la junta perimetral, como ocurrió en la presa Golillas, es importante poner una particular atención a la compactación del enrocamiento cerca del plinto y se debe adoptar la idea de colocar material fino y compactarlo en capas delgadas. Sin embargo, no debe buscarse que los módulos elásticos sean mayores a los del resto del enrocamiento en esta zona, ya que pueden presentarse asentamientos diferenciales.

La impermeabilidad se logra mediante una buena plantilla de inyección y de una buena ejecución de la misma; se acostumbra tres hileras de inyección: una central y dos externas de consolidación. Esto varía de acuerdo a qué tan buenas o malas sean las condiciones geológicas. La profundidad de los barrenos también está definida por la geología del cauce y las laderas donde se apoya el plinto. El método y equipo para realizar las inyecciones varía de acuerdo a los accesos; se utilizan comúnmente equipos de bombeo con base en el método GIN.

Criterios de diseño del cuerpo de la cortina

El enrocamiento es el elemento estructural de la obra de contención. Está zonificado a fin de recibir la carga de agua con asentamientos mínimos y proporcionar seguridad a la propia estructura contra el flujo de agua, en caso de presentarse fracturas en la cara de concreto o apertura en las juntas; de tal manera que deberá aceptar de manera segura, varias veces, cualquier filtración que pueda ocurrir (Marengo, 2005).

Dado que es una estructura que está permanentemente bajo fuertes cargas hidrostáticas, ante las cuales debe conservar su estabilidad, su diseño y construcción deben estar cuidadosamente planeados y ejecutados bajo altos estándares de calidad (Lau Chau Chin, 2004). Su diseño se realiza de acuerdo a

las condiciones geológicas, hidrológicas y topográficas del lugar, así como de los propósitos propios de la obra.

Ya que la zona de respaldo de la cara de concreto es la que recibe el empuje del agua, es necesario que los módulos de compresibilidad sean altos en esta zona.

En cambio, la zona aguas abajo es menos influenciada por la carga del embalse y no requiere de módulos tan elevados. En función de esto se elige el tipo y características de material, el ancho de las capas y los parámetros de colocación y compactación.

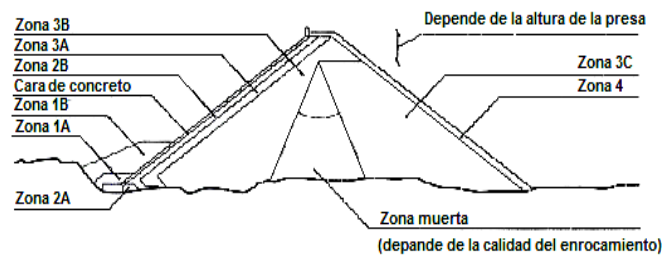


Figura 6.- Nomenclatura internacional de la zonificación de presas de ECC (Cooke, 2000)

La mejor granulometría, mejor calidad y menor índice de vacíos, están localizados en las proximidades de la losa, dentro del tercio de aguas arriba de la estructura; los materiales de inferior calidad se colocan aguas abajo, preferiblemente después del centro de la presa. Esto se hace con la finalidad de limitar las deformaciones excesivas en la cara de concreto, y por otro lado, disminuir el costo de la presa. Eventualmente (como en el caso de El Cajón),

existe una "zona muerta" T, entre la zonas 3B y 3C, con las mismas características de deformación que el 3B pero con menor calidad.

El espesor de las capas varía entre 20 y 50 cm para las zonas 2 y 3A, y de 0.80 a 2.00 m para las demás zonas. El estado del arte indica que un mínimo de 4 pasadas de vibro compactador de 10 ton de peso estático en el tambor y la adición eventual de agua (250 l/m^3) producen rellenos con gran capacidad de absorber las cargas del embalse. Los filtros se compactan con equipos vibratorios menores.

Además de las zonas que componen el enrocamiento principal de la cortina, existen zonas especiales cuya función favorece la seguridad de la estructura; por ejemplo, la zona 1 que cubre la junta perimetral entre la cara de concreto y el plinto, y la zona 2, o zona de filtros, que se localiza justo debajo de la misma junta y entre la losa de concreto y el enrocamiento principal. Su finalidad es la de dar un soporte adecuado, controlando y limitando las filtraciones eventuales a través de la cara de concreto y las juntas que se puedan presentar durante la vida útil de la presa, o durante la construcción si una avenida llega a sobrepasar la ataguía, como ocurrió en Aguamilpa (Marengo, 2005).

La granulometría para esta zona, recomendada por Sherard (1985), se muestra en la tabla 1. Esta granulometría debe ser estable y los finos no deben ser susceptibles al lavado. Por su parte, la ICOLD (1909a) propone la granulometría que coincide casi por completo con la propuesta por Sherard.

Tabla 1.- Granulometría recomendable para la zona de transición de presas de ECC

Tamaño de la malla (mm)	Sherard (1985)	ICOLD (1989)
	% de finos	
75	90-100	90-100
37	70-95	70-100
19	55-80	55-80
4.76	35-55	35-55
0-6	8-30	8-30
0-075	2-12	5-15

Cuando el enrocamiento tiene un exceso de finos y poca permeabilidad, se requiere una zona de drenes. La ubicación más recomendable de esta capa es aproximadamente el eje de la cortina. Debido a las cargas durante la construcción, la sección central del enrocamiento suele asentarse más y cuando llueve, el agua se acumula en esta zona; además cada capa compactada tiene mayor cantidad de finos en la parte superior, por lo que la

trayectoria del agua tiende hacia el centro. Esto puede causar asentamientos adicionales no deseados. Adicionalmente a estos drenes, puede colocarse enrocamiento compuesto por roca sana, uniforme y permeable, sobre la superficie de la cimentación aguas abajo de la presa.

El proceso constructivo del material 3B, T y 3C (enrocamiento principal) es característico de este tipo de presas y conlleva una serie de ventajas que han incrementado la calidad de la estructura en cuanto a procesos, economía y funcionamiento de la estructura. Consiste en descargar el material desde una capa ya compactada hacia la nueva capa, distribuyéndolo posteriormente con tractores de 8 ton, procurando la segregación del material; es decir: las rocas de mayor tamaño queden en la parte más baja de la capa y los espacios entre ellas sea relleno por las rocas más pequeñas y los finos. Con esto se obtiene una superficie lisa y visiblemente horizontal, la cual facilita el proceso de colocación y compactación, y logra una favorable permeabilidad horizontal en el interior de la capa, además del ahorro en cuanto al desgaste de los neumáticos del equipo de trabajo (J. L. Sherard y J. B. Cooke, 1987).

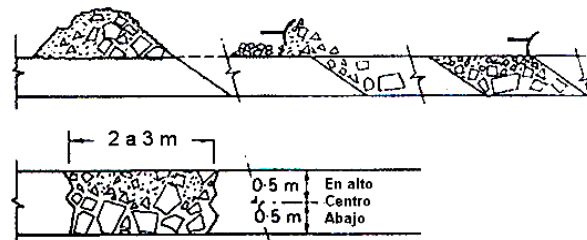


Figura 7.- Arreglo del enrocamiento colocado y compactado (Cooke,1991)

Criterios de diseño de la cara de concreto

La cara de concreto constituye la característica impermeable de este tipo de presas. La evolución de esta estructura ha permitido una gradual reducción de su espesor, menor concentración de refuerzo y una optimización de juntas, de acuerdo al método de construcción adoptado. Estos aspectos habían funcionado satisfactoriamente. Sin embargo, actualmente han ocurrido incidentes desfavorables (Figura 8), cuyas hipótesis van enfocadas a la deficiencia, tanto en el diseño como en la construcción y supervisión de la presa; además de los efectos no considerados en su llenado.



Figura 8.- Fracturamiento en la presa “Campos Novos” en Brasil, presentado durante su primer llenado (2006)

La construcción de la cara de concreto se ha desarrollado recientemente, pasando del diseño tradicional de paneles cuadrados separados con juntas de compresión, a una colocación continua de losas utilizando cimbras deslizantes. Generalmente la losa es dividida en paneles de 12 a 18 m de ancho, con juntas verticales y horizontales.

Debido a que la estabilización de la cara inclinada sobre la que se construyen las losas de concreto es vulnerable a la segregación del material 2B durante la construcción, especialmente en sitios lluviosos, se han adoptado varias prácticas para evitar la erosión y la segregación de dicho material. La mejor solución consiste en un bordillo de concreto extruido (de baja resistencia) para

delimitar la cara aguas arriba de la cortina y confinar el material de transición 2B para su compactación. Este método ha sido aplicado en las presas de este tipo más recientes, con importantes ventajas como las que se mencionan a continuación:

- Controla la segregación y la erosión ante los agentes externos, ya que la cara aguas arriba queda protegida
- Reduce las actividades sobre la cara aguas arriba, mejorando la economía y la seguridad.
- Reduce la cantidad de equipo para estabilizar la cara.
- Facilita la colocación del acero de refuerzo de las losas de concreto.
- Acelera el programa de obra; dos capas por día en presas con coronas de hasta 500 m de longitud.



Figura 9.- Construcción de bordillo en El Cajón, Nay.

El criterio más actual para el diseño del espesor de la cara de concreto de presas de ECC (Marengo, 2005) es el siguiente:

$$e = 0.3 + 0.002 H \quad (1)$$

donde e, espesor de la losa, en m, H, altura de la cortina, en m.

Para minimizar las filtraciones en los empalmes de la cara de concreto se diseñan sistemas de juntas y sellos, acomodados estratégicamente de manera horizontal y vertical en las juntas entre losas, así como en su perímetro. Su función es absorber los esfuerzos y deformaciones a que se somete la cara de concreto ante el empuje del agua y durante la construcción de la presa. El diseño de estos elementos es fundamentalmente empírico y ha evolucionado de acuerdo con las experiencias adquiridas en el estudio del comportamiento de los proyectos en que se han aplicado. El tipo de juntas previsto y los materiales utilizados son aspectos muy importantes para garantizar el correcto funcionamiento de la estructura.

Con la utilización de cimbras deslizantes se eliminó una cantidad apreciable de juntas, quedando principalmente las siguientes:

a) Junta perimetral:

Ubicada entre la losa principal y el plinto. Es la junta más importante porque siempre abre, asienta y, en menor grado, se desplaza en el mismo sentido de la

junta. Ha sido tradicionalmente la mayor fuente de problemas relacionados con filtraciones.

La presa de Aguamilpa, en la cual se basó el diseño de sellos para El Cajón presenta tres barreras:

- Cobre
- PVC
- Contenedor de ceniza volante.

La figura 10 muestra el arreglo típico de esta junta.

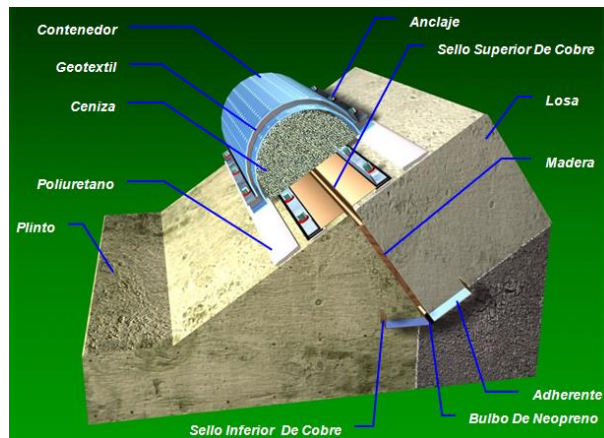


Figura 10.- Arreglo típico de la junta perimetral

b) Juntas verticales:

Generalmente quedan separadas entre sí 12, 15 o 18 m, dependiendo de factores propios de la construcción. Para presas pequeñas se recomienda un espaciamiento menor. De acuerdo a las fuerzas a que se someten, las juntas verticales se dividen en: juntas de tensión y juntas de compresión.

Se recomienda colocar madera o neopreno en las juntas verticales de compresión y sellos de cobre en las juntas de tensión y en la junta perimetral. Asimismo es adecuada la colocación de sellos superiores en la junta perimetral y juntas verticales cerca de los estribos con tendencia a abrir.

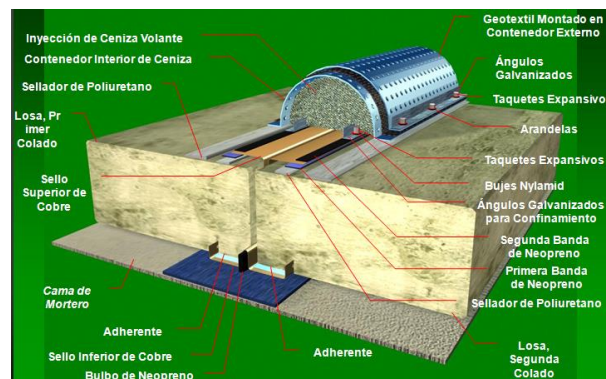


Figura 11.- Arreglo típico de la junta vertical

c) Juntas horizontales de construcción

La ICOLD (1989) indica que la práctica actual no incluye juntas horizontales, salvo las de construcción, las cuales son programadas para definir las etapas de

la presa. Estas juntas no llevan sello de cobre y el acero de refuerzo pasa a través de la junta.

Para la construcción de las losas, la cimbra utilizada es la convencional para las losas de arranque y cimbra deslizante para el resto de la cara de concreto (Figura 12).

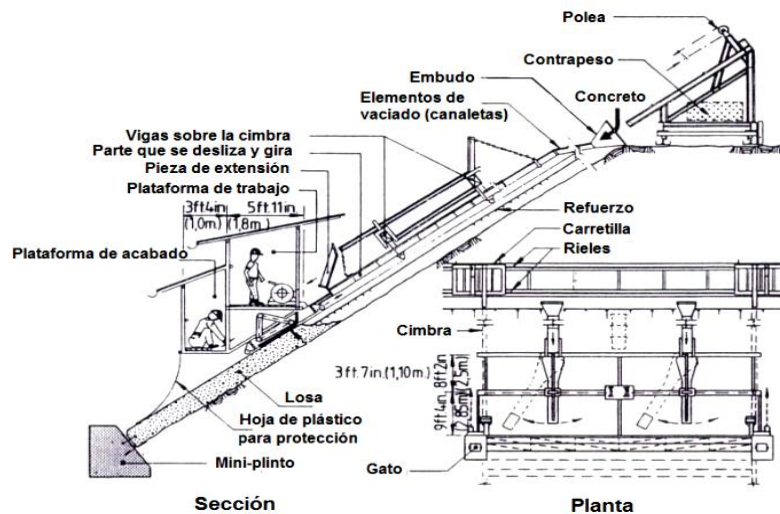


Figura 12.- Esquema de la cimbra deslizante utilizada en la presa de Khao (Watakeekul et al. 1985)

Es recomendable construir la cara de concreto en diferentes etapas para permitir el llenado del embalse y que se logre una mejor administración del programa de construcción y una optimización del costo total. El construir las losas de arranque simultáneamente con la colocación del enrocamiento permite tomar todos los cuidados necesarios para proteger los sellos de la junta perimetral y ejecutar correctamente los trabajos de colocación de concreto

alrededor de ellos, de manera que haya una correcta fijación para evitar filtraciones eventuales.

La construcción de la cara de concreto requiere un monitoreo continuo del ritmo de colocación, exceso de concreto, depresiones, contenido de aire y resistencia esperada; con un registro minucioso que permita obtener un análisis estadístico en cada losa.

Criterios de diseño del parapeto

La mayoría de los proyectos recientes incluyen una cresta de concreto, o parapeto, cuyo objetivo es disminuir el volumen de enrocamiento requerido para que la presa llegue a su altura de diseño. Esto economiza la obra siempre y cuando el costo del parapeto no exceda el ahorro de material. Asimismo incrementa la altura de la cortina.

Las primeras presas se diseñaron con parapetos de 1.2 m. Hoy en día estos muros protectores se construyen de 3 o hasta 5 m de alto; es ésta una práctica económica y segura. En zonas de alta sismicidad su altura se reduce. Deben realizarse análisis estructurales para definir sus dimensiones.

El ancho de la superficie en la elevación base del parapeto facilita la colocación de la cimbra y el colado de la estructura. Además un parapeto alto

evita que el oleaje afecte al enrocamiento.

En la figura 13 se muestra el esquema típico de esta estructura, con sus principales componentes.

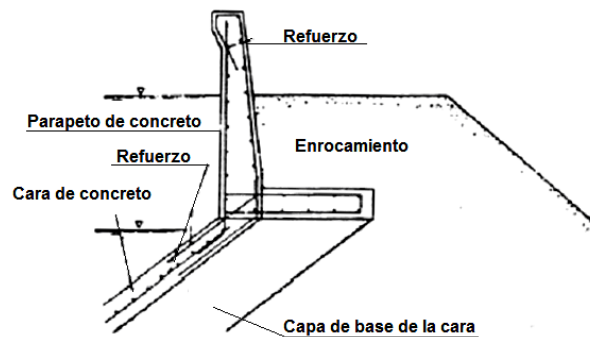
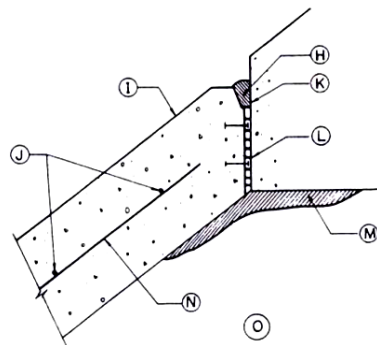


Figura 13.- Esquema de parapeto para presas de ECC (Waterpawer, 1990)

La base del parapeto usualmente se acopla a la losa de concreto con una junta flexible (Figura 14).



H	IGAS
I	Cara de concreto
J	Refuerzo horizontal
K	IGAS primario
L	Relleno premoldeado
M	Colchón de mortero
N	Refuerzo inclinado
O	Detalle: Junta cara de concreto – cara aguas arriba del parapeto.

Figura 14.- Arreglo típico de la junta flexible entre la cara de concreto y el parapeto

Conclusiones

Para que las presas cumplan su función de satisfactores sociales y que ambientalmente no causen grandes impactos negativos, será necesario construir nuevos proyectos que resulten económicamente factibles, socialmente deseables y ambientalmente sustentables; se insiste en el concepto de construir presas de propósitos múltiples que permitan ofrecer un mejor desarrollo regional integral (Marengo, 2006).

Las presas de ECC son una mejor alternativa que las presas con núcleo de arcilla.

Las tendencias en el diseño de las diferentes obras que componen este tipo de presa se orientan en lo siguiente:

Plinto: Dado que es el elemento impermeable fundamental entre la cara de concreto y la roca de cimentación, los criterios de diseño se siguen enfocando en garantizar su impermeabilidad. En roca no erosionable el tratamiento de la cimentación es relativamente sencillo. En la roca con posibles características de

erosión es necesaria una atención geotécnica meticulosa a fin de rellenar, sellar e impermeabilizar la roca aguas abajo del mismo.

Continuará la práctica cuidadosa del tratamiento de cimentación, tanto en el cauce, como aguas abajo del plinto. Además se dará mayor atención al tratamiento de cimentación en la parte más baja de los empotramientos y la cimentación.

El concepto de plinto interno es recomendable en presas altas con boquillas angostas.

Cuerpo de la cortina: Respecto al material de respaldo de la cara de concreto, para presas futuras de gran altura, se utilizarán materiales de menor tamaño a fin de facilitar la construcción y disminuir la permeabilidad en caso de fracturas en el concreto. La filtración en su caso, puede limitarse y se puede sellar considerablemente al depositar arena fina como se hizo en Aguamilpa y El Cajón. En caso de que se tengan problemas en el empalme, esta medida ayuda a sellar de manera confiable las comisuras.

La zonificación de estas presas se seguirá diseñando con el fin de recibir la carga de agua con mínimos asentamientos y proporcionar seguridad al enrocamiento contra flujo en caso de filtraciones en la cara de concreto.

No se ha tenido experiencia que sugiera algún cambio del rodillo vibratorio de 10 toneladas sin embargo, en Shibuyá se está utilizando un rodillo de 18 ton con resultados satisfactorios.

Cara de concreto: Debido a los incidentes actuales que han ocasionado filtraciones en las fracturas de la cara de concreto y el perímetro, como el de Campos Novos, se considera necesario colocar una junta de madera en las juntas verticales de la losa.

Otra tendencia es la de reducir el espesor del concreto y el porcentaje del acero de refuerzo, aunque se recomienda incrementar el acero un 0,5% en las dos direcciones, en una banda de cerca de 15 m de ancho a lo largo del plinto.

Se continuarán utilizando sellos de cobre en la cimentación de la losa, en todas las juntas verticales y en la junta perimetral; y un sello superior en la junta perimetral y juntas verticales cerca de los estribos con tendencia a abrir.

Recomendaciones

En vista del diseño empírico de este tipo de obras, es necesario contar con un respaldo técnico, constituido por los estudios de comportamiento de las presas existentes, mismo que ha de actualizarse cada vez que se integre un nuevo proyecto.

Deben estudiarse a fondo las propiedades índice, mecánicas e hidráulicas del material de que están constituidas:

- La relación de vacíos, que tiene una influencia dominante en el cálculo de los módulos de deformación durante la construcción de la cortina.
- La resistencia al corte, que varía de acuerdo con el tipo de material y sirve para determinar la capacidad máxima de carga y la estabilidad del terraplén.
- La compresibilidad, que indica las perspectivas de asentamiento y que se mide a través de los módulos de deformación del material.

Referencias

Gavan, H. y Robin F. (2002). "Rockfill Modules and Settlement of Concret Face Rockfill Dams", *Journal of Geotechnical at Geoenvironmental Engineering*, ASCE, ISSN, Vol. 129. No. 10.

Cooke, B. C. (2000). *Concrete Face Rockfill Dams*, 20th ICOLD Congress and Beijing 2000 Symposium on Concrete Face Rockfill Dams

Cooke, B. C. (1998). "Empirical design of the CFRD", *Hydropower & Dams*, ISSUE Six.

Sherard, J. L. y Cooke, J. B. (1987). "Concrete-Face Rockfill Dam", *Journal of Geotechnical Engineering*. ASCE, Vol 113. Number 10, New York, E.U.

Marengo, H. (2005). *Apuntes de presas de almacenamiento y derivación.*

Marengo, H. (1995). "La ingeniería de presas y la hidroenergía en las próximas décadas", *Revista Ingeniería Civil*, No. 313, mayo 1995.

Marengo, H. (1999). *Consideraciones acerca del futuro de las presas*, Comisión Federal de Electricidad.

Marengo, H. (2006). "La ingeniería de presas y obras hidráulicas", *Revista Tláloc*, AMH No. 35, Enero 2006.

Marengo, H. (2005). *Tendencias en el diseño de presas.*