



Monografía: Descripción de la represa hidroeléctrica “EL INFIERNILLO”

DESCRIPCIÓN GENERAL

La presa EL INFIERNILLO, ubicada en los municipios de Arteaga, La Huacana y Churumuco del Estado de Michoacán y en el municipio de Coahuayutla del Estado de Guerrero, es un embalse artificial construido por la Secretaría de Recursos Hidráulicos en el período agosto 1962 – diciembre 1963 y puesta en operación el 15 de junio de 1964, con el propósito de captar agua para la generación de energía eléctrica, aprovechamiento para el riego y como medio para el control de avenidas.



Presa El Infiernillo, Mich., Comisión Federal de Electricidad

PROYECTO DE LA PRESA

El diseño de este tipo de obras que deben resistir eventos de la naturaleza, se encuentra siempre frente a la dificultad de prever en que forma y con que magnitud se presentarán dichos eventos. Hasta ahora la herramienta más efectiva de proyectar es la toma de datos o registros de distintos eventos a través de los años, que permite obtener un conocimiento aproximado de estos fenómenos naturales.

Los vertederos de EL INFIERNILLO poseen una capacidad para evacuar una avenida de entrada de 38.000 m³/seg, valor que en la etapa de diseño parecía exagerado, pero luego la naturaleza se encargó de demostrar la ineficacia de las predicciones de avenidas de los ríos basadas en registros de escurrimientos y lluvias demasiado cortos.

De todas maneras la presa ha sido construida con un bordo libre amplio que le permite salvar las incertidumbres en los cálculos hidrológicos, la magnitud de la perturbación sísmica, la presencia de taludes potencialmente deslizables en el embalse y la generación de fuerte oleaje por viento, existentes en la etapa de proyecto.

La altura de la presa es cercana a los 150 m y el volumen total de la cortina o presa es de 5.500.000 m³ siendo la capacidad total del vaso o embalse es de 12.000 x 10⁶ m³.



El cuerpo es del tipo de enrocamiento con corazón de tierra compactada, presentando una sección como la esquematizada en la fig. 2.14, en la que se aprecia como se lleva el corazón impermeable hasta la roca, mediante una trinchera excavada en los depósitos permeables en el cauce del río.

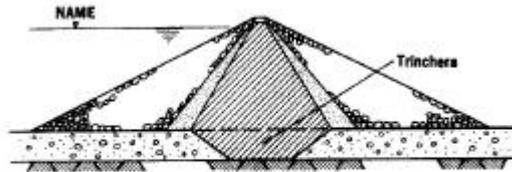


Fig 2.14 Presa de tierra y enrocamiento con trinchera
($H_c < 20$ m)

El depósito fluvial sobre un estrato impermeable es menor de 25 m, por lo que la solución aplicada ha sido la excavación de una trinchera en los depósitos permeables y rellenar con material arcilloso compactado.

TRATAMIENTO DE LA CIMENTACIÓN

La extensión, profundidad y tipo de tratamiento de la cimentación en el caso de presas apoyadas sobre rocas que se plantea para corregir los defectos originales y evitar o controlar filtraciones, están íntimamente relacionados con el diseño de la cortina. Los pasos son:

- LOCALIZACIÓN DEL EJE DE LA CORTINA:** con base en una topografía detallada del sitio elegido y considerando la geología respectiva con especial atención al fracturamiento de la roca y la cubierta de material alterado.
- LIMPIEZA SUPERFICIAL:** es indispensable la remoción de vegetación, suelo orgánico y escombros sobre la roca para efectuar el tratamiento de grietas, huecos y otros defectos
- EXCAVACIONES DE REGULARIZACIÓN:** tienen por objeto corregir la divergencia de las laderas hacia aguas abajo y el perfil transversal de la roca, eliminando desplomes y escalones.
- TRATAMIENTO DE GRIETAS:** existen dos tipos de grietas, las finas (sin relleno visible y producto del uso de explosivos) y las anchas (con rellenos diversos y de origen tectónico en la mayoría de los casos). Generalmente se usan lechadas de cemento para su recubrimiento.
- INYECCIONES:** es el método tradicional para tratar cimentaciones de roca y depósitos de aluvión.

El tratamiento de la cimentación en EL INFIERNILLO consistió en excavaciones importantes en forma de trincheras a lo largo del corazón impermeable, pues la roca se encontraba alterada en algunas partes y en otras, agrietada por la relajación de esfuerzos. Esto obligó a una limpieza cuidadosa de la superficie con agua y aire a presión, para llenar después dichas grietas con lechada de cemento.

CONSTRUCCIÓN DE LOS VERTEDEROS

Los túneles vertedores se distinguen con los números 3, 4 y 5, contados de aguas arriba hacia la presa y están localizados en la ladera izquierda. Cada estructura tiene tres compuertas radiales y está conectada a un túnel; la cota superior de las compuertas es la elevación 169 m. La figura 1.19 muestra el corte longitudinal de uno de los vertedores, que fueron diseñados para un gasto máximo de 3.500 m³/seg, por unidad; la avenida de diseño es de 38.000 m³/seg y volumen total de 10.300 millones de metros cúbicos.

Cuando se abrieron los portales de acceso a los túneles, ocurrió un corrimiento del talud de 2 a 3 cm en todo el frente de ataque según uno de los planos de estratificación, con formación de grietas en varias zonas del corte. Los resultados de las investigaciones fueron los siguientes:

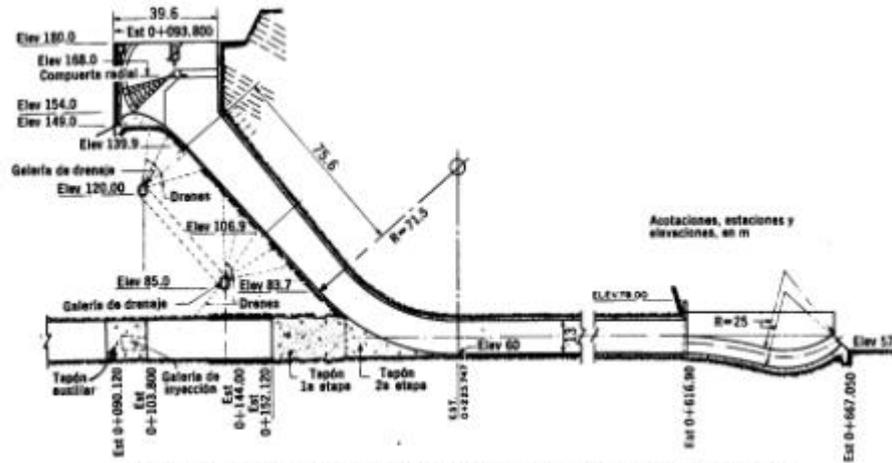


Fig 1.19 Corte longitudinal de uno de los vertedores en túnel de El Infiernillo

- Se desplazaron las estructuras del vertedor 12 m hacia el río, con objeto de reducir el volumen de excavación.
- Se aplicaron a todos los cortes de esta zona una poscompresión mediante anclas inclinadas 45 grados respecto a los planos de estratificación.

Por el fracturamiento de la roca y por la severa carga hidráulica (100 m) a que iban a estar sometidos los codos de los túneles, se consideró vulnerable el proyecto original de los tapones, y se decidió colocar otros auxiliares aguas arriba, y drenarlos por el lado de aguas abajo mediante perforaciones que terminan en una galería, así los tapones del codo quedaron sometidos a cargas de sólo 20 m.

OPERACIÓN DE LOS VERTEDEROS. REPARACIONES

El flujo de agua por el túnel 5 fue normal hasta que el caudal llegó a 200 m³/seg. A partir del citado gasto, la turbulencia y la cantidad de aire incluida aumentaron en forma apreciable y se empezaron a escuchar ruidos desde la galería de drenaje y desde el túnel 4. A medida que el caudal aumentaba, el tirante en el túnel era mayor que el previsto por las mediciones en el modelo hidráulico. El aire arrastrado por el escurrimiento era importante y continuo.

Evidentemente el funcionamiento del vertedor era anormal, pero no podía ponerse fuera de servicio porque continuaba el montaje de las compuertas radiales y los mecanismos de operación de los otros dos vertederos. A continuación vemos las observaciones realizadas debido al problema enunciado:

TÚNEL 5: no acusaba daño apreciable en la sección vertedora ni en la transición. En la junta de la transición y el codo, se desprendieron dos masas de concreto reforzado que corresponden a zonas de colado difícil. A partir de la última junta del codo y en una longitud de 40 m, la mitad inferior del revestimiento desapareció. La profundidad media de socavación en la roca fue de 4 m y coincidió con una fractura geológica importante. Aguas abajo y en un tramo de 100 m, se observó erosión intensa del revestimiento. En el resto del túnel, hasta el portal de salida, no se apreciaron daños de consideración.

Para solucionar estos problemas se hizo una limpieza superficial y extracción de la roca suelta en las zonas dañadas del codo, con la posterior instalación de anclas. También se realizó un colado de hormigón reforzado con barras de hierro, en dos direcciones y ligadas a las anclas. Reposición de la roca y el revestimiento, con hormigón en la parte inferior del túnel, con previa limpieza, colocación de tubos para inyectado y refuerzo con barras de hierro.



TÚNEL 3: No se registraron perjuicios importantes, excepto erosión incipiente en la parte final del codo y el tramo adyacente del túnel, donde el hormigón había sido mal colado.

TÚNEL 4: Debido a que no se había terminado el tratamiento con inyecciones detrás del revestimiento, esta estructura no entró en operación hasta fines de 1964.

En 1967, la operación de los vertedores fue normal hasta mediados de septiembre. El día 26 de ese mes se generó una perturbación meteórica que abarcó la parte central de México y se superpuso a otra que avanzaba a lo largo de la costa del Pacífico. El resultado fue una crecida sin precedentes en la historia del río Balsas, cuyo hidrograma en El Infiernillo se presenta en la fig. 1.3.

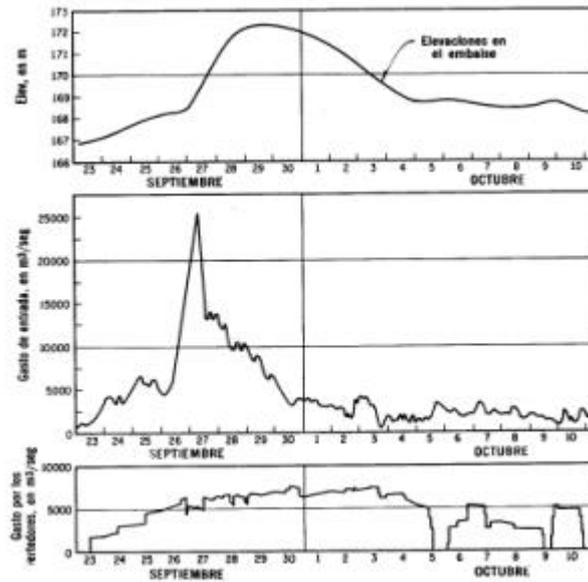


FIG. 1.3

La fotografía de la fig. 1.22 muestra el embalse y la salida de los vertedores cuando el agua alcanzaba el nivel máximo, elevación 172 (siendo la elevación de la corona de la cortina de 180). Los daños registrados en los túneles vertedores fueron moderados.

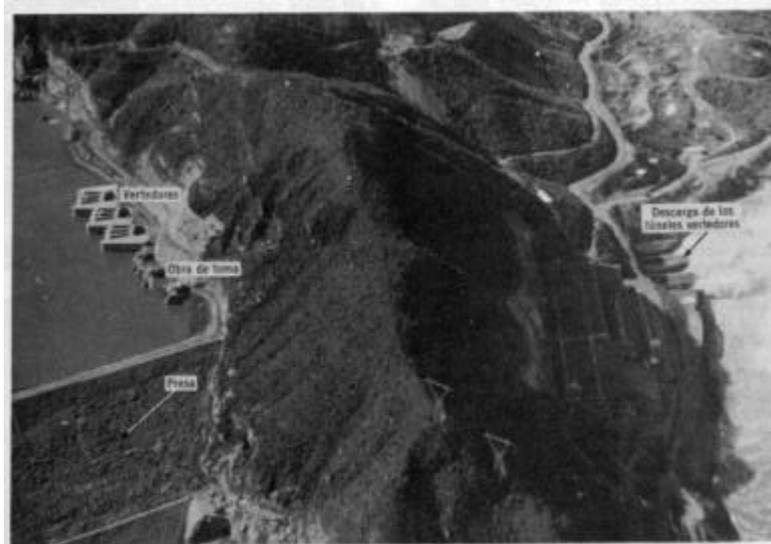
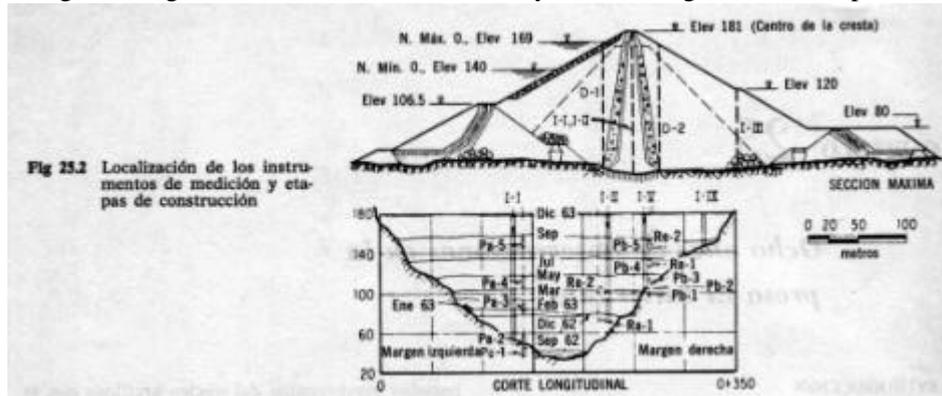


Fig 1.22 Vista aérea de los vertedores de El Infiernillo funcionando durante la avenida (sep 1967)

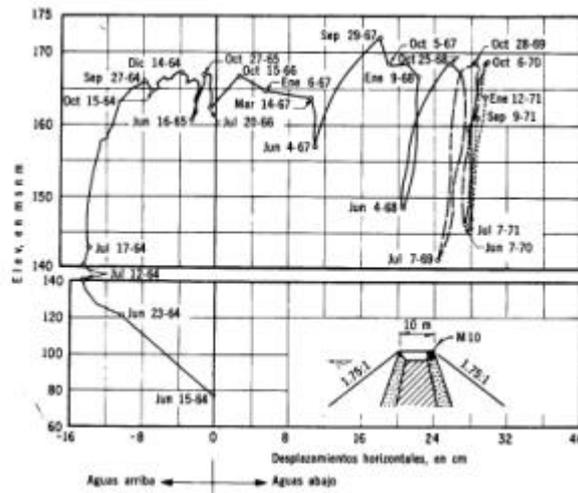


DESCRIPCIÓN DEL COMPORTAMIENTO

Las siguiente figura muestra la sección máxima y el corte longitudinal de la presa:



MOVIMIENTOS SUPERFICIALES: Para verificar si existía movimiento de la cortina se colocaron tres monumentos en las elevaciones 180 (cresta), 120 (berma) y 80 (plataforma) y se comprobó su desplazamientos en función del tiempo. Cuando el embalse comenzó a llenarse, la cresta se movió 14 cm hacia aguas arriba y se asentó 20 cm, mientras que el talud de aguas abajo acusó asentamientos y desplazamientos moderados. Después de julio de 1964, se registró una inversión en la dirección de los desplazamientos, es decir, estos ocurrieron hacia aguas abajo a medida que el nivel del agua crecía en el vaso. En la gráfica vemos los desplazamientos horizontales de la cresta con respecto a los niveles de agua en el vaso con alunas fechas importantes de referencia.



MEDICIONES PIEZOMÉTRICAS: se puede decir que su fluctuación a lo largo de los años de observación no es grande y refleja las variaciones del agua en el embalse en forma atenuada.

REGISTRO DE SISMOS: los acelerógrafos instalados no han registrado movimientos sísmicos desde 1966. A pesar de esto, el personal de operación de EL INFIERNILLO con frecuencia informa sobre temblores de baja intensidad en el sitio, sin embargo, estos no tienen incidencia importante en el comportamiento de la presa.

INTERACCIÓN NÚCLEO – RESPALDO: durante la construcción, el corazón impermeable se asentó más que los respaldos de enrocamiento. En el período antes de la iniciación del primer llenado del vaso, los movimientos relativos son despreciables. A partir del llenado del vaso, el enrocamiento de aguas arriba se asienta más que el núcleo y a su vez, se estrecha más que el respaldo de aguas



abajo. La interacción entre esfuerzos y deformaciones en las fronteras continúa hasta mediados de 1970. Posteriormente, las diferencias se desvanecen, sugiriendo el establecimiento de una nueva condición de equilibrio.

HUMEDECIMIENTO DEL ENROCADO: los desplazamientos que sufrió después del primer llenado del embalse, revelan la influencia de la inundación en las masas formadas por fragmentos de roca en la compresibilidad de los materiales.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

A raíz de la experiencia adquirida en la operación de los vertederos, se hace hincapié en el requisito de la flexibilidad funcional para las obras de excedencias. Por ello, el diseño de este tipo de obras debe no debe ser rígido y puede considerarse terminado después de haberlo expuesto a varios años de operación. Luego de ocho años de observaciones en la presa El Infiernillo, se pueden sacar las siguientes conclusiones:

- 1) La presa tiene un amplio margen de seguridad
- 2) El inesperado comportamiento registrado dos años después del primer llenado del embalse (1966), fue consecuencia de la interacción entre el núcleo y los respaldos, combinada con la marcada influencia del humedecimiento en la compresibilidad del enrocamiento.
- 3) La geometría de la cortina y las propiedades mecánicas del enrocamiento junto con los instrumentos instalados, han permitido la observación y el análisis de las deformaciones en el interior de la estructura, poniendo en evidencia la incompatibilidad en relaciones esfuerzo – deformación de los diversos materiales que forman la presa. Este efecto es quizá menos importante en otras cortinas altas, pero las que tienen un núcleo delgado, vertical, como en este caso, son muy sensibles a la interacción con un medio granular de compresibilidad diferente.
- 4) Diferentes observaciones revelan la susceptibilidad de la estructura a deformaciones del enrocamiento posteriores a la construcción. Retrospectivamente, tres parecen ser los factores que gobiernan tal proceso en esta presa, que son:
 - a) El enrocamiento fue mal compactado
 - b) Todo el enrocamiento fue colocado en estado seco
 - c) El enrocamiento tenía una granulometría más bien uniforme.

Por lo tanto, se concluye que es recomendable, para disminuir las deformaciones durante la construcción y después de ella, una buena compactación de capas, lo más delgadas posible y el humedecimiento del material antes de la colocación y durante varias fases de la construcción. En la mayoría de los casos, poco se puede hacer para mejorar la granulometría de los enrocamientos, excepto limitar el tamaño máximo de las partículas.

- 5) En proyectos futuros convendría observar desplazamientos cerca de las fronteras de materiales. No debe menospreciarse además, el registro de esfuerzos en varias direcciones dentro del corazón impermeable y el enrocamiento.

Bibliografía

Presas de tierra y enrocamiento

RAÚL J. MARSAL

DANIEL RESENDIZ NUÑES

Editorial Limusa

México -1979-