

TENDENCIAS ACTUALES EN EL DISEÑO DE PRESAS

DR. HUMBERTO MARENGO MOGOLLÓN.¹

RESUMEN. *Hay una gran experiencia en el diseño y construcción de presas en el mundo, sin embargo en los últimos años las tendencias en el diseño de las mismas están enfocadas a reducir significativamente los costos de estos proyectos. En éste artículo se presentan las tendencias que se siguen en México y en diversos países para lograr que las presas y los proyectos hidroeléctricos sean más seguros y al mismo tiempo cumplan con la funcionalidad para la cual fueron concebidos.*

PALABRAS CLAVE. Construcción y diseño de presas, seguridad, tendencias en el diseño, obras de desvío.

Antecedentes.

Es por medio de artículos y publicaciones técnicas que se ha progresado mundialmente en el diseño, construcción y operación de presas por lo que los comentarios expuestos a continuación permitirán exponer a los ingenieros dedicados a esta apasionante actividad lo que considera el autor que significa hacia dónde se enfocan los esfuerzos que se hacen en el diseño y construcción de presas.

Marco de referencia.

Hay algo majestuoso en una presa grande. Cuando Franklin Roosevelt inauguró la presa Hoover en 1935 estaba atónito y comentó: "**Vine, vi y fui conquistado**". Esta presa en los EEUU fue la primera de las muchas grandes presas de ese país y fue la presa más grande del mundo en su tiempo.

¹Coordinador de Proyectos Hidroeléctricos, Comisión Federal de Electricidad, Río Mississippi no. 71 PISO 11, TEL 55255769, FAX 52070287, humberto.marengo@cfe.gob.mx.

Hay muchas referencias de la necesidad de construcción de presas (Marengo, 1995, 1999) y, según los ingenieros, existen varias razones por las cuales deben construirse; sin embargo hoy en día se enfrentan varios obstáculos para su realización.

A pesar de ello, no hay sustitutos para las presas como componentes principales para el manejo de recursos hidráulicos. La Ingeniería de Presas representa hoy en día la punta de lanza en la ingeniería en los desarrollos regionales (Goodland, 1996).

No puede haber mejoramiento ambiental ni de los estándares de vida de la población en el futuro, sin la realización de importantes desarrollos adicionales de grandes proyectos de infraestructura hidráulica. En virtud de lo anterior las presas son imprescindibles.

En los últimos 100 años, los ingenieros han desarrollado metodologías que han permitido incrementar la disponibilidad de conducir, purificar y transportar el agua y suministrar la energía eléctrica.

En la actualidad se están construyendo presas de más de 300m de altura y decenas de ellas están diseñadas o construidas con más de 200m; cientos superan los 100m, y sin contar las presas construidas en China, que se suponen en miles, existen en el mundo más de 100,000 incluyendo 36,000 grandes presas, que según el ICOLD (1989) son las que tienen más de 15m de altura, aunque también entran en esta categoría las que están entre 10 y 15m, pero que cumplen con alguna de las siguientes condiciones: longitud de cresta de 500m por lo menos o descarga máxima de 2,000 m³/s, o bien condiciones complejas en la cimentación o diseño inusual de la presa.

Para los estudios de comportamiento de las presas se han reportado 15,800 grandes presas distribuidas en 33 países hasta 1975 (Marengo, 1998a), como se muestra en la tabla (1), en la que se indican cuatro tipos de presas de concreto: gravedad (G), arco y arcos múltiples (A), contrafuertes (C), mampostería (M) y dos tipos de materiales sueltos: tierra (T) y enrocamiento (E). Cabe señalar el bajo porcentaje de presas de enrocamiento construidas hasta esa fecha en comparación con las

de tierra, debido fundamentalmente a que el desarrollo de la mecánica de rocas ha sido reciente, por lo que no se habían escogido este tipo de presas.

TIERRA Y ENROCAMIENTO 10 650 (67.4%)	CONCRETO Y MAMPOSTERIA 5150 (32.6%)
---	---

	E	G	A	C	M
9890 (62.6%)	760 (4.8%)	3970 (25.1%)	760 (4.8%)	280 (1.8%)	140 (0.9%)

TABLA 1. Distribución de 15,800 grandes presas construidas en el mundo, por tipo de presa.

En la actualidad, prácticamente en todos los países dónde se construyen presas, la fuente de repago de las mismas proviene de las plantas hidroeléctricas, al ser la generación, un producto que se produce en forma constante y tiene siempre un consumo creciente. Así, para que sean satisfactorios sociales y que ambientalmente no causen grandes impactos, será necesario construir las nuevas presas en un futuro inmediato de tal manera que resulten económicamente factibles, socialmente deseables y ambientalmente sustentables. Cabe señalar que a la fecha, en diversos países, fundamentalmente en vías de desarrollo, hay un claro repunte en la construcción y licenciamiento de pequeños y medianos proyectos debido a que por una parte entró en vigor el tratado de Kyoto que impone serias restricciones en la producción de bióxido de carbono y por otra, los precios de los hidrocarburos han incrementado su valor significativamente durante los años recientes (2004, 2005 y 2006).

Presas económicamente factibles.

El hecho de poder hacer esquemas factibles de presas y proyectos hidroeléctricos, forzosamente obliga a desarrollar esquemas económicamente competitivos con respecto a otras fuentes de almacenamiento de agua y generación de energía. Sin embargo se debe insistir en el concepto de construir presas de propósitos múltiples que permitan ofrecer un mejor desarrollo regional integral, como es el proyecto que actualmente ha desarrollado la CFE en La Partota, Gro. (Marengo, 2006).

Para que esto suceda, es necesario que las presas cumplan con las funciones para las que fueron concebidas, y sean lo más económicas posible, cumpliendo también con los requisitos mínimos de seguridad, aspectos que deben cumplirse desde el diseño de las mismas.

Aspectos de seguridad de presas.

La seguridad de presas ha despertado una preocupación plenamente justificada a nivel mundial, ya que la súbita liberación de miles de toneladas de agua sobre asentamientos humanos importantes puede causar enormes pérdidas humanas y materiales, además de graves daños al medio ambiente. Por lo que se concluye en forma generalizada que las presas no deben fallar (Marengo, 1998a).

Un análisis de seguridad permitirá (Marengo, 1994), sin duda, construir presas más seguras y económicas, corregir algunas de las construidas con criterios audaces y tomar en cuenta la confiabilidad que deben tener estructuras temporales como las obras de desvío.

La seguridad por sí misma debe ser una consideración de gran importancia para el ingeniero (Marengo, 1998a), ya que deben tomarse en cuenta todos los factores que razonablemente pueden ser identificados.

De hecho, la seguridad de presas depende de tres factores predominantes: diseño, calidad de construcción y mantenimiento - operación.

Aunque parezca obvio, remover o restar la importancia que cada uno tiene, es tener una catástrofe potencial.

En cuanto al diseño, los criterios usuales de factores de seguridad están empezando a ser cuestionados empleándose cada vez más los criterios probabilísticos. Éstos son más científicos y el concepto de confiabilidad está inherente, aunque algunos expertos aún no lo consideran aceptado por la profesión. Sin embargo, hoy en día, se están haciendo esfuerzos importantes para que puedan adoptarse en el diseño de presas y en la revisión de algunas de las ya construidas, lo cual permitirá sin duda tomar las medidas necesarias para que las nuevas presas sean más seguras y económicas y se tomen las medidas pertinentes para que las ya construidas también resulten así.

Es importante mencionar que en la etapa de diseño, como sucede en otros países, debe implantarse un panel que revise el diseño del consultor o grupo que lo efectúa y que además lo haga oportunamente para que las medidas, que se consideren necesarias, se puedan llevar a cabo.

La construcción es probablemente el aspecto más difícil de todos ya que en la gran mayoría de estas obras existen compromisos políticos y sociales que obligan a cumplir un programa en tiempo y costo, que en muchas de las ocasiones no son compatibles con la calidad requerida en las bases de diseño y la realidad de la obra. Además, la mayoría de las veces el grado de supervisión varía enormemente de un país a otro y aún presenta diferencias dentro de una misma institución; por ejemplo, muchos clientes piensan que pagar una supervisión adecuada es superfluo, lo cual puede acarrear graves consecuencias.

En cuanto al mantenimiento y la operación; el grupo de diseño o consultor así como el supervisor deben formar parte del comité de

inspección de la presa que está revisando y operando, ya que conocen y están íntimamente ligados con el proyecto en sí y los detalles que lo componen. De esta manera el monitoreo y verificación del comportamiento de la estructura pueden ser verdaderamente efectivos.

Lamentablemente estos aspectos no se consideran actualmente en muchos países, y se toman en cuenta sólo cuando aparecen fenómenos extremos o crisis.

Tendencias de diseño que permite hacer obras económicamente factibles.

Avenidas de diseño.

Dentro de los métodos que se usan para la estimación de avenidas de diseño están los empíricos, el análisis de frecuencia de avenidas y el enfoque meteorológico.

Todos ellos han sido sujetos de numerosos estudios y comentarios, aunque cabe aclarar que el ICOLD (1992) menciona que se debe prestar especial atención en recabar todos los datos posibles de las cuencas en estudio, y que las agencias deberán hacer énfasis en estimar con todos los métodos posibles las avenidas de diseño, ya que pueden presentarse estimaciones que son complementarias entre los diversos métodos en estudio. En este aspecto, cabe señalar, la necesidad de optimizar los esquemas de obra como se han hecho en diversas partes del mundo, y ahora en nuestro país (Proyecto La Parota, CFE, 2005), para excavar con un mismo canal de llamada las obras de generación y excedencias. Desde este punto de vista, el hecho de profundizar los canales de llamada de la obra de excedencias permitirá tener un mejor diseño hidráulico del vertedor, así como extraer roca más barata para el cuerpo de la cortina al mismo tiempo.

Obras de desvío.

En un examen global, de acuerdo con la práctica usual de la ingeniería, se considera que las obras de desvío se diseñan desde el

punto de vista hidrológico con períodos de retorno que oscilan entre 30 y 50 años para las presas de tierra y enrocamiento, y períodos de retorno de 10 a 20 años para las presas de concreto.

En una revisión, hecha por Marengo (2005), se constató que en la mayoría de los casos, en los que han ocurrido fallas en las obras de desvío, los niveles de seguridad adoptados fueron solamente una pequeña fracción de los requeridos comparados con los que se consideraron al término de la construcción de las presas. Sólo 5 proyectos de los 90 revisados tuvieron obras de desvío con la capacidad congruente y con un nivel de seguridad similar entre la obra de desvío y la de excedencias (vertedor).

Los aspectos relevantes, que indica el autor (2005), del porqué se le da tan poca atención a la seguridad de presas durante la construcción son:

a) El problema se ha analizado tradicionalmente como los daños que se pueden ocasionar aguas abajo de la presa en construcción. Sin embargo debería considerarse, además de los daños ocasionados a las propias estructuras, la pérdida económica por generación de energía cuando sea éste el propósito de la presa, ya que en ocasiones el costo de la misma puede ser muy significativo.

b) En muchas ocasiones, los daños causados se consideran responsabilidad del constructor, sin importar las consecuencias.

c) Hay una noción irracional de que la avenida máxima de diseño no puede presentarse debido al corto periodo de tiempo que dura la construcción.

Sin embargo, las consideraciones anteriores son totalmente contrarias a la evidencia hidrológica; muchas avenidas extremas destructivas han ocurrido durante la construcción de grandes presas, tales como Kariba,

Oros, Aldelavilla, Akocombo, Cahora Bassa, Tarbela y Aguamilpa en 1992.

En algunos de los casos mencionados se presentaron avenidas del orden de $2/3$ de la PMP o de la AMP² que causaron daños severos y rebasaron de manera significativa las obras de protección. Una notable excepción (Fahlbusch, 1999) fue hecho en la presa Mangla, donde la obra de desvío se diseñó para un periodo de retorno de 1000 años.

De hecho, las obras de desvío (Marengo, 2005) deben diseñarse de tal manera que las avenidas de diseño puedan pasar por la obra sin que se tengan graves daños en la misma y que la población, que se encuentra aguas abajo de la presa en construcción, quede protegida.

En un estudio del Riesgo de Falla por Desbordamiento de Aguamilpa en 1992 Marengo (1998b), encontró que los sucesos presentados ocasionaron un escurrimiento que causó una falla total por desbordamiento de la ataguía, la cual no fue catastrófica debido a que el avance de la presa (cortina) era considerable y permitió que el recinto entre la ataguía y la cortina se llenara equilibrando las presiones.

Este estudio permitió definir que la probabilidad de falla real del sistema arrojó: i) capacidad de resistir las avenidas con gastos asociados a $Tr=126$ años, que son 2.5 veces superiores a los obtenidos con el criterio determinístico ($Tr=50$ años); ii) las condiciones que realmente se presentaron en el sitio, con un gasto de $9,334 \text{ m}^3/\text{s}$ y elevación del embalse a la 123.60 msnm , correspondieron a un período de retorno $Tr= 311$ años, valor fuera de lo usual para este tipo de diseños; iii) al estudiar las aplicaciones constructivas, que se consideraron de fácil aplicación, se encontró que con las condiciones originales de diseño

1/PMP Es la Precipitación Máxima Probable y AMP es la Avenida Máxima Probable.

(ataguía de 55m de altura y túneles excavados en roca de 16.00m de ancho), con sólo colocar concreto hidráulico en la plantilla, el período de retorno pasa de 126 años a 168 años; iv) al colocar además del concreto hidráulico en la plantilla, concreto lanzado en paredes y bóveda, se alcanza un período de retorno conjunto de 433 años, con el cual el esquema original hubiera permitido transitar la avenida sin presentarse el desbordamiento.

La aplicación de estos estudios (Marengo, 2005) ha permitido que en la CFE se construyeran en el P.H. El Cajón y se diseñaran para el P.H. La Yesca, túneles con rugosidad compuesta (figura 1) -criterio novedoso a nivel mundial- que permitió ahorrar un túnel de desvío de 14x14m (con un costo estimado de 25 millones de dólares) e incrementar la seguridad de la obra de desvío al alcanzarse la posibilidad de manejar un gasto de diseño de $8,301\text{m}^3/\text{s}$ (asociada a un periodo de recurrencia de 100 años). Esta práctica se recomienda ampliamente en futuros proyectos.



Figura 1. Túnel de rugosidad compuesta del P.H El Cajón, vista hacia aguas arriba.

Costos de las presas.

A la fecha, las tendencias en el diseño y construcción de presas se está modificando significativamente; las presas de gravedad con concreto convencional han dejado su lugar a las presas construidas con concreto compactado con rodillos (CCR), las de materiales graduados a las presas de enrocamiento con cara de concreto (ECC) y en valles estrechos, se seguirán construyendo sin duda presas de arco bóveda.

La razón fundamental de estas tendencias es definitivamente el costo de las mismas, ya que mientras 1m^3 de concreto convencional puede costar del orden de $\$150\text{ USD}/\text{m}^3$ o más, las de CCR alcanzan valores promedio de $\$70\text{ USD}/\text{m}^3$. En China, en la presa de Longtan de $7,500,000\text{m}^3$, se está colocando el CCR con un precio del orden de $\$40\text{ USD}/\text{m}^3$.

Por otra parte, la presa de La Miel en Colombia, de 187m de altura ha establecido la posibilidad de construir éste tipo de presas con alturas del orden de 200m o superiores.

Todavía se plantean esquemas de construcción con presas de materiales graduados, sin embargo las presas de enrocamiento con cara de concreto ofrecen esquemas muy confiables y con volúmenes menores de colocación.

El ejemplo más ilustrativo es en el P.H. La Parota, Gro; la cortina de materiales graduados arrojó una volumetría de $18,505,467\text{m}^3$ y el de la cortina de Enrocamiento con Cara de Concreto el volumen es de $13,837,051\text{m}^3$. La reducción del 34% del volumen de la cortina permite ofrecer un ahorro del orden de los 50 millones de dólares en el costo total del proyecto, cumpliendo además con la premisa de garantizar la seguridad de la presa dentro del rango de valores usuales en éste tipo de diseños.

Presas de enrocamiento con cara de concreto (ECC).

Existen características de seguridad inherentes en la ingeniería de presas de enrocamiento con cara de concreto que hacen que el diseño empírico de este tipo de presas sea cada vez más aceptado. Estas características son (ICOLD, 2000):

- ◆ Todo el enrocamiento zonificado está aguas abajo del embalse.
- ◆ La carga de agua en la cara de concreto comienza en la cimentación aguas arriba del eje de la presa.
- ◆ La subpresión y la presión de poro no existen.
- ◆ Hay una gran confiabilidad contra fuerza cortante en el enrocamiento
- ◆ Hay una alta resistencia del enrocamiento a sismos de gran intensidad.
- ◆ El enrocamiento zonificado es estable contra el flujo.

De hecho Cooke en el simposio de Beijing (ICOLD, 2000) 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 300m de altura de casi todos los tipos de roca, basado en la extrapolación razonable de mediciones de las presas existentes.”

Esta conclusión se tiene que adaptar ya que no hay experiencia en presas de 300m de altura, sin embargo las alturas máximas eran de Cethana 110m, Anchicaya 140m y Areia 160m. Desde 1985, Aguamilpa y TSQ1 han estado próximas a 185m; El Cajón en México se está construyendo para alcanzar una altura de 188m y hoy en día se diseñan y construyen presas de ECC del orden de 200m de altura; Campos Nuevos (Brasil, 196m), La Yesca (208m en México), y Shuibuya (231m en China).

La característica de que “la zona de enrocamiento es sólida contra el flujo” ha sido importante para la economía de la presa de ECC. Con tal conocimiento se ha tenido que disminuir el espesor del concreto y el porcentaje del acero de refuerzo, aún cuando la presa sea más alta, ya que la filtración no involucra a la seguridad.

La filtración en su caso, puede limitarse y se puede sellar considerablemente al depositar arena fina sucia como se hace actualmente en Aguamilpa (México).

Otra cita de la ponencia de Cooke (2000) es:

“...para presas futuras de gran altura se tomarán en cuenta detalles más prudentes para el material procesado semi-permeable, directamente por debajo de la cara de concreto”.

Esto ha ocurrido y deberán considerarse modificaciones posteriores de poca importancia en las presas futuras de gran altura. Los cambios se han realizado con el propósito de utilizar materiales de menor tamaño a fin de facilitar la construcción y disminuir la permeabilidad en caso de fracturas en el concreto. Se utiliza material de transición (arena fina y arena graduada con valores máximos de 3.81cm de grava).

En el empalme del perímetro, en El P.H. El Cajón, México, se ha colocado una zona 2A de 3m de espesor, tamaño de grava menor a 19mm de filtro procesado, que en caso de que se tengan problemas en el empalme del perímetro, ayudará a sellar de manera más confiable por medio del limo natural o con un depósito de limo fino.

El diseño básico de presas de ECC es muy similar para todas las presas. Existen tres elementos básicos: el plinto, la sección de enrocamiento zonificada y la cara de concreto.

Plinto. Es el elemento impermeable fundamental entre la cara de concreto y roca; En roca no erosionable el tratamiento de 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.

La práctica actual del tratamiento de cimentación es bastante cuidadosa en, y aguas abajo del plinto, la cual continuará. La nueva condición de presión superior que se ha experimentado en la cimentación indicará que se dará mayor atención al tratamiento de cimentación en la parte más baja de los empotramientos y la cimentación.

El concepto del plinto interno es recomendable en presas altas con boquillas angostas. Un plinto básico externo de 4 a 5 m de ancho se definirá para todo el perímetro de la cara, a partir del cual se hacen la inyecciones de cemento de la pantalla. La longitud total definida por el gradiente de percolación especificado es obtenido por una extensión interna de la losa del plinto, en general armada con espesor de 0,3 m. 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.

Enrocamiento. La sección de enrocamiento es el elemento estructural. Está zonificada a 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.

Por lo tanto, el enrocamiento zonificado aceptará de manera segura, varias veces, cualquier filtración de la cara que pueda ocurrir. En la cortina del PH El Cajón, fue posible aceptar un material de transición con tamaño de 1m de espesor en las capas aguas abajo del material 3B que permitió tener ahorros en el procesamiento y colocación del material del orden de los 15 millones de dólares.

Se han realizado prácticas para tratar cada zona en la misma capa de espesor y compactación. Debido a que las presas más altas serán muy grandes, un área selectiva cerca de los empotramientos tendrá especificaciones para dar módulos superiores en vez de incrementar la compactación y el costo para todo el enrocamiento. No se ha tenido experiencia que sugiera algún cambio del rodillo vibratorio de 10 toneladas. La experiencia ha demostrado contornos graduales y pequeños asentamientos en las presas más altas. En todas las áreas sometidas a alta presión y sobre los empotramientos de aproximadamente 15m se debe usar la zona de filtro fino en vez de utilizarla sólo cerca del empalme del perímetro.

Las tendencias actuales de zonificación del enrocamiento se resumen en:

- Utilización del bordillo de concreto extrusado para delimitar la cara aguas arriba de la cortina y confinar el material de transición 2B para su compactación.
- Material de transición 2B, diámetro máximo 75 mm, granulometría (Sherard), menos de 5% pasando la malla n° 200, compactado en capas de 0,4 a 0,5m de espesor. Ancho de 4 a 6 m, 4 pasadas del rodillo de 10 ton.
- Material de transición especial 2A por debajo de la junta perimetral, diámetro máximo de 25 a 32 mm con propiedad de filtro al limo o ceniza.
- Material de transición 3A, enrocado con diámetro máximo de 0,4 a 0,5 m, compactado en capas de 0,4 a 0,5 m, con ancho de 4 m, y 4 pasadas, rodillo de 10 ton.
- Zona 3B – Enrocamiento, diámetro máximo 0,8 a 1,0 m, en capas de 0,8 a 1,0 m, compactados con rodillo de 10 ton, en 6 pasadas con 150-200 l de agua por m³ de enrocamiento, en el tercio de aguas arriba de la sección del terraplén.
- Zona T – Material similar al de la zona 3B, de características de deformación semejantes, con adición de agua, en zona

delimitada por una inclinación hasta aguas abajo de 0,3:1 a 0,5:1, para reducir la deformación de la cresta de la presa para el embalse en su nivel máximo.

- Zona 3C. Enrocamiento con tamaño máximo de 1,6 m, compactado en capas de 1,6 a 2,0 m, con seis pasadas de rodillo de 12 ton, con agua.

Losa de concreto. La losa de concreto es la característica impermeable de las presas. Puede ser hermética, pero pueden ocurrir filtraciones en el empalme del perímetro y en las fracturas de la cara.

Las filtraciones en la cara pueden ser aceptadas o se pueden reducir con un cierto costo, sin embargo no están involucradas con la seguridad de la presa.

Los incidentes actuales que han ocasionado filtraciones en las fracturas de la cara de concreto y el perímetro, ha llevado a los especialistas a considerar necesario colocar una junta de madera en las juntas verticales de la losa. La práctica en el diseño para la siguiente generación de presas superiores a los 200m de altura no será muy diferente a la que actualmente está establecida. Algunos comentarios generales de los tres elementos de diseño de las presas más altas son:

- Juntas verticales a cada 15 ó 16 m.
- Espesor:
para $H < 100$ m, $e = 0,3 + 0,002 H$ (m)
para $H > 100$ m, $e = 0,005 H$ (m)
- Armado:
vertical – 0,4% de la sección teórica.
horizontal – 0,3% de la sección teórica.

El armado es aplicado en lecho único al centro de la losa. Dos lechos son recomendables en una banda de 12 a 15 m de ancho cerca de estribos muy escarpados en presas de alturas superiores a 100 m. Para presas de 150 m de altura o más, incrementar el acero a 0,5% en las dos direcciones en una banda de cerca de 15 m de ancho a lo largo del plinto.

- Sellos de cobre en la cimentación de la losa en todas las juntas verticales y en la junta perimetral.
- Sello superior en la junta perimetral y juntas verticales cerca de los estribos con tendencia a abrir.

El sello superior puede ser de tipos diversos:

- Membrana de hule reforzado sobre relleno de "mastic".
- Llenado de ceniza contenido por media caña de acero perforado galvanizado.
- Sello de cobre aplicado sobre la junta.
- Sello de hule reforzado-corrugado aplicado sobre la junta.
- O una combinación de estos. Las zonas bajas de las juntas son aún cubiertas de material fino, arena limosa, para un efecto de colmatación en caso de filtraciones.

A pesar de éstos comentarios; debe señalarse que recientemente, en el primer llenado (2006) de la presa "Campos Novos" de 202m de altura en Brasil, se presentó un fracturamiento importante en la losa de concreto (figura 2).



Aunque no se tuvo una falla catastrófica en la presa, se han planteado las hipótesis de falla que se presentó:

- o Un deficiente diseño.
- o Una deficiente construcción (compactación inadecuada del material de apoyo de la losa).
- o Una deficiente supervisión.

Y como en toda falla sucede, una superposición de lo anterior, además de efectos no considerados en el proceso del llenado de la presa.

No hay que olvidar que este tipo de presas tienen en términos generales una fuerte dosis de empirismo y que continuamente, se revisan las hipótesis de diseño que se retroalimentan para mejorar las presas subsecuentes.

El llenado actual de la presa del Cajón en México, el cual tiene al día de hoy 100m de carga (de los 186m totales), está siendo esperado por la comunidad internacional de grandes presas para comparar, en caso de ser exitoso con las condiciones de llenado de ésta presa brasileña.

Algunas conclusiones generales en presas ECC futuras mayores a 150m de altura son:

- 1. Su seguridad esta asegurada.**
- 2. Puede haber algunas fracturas en la cara y filtraciones consecuentes.**
- 3. El enrocamiento semi-permeable de la zona de la cara limitará la magnitud de la filtración.**
- 4. La filtración puede ser considerablemente sellada al colocar arena fina de limo por debajo del agua.**
- 5. Se prevén pequeños cambios en la práctica del diseño actual.**

REFERENCIAS.

- Comisión Federal de Electricidad; PH La Parota, Esquema de Ingeniería Básica, 2005.
- Fahlbusch, F. E. 1999. "Spillway Design Floods and Dam Safety". *Hydropower and Dams*,4,125.
- Goodland E. *The environmental systemability Challenge for hydro industry* International Journal on Hydro Power & Dams, Issue One, 1996.
- International Commission on Large Dams, ICOLD Center Office, Paris, France; 1989. WORLD REGISTER OF DAMS - Updating,
- International Commission on Large Dams, ICOLD Center Office, Paris, France; 1992. SELECTION OF DESIGN FLOOD – Bulletin 82.
- International Commission on Large Dams, 20th Congress and Beijing 2000 Symposium on Concrete Face Rockfill Dams; Beijing, China, 2000.
- Marengo M., H., ANALISIS DE RIESGO DE FALLA EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO ANTE AVENIDAS, Tesis Doctoral, Facultad de Ingeniería de la UNAM, México D.F. Enero, 1994.
- Marengo M., H., LA INGENIERÍA DE PRESAS Y LA HIDROGENERACIÓN EN LAS PRÓXIMAS DÉCADAS, Revista de Ingeniería Civil no. 312. pp 19-25 y no. 313, pp 32-35, Abril y Mayo 1995.
- Marengo M., H., CONSIDERACIONES ACERCA DE LA SEGURIDAD EN PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO (CON ÉNFASIS ANTE AVENIDAS DE DISEÑO). Ingeniería Hidráulica en México Vol. XIII, Núm. 1, pp 61-75, enero-abril de 1998a.
- Marengo M. H.- ANÁLISIS DEL RIESGO DE FALLA POR DESBORDAMIENTO DE LAS OBRAS DE CONTENCIÓN DEL P.H. AGUAMILPA DURANTE LAS AVENIDAS EXTRAORDINARIAS DE ENERO, 1992, Documento de ingreso a la Academia Mexicana de Ingeniería, México DF. 1998b.
- Marengo M., H., EL FUTURO DE LAS PRESAS, Memorias de EL DESARROLLO DE LAS PRESAS, Avances en Hidráulica 5, Asociación mexicana de Hidráulica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México, 1999.

-Marengo M., H., CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN TÚNELES DE CONDUCCIÓN EN SECCIÓN BAÚL CONSIDERANDO RUGOSIDADES COMPUESTAS. Libro en impresión Fundación ICA, Registro ISBN 968-5520-14-3, México D.F., 2005