

CONSIDERACIONES SÍSMICAS PARA EL DISEÑO DE PRESAS DE TIERRA Y PROCEDIMIENTO A SEGUIR PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS, DESPUÉS DE OCURRIR UN SISMO

Ing. Diego Ferrer Fernández

RESUMEN

La construcción de una presa introduce importantes modificaciones en el medio ambiente, por cuanto se obstruye el cauce de un río para formar un embalse, el cual cubre una gran extensión de terreno hacia áreas altas, con la consecuente saturación de los terrenos que sirven de vaso de almacenamiento.

Los cauces de los ríos, sobre los cuales se construyen las presas, por lo general, han sido formados por fallas geológicas, las que han facilitado la generación de los mismos. El desplazamiento brusco de dicha falla, ocasionado por un movimiento sísmico, o el desplazamiento paulatino de ésta, si es activa, pueden ocasionar graves daños a la presa, inclusive su colapso. Por otra parte, al ocurrir un movimiento sísmico, se producen una serie de efectos como serían: vibraciones fuertes, tanto en el cuerpo de la presa, como en las fundaciones que la soportan; formación de olas que pueden sobrepasar la cresta de la presa; deslizamiento de las laderas saturadas del embalse, provocando su descenso y caída brusca dentro del embalse, con el consiguiente desplazamiento de agua embalsada y su rebose sobre la cresta de la presa, así como también otros efectos en las estructuras complementarias.

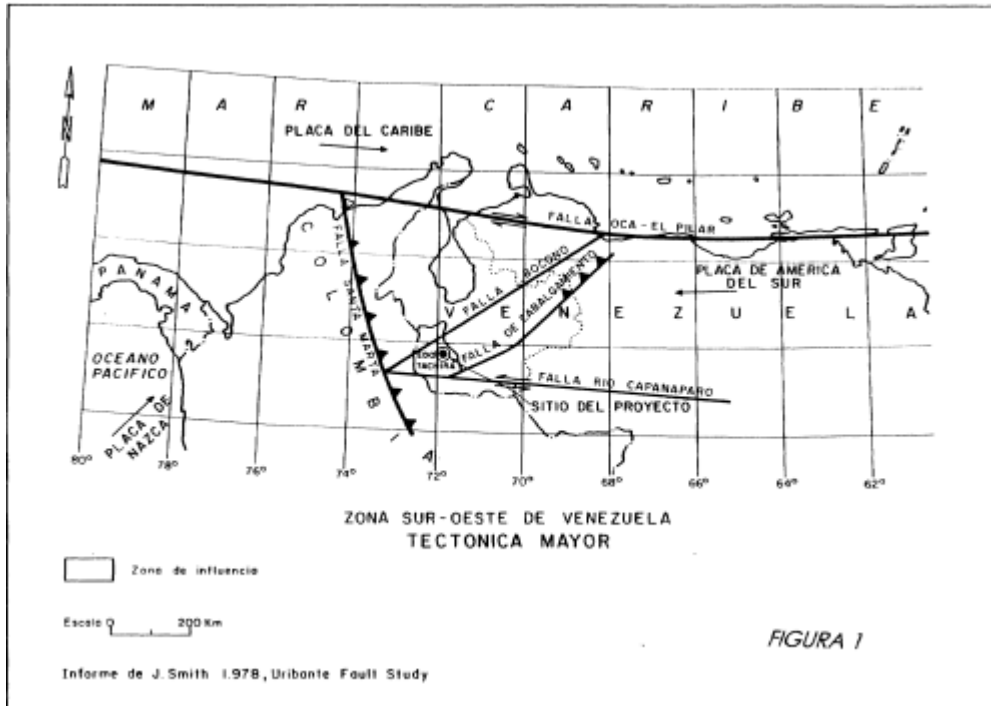
En el presente artículo, se resumen los estudios requeridos, así como los procedimientos a seguir en el diseño y construcción de presas de tierra, a fin de evitar que los problemas antes señalados, las afecten, en caso de ocurrir un sismo. Para complementar el trabajo, se describen los estudios realizados en la Presa Dos Cerritos ubicada aguas arriba de la población de El Tocuyo y en la Presa la Honda, de 140 m de altura, ubicada sobre el río Uribante, la cual se encuentra a 20 km. de la Falla Boconó, considerada la más activa de Venezuela.

Culmina el artículo, con el procedimiento que se debe seguir, para evaluar el comportamiento de las obras, en caso de que ocurra un sismo.

ACTIVIDAD SÍSMICA EN VENEZUELA

En Venezuela existe un sistema de fallas geológicas, algunas de las cuales son responsables de la mayor parte de los sismos ocurridos. Una de las fallas más importantes, no solo por su extensión, sino por su actividad, es la falla de Boconó; la cual se extiende desde Los Andes meridionales hasta el Caribe, siguiendo aproximadamente la dirección de la Cordillera Andina y continúa por la Cordillera de La Costa, hasta internarse en el mar Caribe, donde recibe el nombre de fallas del Caribe o de San Sebastián, a unos pocos kilómetros al norte del Litoral Central. Ver Fig. N° 1.

Con este sistema de fallas, que ha tenido períodos recurrentes de actividad desde el Cretáceo hasta nuestros días, se relacionan una serie de fallas menores, producidas por ajustes posteriores. (Ref. 1).



Hacia el este de la falla de Boconó, se encuentra el sistema de fallas del El Pilar, ubicado entre el Macizo Oriental y La Península de Araya-Paria, que continúa hacia el este, pasando al sur del sistema de montañas ubicado al norte de Trinidad. A este sistema de fallas sigue en importancia, la de Boconó, y a los movimientos de este sistema, se deben los sismos ocurridos en el pasado en la Península de Araya-Paria, en las islas de Margarita, Cubagua y Coche y en el norte de Trinidad, así como el ocurrido recientemente en Cumaná y Cariaco.



ACTIVIDAD SISMICA EN LA PLACA DEL CARIBE

FIGURA 2

El sistema de fallas antes mencionado, está asociado a los movimientos de la placa del Caribe, según puede observarse en la figura N° 2.

Entre los años 1.967, que fue cuando ocurrió el sismo de Caracas y el año 1.966, se han registrado 6.289 sismos, de los cuales, 132 han sido con una magnitud Richter mayor de 5, cuya distribución a lo largo del sistema de fallas antes mencionado, se ilustra en la figura N° 3. (Ref. 2)

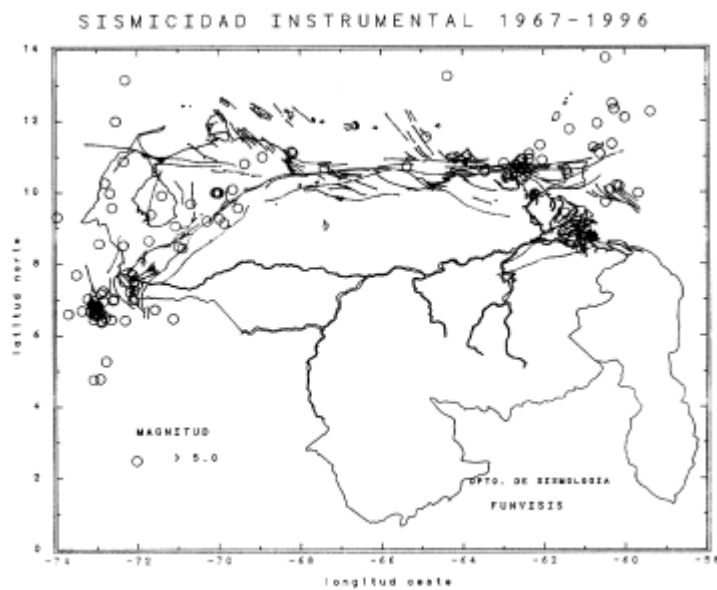


FIGURA 3

Como quiera que la mayoría de los sitios donde pueden construirse presas en Venezuela, están ubicados a lo largo de las cordilleras antes mencionadas, precisamente las más afectadas por los movimientos sísmicos, aunado al hecho de que los cauces de los ríos sobre los cuales se construyen las presas, por lo general, han sido formados por fallas geológicas, es de vital importancia tomar en cuenta el aspecto sísmico, al diseñarse y construirse presas, a fin de garantizar la estabilidad y seguridad de las mismas, a lo largo del tiempo.

COMO AFECTA UN SISMO A UNA PRESA

Cuando se construye una presa, se genera un embalse hacia aguas arriba, con lo cual las condiciones del sitio varían considerablemente, las laderas del embalse y la presa misma se saturan, de manera que cuando se produce un sismo, se generan vibraciones y fuerzas que actúan en forma diferente a la que presentaba en sus condiciones naturales.

Los tipos de falla que pueden presentarse en una presa cuando se produce un sismo son los siguientes:

a) Deslizamientos y distorsiones por esfuerzos de corte en el terraplén o en la fundación.

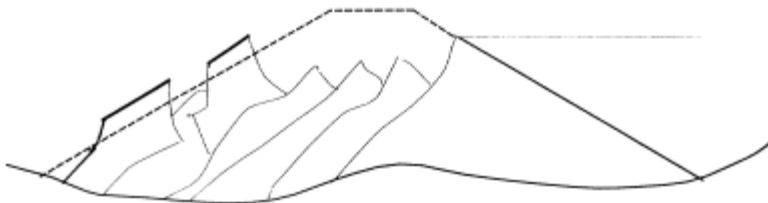


FIG.4 - DESLIZAMIENTOS O DISTORSIÓN POR ESFUERZOS DE CORTE

Al producirse un sismo, se generan vibraciones, que originan el desarrollo de fuerzas verticales y horizontales, con lo cual los esfuerzos de corte, tanto en la fundación como en el terraplén, se incrementan, lo cual puede producir deslizamientos y fallas como las que se ilustran en la figura N° 4.

b) Tubificación (erosión interna) a través de grietas en el terraplén, originada por movimientos diferenciales.

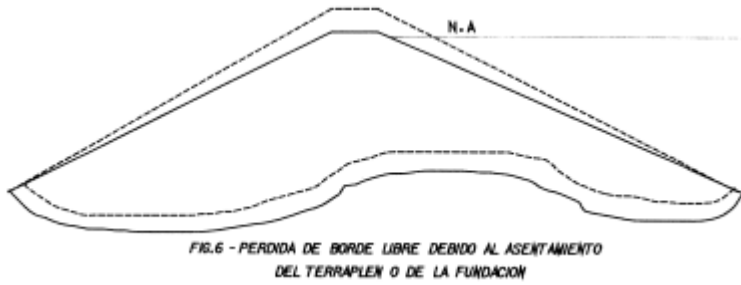


FIG.5 - TUBIFICACION (EROSION INTERNA) A TRAVES DE GRIETAS EN EL TERRAPLEN ORIGINADA POR ASENTAMIENTOS DIFERENCIALES

Los movimientos diferenciales ocasionados por asentamientos y desplazamientos del terraplén, originan grietas a través de las cuales comienza a circular el agua, la cual arrastra material hacia el exterior y va ensanchando la grieta hasta producir un conducto que facilita la erosión interna del material, que migra hacia el exterior, hasta producir el colapso de la presa. Ver figura N° 5.

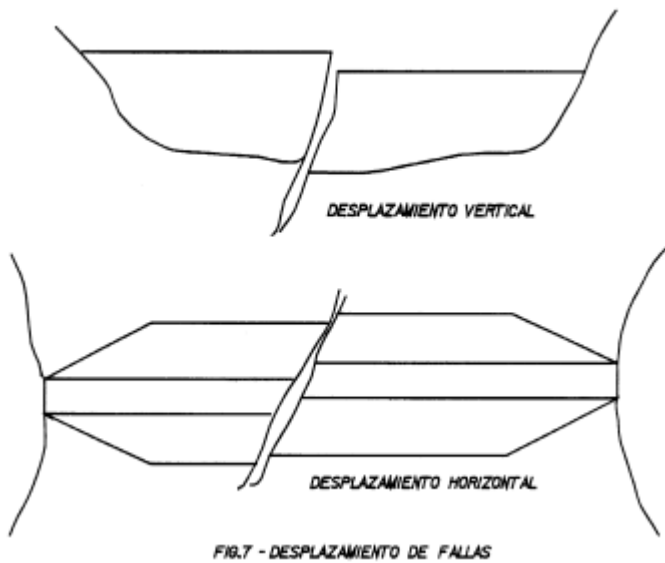
d) Pérdida de borde libre, debido al asentamiento del terraplén o de la fundación.

Los asentamientos del terraplén o de la fundación, hacen que la cresta de la presa descienda, con lo cual el borde libre (diferencia entre el nivel de aguas máximas y la cresta de la presa) se reduce, facilitando el paso del agua sobre la cresta, con la consiguiente erosión y colapso posterior del terraplén. Esta pérdida de borde libre puede ser también ocasionada, por movimientos relativos entre el vaso y la presa, debido al desplazamiento de fallas geológicas. Estos movimientos diferenciales, pueden también ocasionar el paso de agua, entre el terraplén y su contacto con el estribo, con la consiguiente erosión interna. Ver figura N° 6.



e) Rotura de la presa por movimientos de una falla geológica en la fundación.

Un movimiento sísmico, puede provocar el desplazamiento, tanto en sentido vertical, como en sentido horizontal, de alguna falla existente en el lecho de del río, lo cual provocará su rotura del terraplén de la presa y ocasionar su colapso. Ver figura N° 7.



f) Deslizamientos en el vaso de almacenamiento.

Los materiales que conforman el vaso de almacenamiento, se saturan, con lo cual disminuyen su estabilidad al producirse un sismo, las laderas pueden deslizarse súbitamente y caer en el embalse, provocando el desplazamiento del agua y por lo tanto, sobrepasar la cresta de la presa. Ver figura N° 8

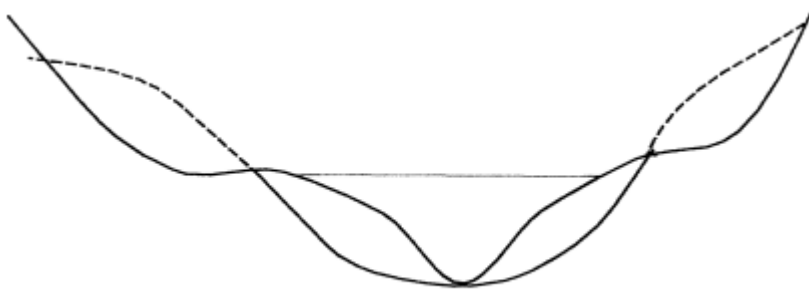


FIG.8 - DESLIZAMIENTOS EN EL VASO DE ALMACENAMIENTO

Desbordamiento por oscilaciones de período largo en el embalse (ola)

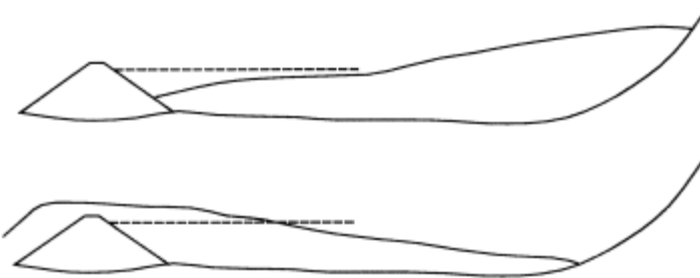


FIG.9 - DESBORDAMIENTO POR OSCILACIONES DE PERIODO LARGO

La sacudida sísmica, hace que el agua dentro del embalse, oscile hacia aguas arriba y aguas abajo respectivamente, pudiendo provocar el desbordamiento del embalse sobre la cresta de la presa. Ver figura N° 9.

Fallas en las estructuras complementarias.

Las estructuras complementarias tales como el aliviadero, torre toma y conductos subterráneos, pueden sufrir daños de consideración debido a la ocurrencia de un sismo.(Ref. 3).

CONSIDERACIONES QUE HAY QUE TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO

El diseño sísmico de presas de tierra ha progresado en las últimas décadas, debido al avance de los programas de computación. De los métodos pseudo estáticos, se han pasado a los métodos de elementos finitos, no obstante, el buen juicio y la experiencia, aunado a una adecuada investigación de campo, es lo que

puede permitir éxito en el diseño y construcción de las presas.

Hay problemas aún sin solución, tales como: la selección del sitio de diseño, la determinación de las presiones de poro originadas por el sismo, las deformaciones obtenidas de los datos combinados del análisis de respuesta y ensayos de laboratorio.

Para el óptimo diseño de una presa de tierra es necesario realizar los siguientes estudios:

Estudios Geológicos Regionales

Con estos estudios, debe determinarse el sistema de fallas así como de las principales unidades estratigráficas, a fin de establecer una correlación con los sitios que se van a estudiar. Estas correlaciones deben hacerse no solamente desde el punto de vista de geología pura, sino desde un punto de vista de geología aplicada, esto quiere decir que si en un estudio geológico regional, se menciona una formación geológica, deben indicarse las características físicas de la misma y los problemas que puedan suscitarse en la construcción de estructuras sobre dicha formación.

Al estudiar el sistema regional de fallas, es necesario determinar si son las más importantes de la región, o si son fallas secundarias, si han ocasionado movimientos sísmicos en la zona o si se han encontrado indicios de actividad en alguna de ellas, para lo cual en algunos casos habrá que realizar alguna exploración adicional.

Deberá determinarse el tipo de falla, desplazamiento, inclinación de la misma y tasa de acumulación de esfuerzos. (Ref. 4).

Para la realización de estos estudios, habrá que recurrir a los levantamientos geológicos realizados por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos, hacer reconocimientos aéreos y terrestres y hacer estudios sobre aerofotografías y fotos satélites.

Estudios geológicos del vaso de almacenamiento

Una vez llenado un embalse, las condiciones generales del sitio variarán, por lo tanto, deberán estudiarse todos aquellos problemas que puedan derivarse del almacenamiento de un volumen importante de agua en la región. Por lo tanto, los estudios geológicos que se realicen, deberán considerar los problemas que se puedan presentar, por la presencia de dicha agua, entre los cuales es importante destacar, los originados en laderas inestables, durante el descenso de las aguas, por cuanto éstas son propensas a deslizarse dentro del embalse, en especial, cuando ocurra un sismo, con lo cual, además reducirse el volumen de agua almacenada, pudiera poner en peligro la estabilidad de la presa, debido a la formación de olas que rebosen la cresta de la presa..

Es necesario determinar la influencia que puedan tener las principales fallas que atraviesan el embalse, en la construcción de las obras, investigar si alguna de ellas pueda tener alguna actividad y cuál será el comportamiento en caso de ocurrir un sismo. Se ha comprobado que algunos embalses construidos sobre fallas, producen un desequilibrio isostático que se traduce en microsismos, lo cual es necesario tomar en cuenta al diseñar las obras.

Estudio de las características sísmicas de la región

En el estudio de presas, se hace imperativo tomar en cuenta la actividad sísmica de la región, a fin de adecuar

el diseño de la presa y estructuras complementarias, a los problemas sísmicos que puedan presentarse. Para ello es necesario determinar el grado de sismicidad del área.

La investigación debe ser muy detallada, para lo cual, en algunos casos, habrá que hacer exploraciones a través de las fallas que se observen en la roca de fundación. Asimismo, deben estudiarse los suelos y rocas que conforman las fundaciones, en especial los suelos susceptibles a densificación o licuación.

Al elegir la sección de la presa, deberán extremarse los cuidados en la escogencia de los materiales de construcción, y se debe ser conservador en la selección de la sección de la presa y debe preverse un riguroso tratamiento de fundaciones.

La magnitud y grado de exploración que se realice, dependerá del tamaño, localización y usos del embalse. Una presa alta con un embalse grande, será potencialmente más peligrosa que uno pequeño, asimismo, será más peligrosa una presa ubicada aguas arriba de una población, que otra localizada en zonas deshabitadas o lejanas a centros poblados.

La recopilación de la información relativa a los sismos ocurridos, es de mucha importancia para determinar la peligrosidad del área, por cuanto la probabilidad de sismos en una zona, es aproximadamente proporcional a la densidad de sismos ocurridos en el área (Ref. 5). Es muy importante estimar, de los registros históricos, las aceleraciones que puedan producirse en el sitio de presa.

La mejor información sísmológica sería la referente a la frecuencia y severidad de sismos futuros, pero como ello no es posible, especialmente la relativa a intensidad y magnitud, los diseños habrá que hacerlos considerando las condiciones más adversas. El estudio del sistema regional de fallas, efectuado durante el estudio geológico regional, asociado a aquellas fallas que han tenido actividad en tiempos históricos, es de mucha importancia.

El hecho de que haya zonas sísmicas y fallas geológicas activas, no es motivo suficiente para rechazar un sitio de presa. Existen casos históricos de embalses construidos en zonas sísmicas e inclusive, cruzada por fallas activas, en las cuales se produjeron sismos con desplazamiento de los sistemas de falla, que tuvieron un comportamiento adecuado durante la ocurrencia del sismo.

Finalmente, en las zonas sísmicas debe preverse la instalación de un buen sistema de instrumentación, no solo en el terraplén de la presa, sino en el área del embalse y zonas circunvecinas, a fin de observar el comportamiento de las obras en caso de que ocurra un sismo. Esta instrumentación debe incluir controles geodésicos, para medir los desplazamientos del sistema de fallas y de acelerógrafos para medir la magnitud y aceleraciones.

Estudio detallado del sitio de presa

Las investigaciones que se realicen en el sitio de presa, son realizadas con la finalidad de determinar los tipos y distribución de suelos y rocas que existen en la fundación y los estribos, y determinar sus propiedades, desde el punto de ingeniería, en especial el esfuerzo de corte, la compresibilidad y la permeabilidad.

Se debe estudiar la susceptibilidad de las fundaciones y los estribos, a sufrir deformaciones importantes durante la ocurrencia de un sismo, así como también estudiar las fundaciones blandas, por cuanto estas pueden sufrir deformaciones importantes durante un movimiento sísmico; debe estudiarse también la presencia de limos y arenas saturadas porque éstas pueden ser afectadas por el fenómeno de licuación durante la ocurrencia de un sismo.

Previamente a la exploración del subsuelo, debe hacerse un estudio geológico detallado de superficie, el cual debe correlacionarse con la exploración detallada del subsuelo mediante perforaciones. Los métodos de exploración que se utilicen, el número y espaciamiento de los sondeos, y la profundidad de los mismos dependerá de la altura de la presa y de la complejidad de la fundación. Se deberán realizar algunos ensayos de laboratorio en muestras inalteradas de materiales representativos, con la finalidad de determinar el tipo y propiedades generales de las fundaciones; en algunos casos conviene emplear métodos geofísicos, para completar la exploración.(Ref. 4 y 5).

La ejecución de ensayos de resistencia al corte, bien sea mediante el método de corte directo mediante ensayos triaxiales, son de mucha importancia para determinar los parámetros de resistencia de las fundación, estos ensayos deben complementarse con la ejecución de ensayos de corte cíclicos, con la finalidad de investigar la resistencia dinámica y en esta forma determinar la licuación potencial de los suelos en caso de ocurrir un sismo.

Diseño de la presa

Previamente al diseño de una presa de tierra, es conveniente tener en mente las siguientes medidas preventivas, para prevenir fallas en caso de un sismo:

- a) Dejar suficiente borde libre
- b) Usar transiciones amplias de material no susceptible al agrietamiento.
- c) Usar zonas de drenaje adecuadas, que permitan evacuar rápidamente el flujo de agua a través de las grietas.
- d) Usar filtros bien gradados aguas abajo del núcleo de la presa.
- e) Ensanchar el núcleo en el contacto con los estribos.
- f) Usar en el núcleo, materiales plásticos no susceptibles al agrietamiento.
- g) Evitar ubicar la presa, en aquellos sitios donde las laderas del vaso de almacenamiento sean susceptibles a deslizarse.
- h) Proporcionar un conducto para permitir la rápida evacuación de las aguas embalsadas, en caso de que la presa sufra daños.

Hay autores que recomiendan no ubicar presas sobre fallas activas, no siempre esto es posible, por lo cual en el diseño habrá que tomar todas las precauciones, para que no falle la presa cuando se produzcan desplazamientos en las fallas, esto será tratado más adelante al referirnos a las Presas Dos Cerritos en el Tocuyo y La Honda, en el Uribante.(Ref. 3).

Será necesario primero hacer un análisis estático de la presa y una vez seleccionada la sección a utilizar, deberán realizarse análisis dinámicos, más adelante al tratar los estudios realizados para la presa la Honda, se indica la metodología a seguir.

Cuando el material de la presa no tiene drenaje libre, las presiones de poro se incrementan con lo cual se

reduce la estabilidad de la misma. Por esto es necesario hacer una estimación de las posibles presiones que se producen.

Los materiales permeables como las gravas o los enrocamientos, permiten una rápida disipación de la presión de poros dinámica. Cualquier disipación de la presión de poros, resultará necesariamente, en una mayor resistencia al desarrollo de deformaciones y en una menor susceptibilidad a la licuación.

Con la finalidad de ilustrar en forma más objetiva el procedimiento a seguir, para los estudios que hay que realizar en sitios de presa en zonas sísmicas, se relatan dos experiencias, la primera se refiere a la Presa dos Cerritos en el Alto Tocuyo, en el estado Lara y la segunda se refiere a la Presa la Honda, sobre el Río Uribante, en el estado Táchira, ambas ubicadas en las cercanías de la falla Boconó.

PRESA DOS CERRITOS SOBRE EL RÍO TOCUYO

La presa Dos Cerritos sobre el Río Tocuyo, está ubicada 4 km aguas arriba de la población de El Tocuyo en el Estado Lara y sirve para suministrar agua a Barquisimeto, El Tocuyo y Quibor, así como para regar 4.500 has. en los alrededores de El Tocuyo. Esta presa fue construida en el año 1.973 por el Instituto Nacional de Obras Sanitarias. Los estudios de la Presa Dos Cerritos marcaron la pauta en Venezuela, en lo que se refiere a la orientación de los estudios sísmicos en presa de tierra. La región de El Tocuyo es una región altamente sísmica y se incluye en el denominado Foco de El Tocuyo, el cual ha aumentado su actividad y está influenciado por la falla de Boconó, la cual se encuentra a una distancia de 20 km aguas arriba del sitio de presa. Hay indicios de actividad histórica en este sistema de fallas, tan es así, que han ocurrido varios sismos, entre los cuales pueden considerarse de mucha importancia el ocurrido en el año 1.870 catalogado como desastroso y el ocurrido en 1.950, donde hubo la destrucción de la población de El Tocuyo. Este último terremoto fue causado por el desplazamiento horizontal de la falla de Boconó. (Ref. 6).

Es importante señalar, que la construcción de esta presa causó mucha polémica, por cuanto los primeros estudios se iniciaron en el año 1.965, cuando los pobladores de El Tocuyo aún no se habían recuperado del impacto del terremoto; fue necesario entonces hacer una serie de reuniones, charlas explicativas y foros, donde se debatió ampliamente el proyecto, hasta que en febrero de 1.967, es decir, pocos meses antes de que ocurriera el sismo de Caracas, se presentó el estudio geológico preliminar donde se concluía que era factible la construcción de una presa sobre el río Tocuyo. El Estudio Geológico Definitivo se concluyó en mayo de 1.968 y el Proyecto definitivo en agosto de 1.968. Los estudios, en los cuales intervino el autor, estuvieron dirigidos por el ingeniero Carpóforo Olivares Sosa(+), pionero de los proyectos de presa en el país, intervinieron también profesionales de alta experiencia entre los cuales se encontraban el Ing. Manuel Isava Carbonell, el Geo. Ernesto Alcaíno Alarcón y el Geo. Sergio Bajetti Bianchi. Se contó además con la valiosa asesoría de los ingenieros Ing. James L. Sherard(+) y Lloyd S. Cluff.

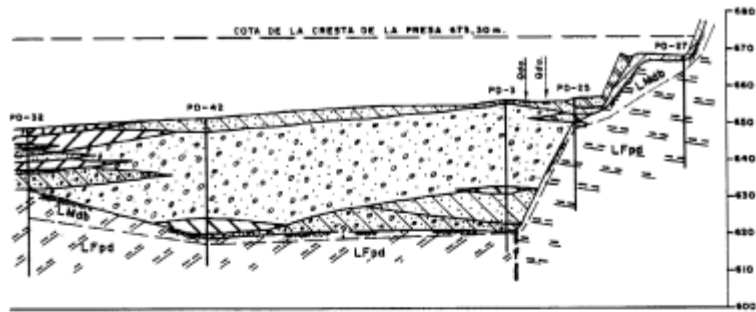
Para la elaboración del proyecto de esta presa, fue necesario efectuar primero un estudio geológico regional que permitió determinar en forma detallada, en un área de 273 km², todo el sistema de fallas que pudieran afectar el sitio de presa (Ver figura N° 10). El estudio geológico de superficie, incluyó también, la investigación detallada de los sitios de presa.

Los estudios geológicos detallados del subsuelo, incluyeron la apertura de trincheras a máquina, así como la exploración geológica del subsuelo, mediante perforaciones, las cuales permitieron determinar los desplazamientos ocurridos en las fallas. (Ref. 7).

El sitio de presa seleccionado, está ubicado aguas arriba de la confluencia de la Quebrada La Guajira en el Río Tocuyo, por lo cual viene a estar conformada por un sistema de dos presas que se unen, razón por la cual se le dio el nombre de Dos Cerritos. El perfil geológico del sitio de presa, reveló la presencia de un espesor de aluviones cercano a los diez metros (10 m) en el Río Tocuyo y de espesores de aluviones de treinta y cinco metros (35 m) en la quebrada la Guajira (Ver figuras N° 11 y 12) . Estos materiales aluviales están constituidos por gravas arenosa densas con peñones, sobre los cuales yace una capa de arena limosa, con un espesor variable entre 1 y 4 metros.

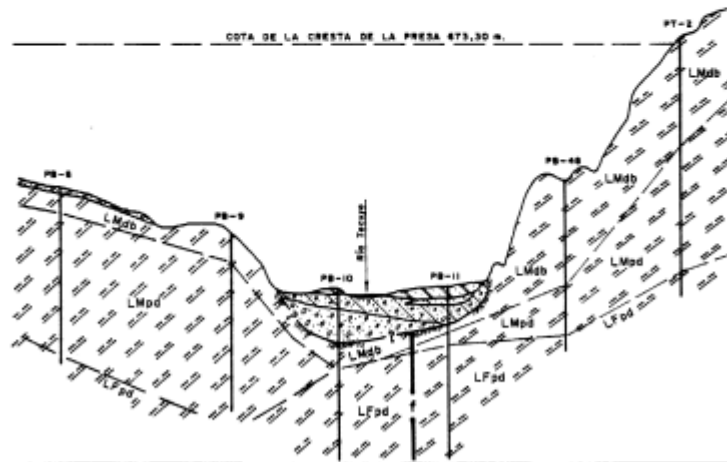
Dadas las características geológicas antes mencionadas, se adoptaron las siguientes medidas para el diseño del terraplén de la presa:

Se dejó un borde libre de 6,50 m, a fin de garantizar que con la ola que pudiese ocurrir durante un sismo, no se sobrepase la cresta de la presa; adicionalmente, se colocó en el espaldón aguas abajo de la presa, un enrocado de protección con un espesor de 10 m, a fin de evitar la erosión del talud, en caso de que por alguna eventualidad, el agua vertiese sobre la cresta de la presa. Ver figuras N° 13 y 14.



SITIO DE PRESA N° 2 - PERFIL GEOLOGICO

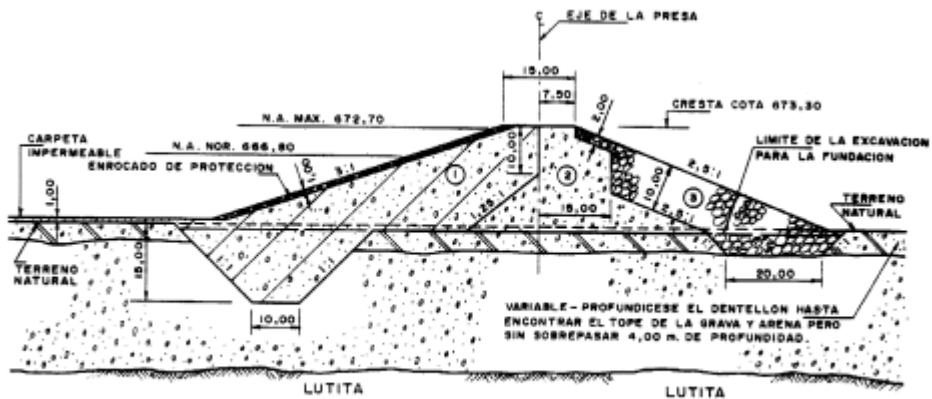
FIGURA 11



SITIO DE PRESA DOS CERRITOS - PERFIL GEOLOGICO

PRESA DOS CERRITOS

FIGURA 12



SECCION TIPICA POR EL SECTOR DERECHO DEL VALLE

FIGURA 13

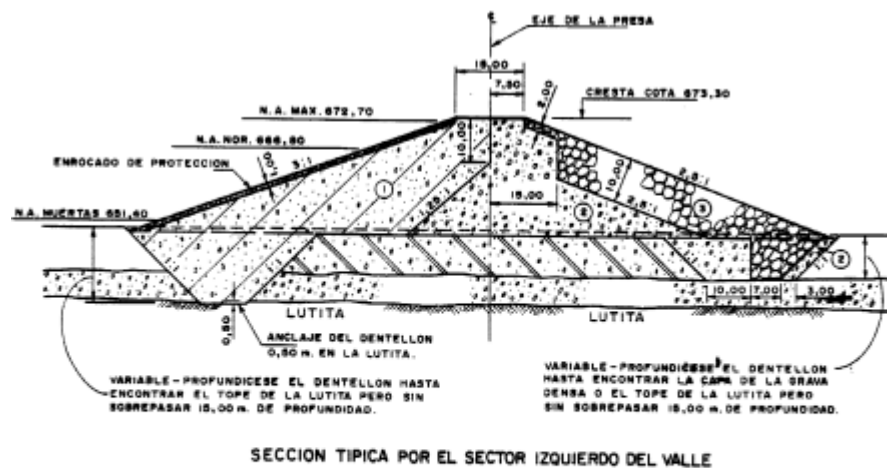
Se adoptó una sección robusta, que permitiese desplazamientos hasta de 5 m, sin que falle la presa, en efecto la sección mostrada en la figura N° 13 , se caracteriza por lo siguiente:

Un ancho de cresta de 15 metros, el cual es tres veces el ancho normal de una presa de esta misma altura, esto incrementa la estabilidad de la sección.

Una zona de material impermeable constituida por gravas arcillosas, con tamaño máximo de 3", con un porcentaje 20% de material que pasa el tamiz N° 200, con las siguientes características de plasticidad: LL = 22,9, LP = 10,9, IP =12; estos materiales son impermeables, poseen gran resistencia al corte y poca deformabilidad. Esta zona viene a constituir el espaldón aguas arriba de la presa, tiene un ancho mínimo de 7,50 m en la cresta, con el talud aguas arriba con una pendiente 3:1, protegida con un enrocado de protección de 1,00 m de espesor.

Inmediatamente en contacto aguas abajo de la zona antes nombrada, se encuentra una zona permeable constituida por gravas arenosas limpias bien gradadas, con las siguientes características granulométricas:

- Gravas (3" a tamiz #4) : 59% a 67%
- Arenas (tamiz #4 a tamiz #200) : 30% a 35%
- Finos (pasa tamiz #200): 3% a 6%



- LEYENDA**
- ① NUCLEO IMPERMEABLE DE GRAVAS ARCILLOSAS CON PARTICULAS MENORES DE 3" (7,62 cm).
 - ② RELLENO DE GRAVA Y ARENA LIMPIA
 - ③ ENROCADOS DE CANTOS Y PERONES

PRESA DOS CERRITOS

FIGURA 14

Estos materiales son permeables, poseen alta resistencia al corte y poca deformabilidad. Esta zona tiene un ancho mínimo de 7,50 m en la cresta de la presa, la cual luego se ensancha hasta tener un ancho de 15 m. como puede verse en la figuras N° 13 y 14.

Un enrocado de protección en el talud aguas abajo, con un espesor de 2 m en la parte superior y de 10 m en el resto de la sección, con el talud 2,5:1.

Dos dentellones, el primero aguas arriba, que viene a constituir una continuación del espaldón aguas arriba, con una profundidad variable, dependiendo del espesor del material aluvial, pero hasta un máximo de 15 m, con lo cual, en los sitios de poco espesor aluvial, quedará anclado en la roca, según puede verse en la figura N° 14 y en los sitios de máximo espesor, quedará dentro de la grava arenosa densa, tal como se observa en la figura N° 13 . El segundo dentellón está ubicado en el

talud aguas abajo y sirve para alojar el enrocado de protección y se profundizará hasta el tope de la grava densa, según puede observarse en la figura N° 13.

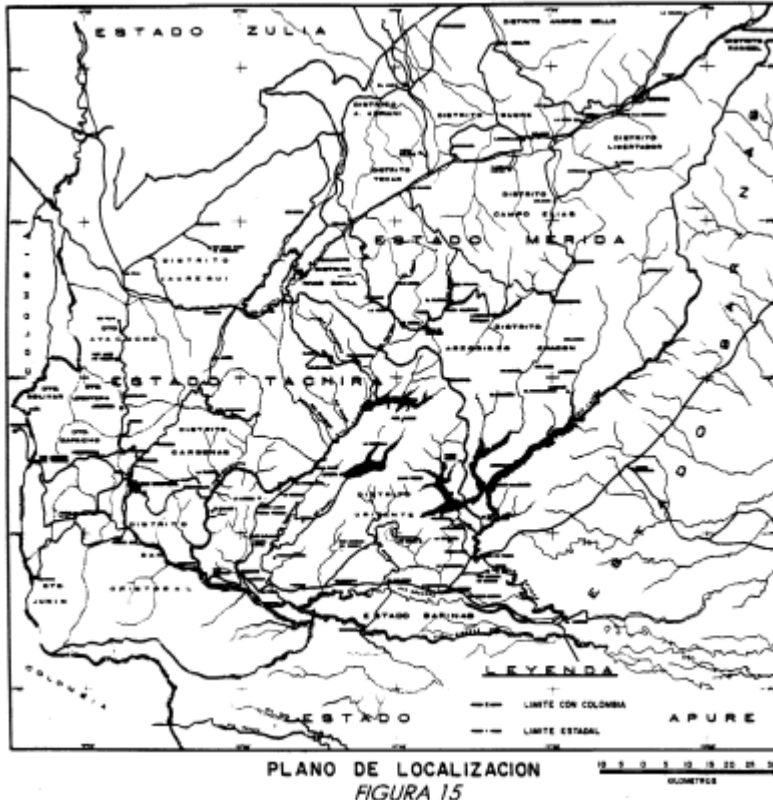
Con la sección adoptada, la presa es resistente a los sismos, no es susceptible de sufrir grandes deformaciones, ni fallas de corte en los taludes; es capaz de aceptar un desplazamiento de hasta 5 m, como consecuencia del movimiento de una falla en la fundación, sin que la presa colapse. En caso de producirse un agrietamiento en la zona del espaldón aguas arriba, la zona de gravas que está inmediatamente aguas abajo, servirá de filtro, con lo cual no podrán ocurrir erosiones y a la vez, permitirá el drenaje rápido de las aguas. Además, tal como se dijo con anterioridad, posee un amplio borde libre. (Ref. 8).

Un aspecto muy importante, es que durante la construcción se llevó a cabo un estricto control de calidad.

Finalmente es importante destacar el hecho de que, además del sistema normal de instrumentación que se instala en las presas, por primera vez, se instalaron acelerómetros para registrar sacudidas violentas (strong motion accelerometer). No se tiene conocimiento si éstos están operativos y si hay registros de ellos.

PRESA LA HONDA SOBRE EL RÍO URIBANTE

La presa La Honda Sobre el Río Uribante, fue construida por CADAFE y forma parte del Desarrollo Uribante-Doradas, perteneciente al Aprovechamiento Hidráulico Uribante-Doradas-Camburito-Caparo, y tiene como finalidad, almacenar agua para conducirla a la central San Agatón, donde se generan 300 MW.

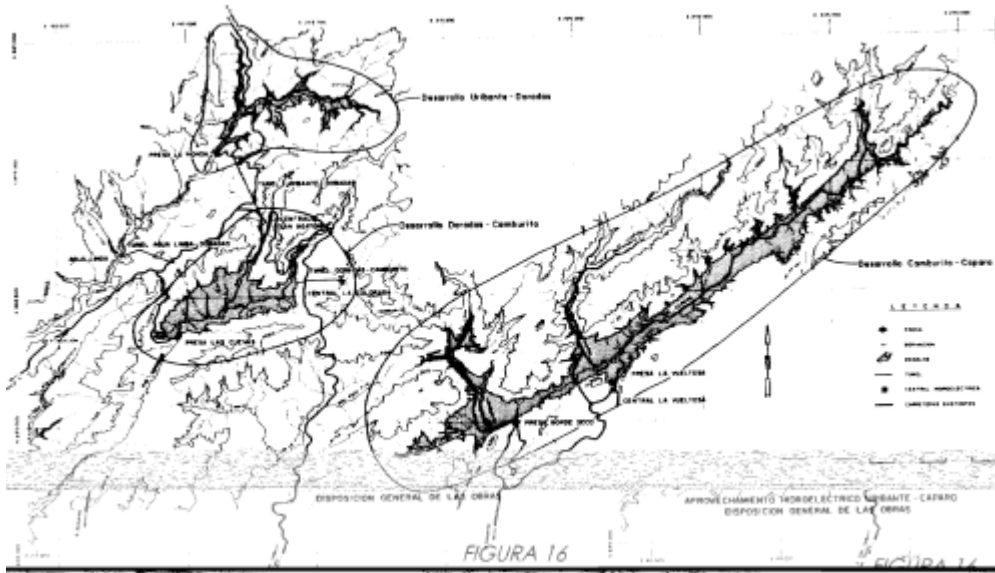


El Desarrollo Uribante Doradas está conformado por la presa La Honda, la cual ha creado un embalse de 11 km de longitud que almacena 750 millones de metros cúbicos, el agua de este embalse es conducido a la Central San Agatón, a través de un túnel de 8.120 m de longitud y 5,3 m de diámetro, con un pozo vertical de 271 m.

El área donde se construyó la Presa la Honda, está ubicada en la región sur-occidental de los Andes venezolanos, los cuales se extienden por más de 400 km en dirección EN-SW. La conformación geológico-topográfica de la cordillera, ha originado ríos que corren sensiblemente paralelos a dicha cordillera, a diferentes niveles, lo cual permitió la conformación de los cuatro desarrollos que conforma el sistema, los cuales permiten trasvasar las aguas en forma escalonada, desde las cuencas más altas hasta las más bajas. Ver figura N° 15.

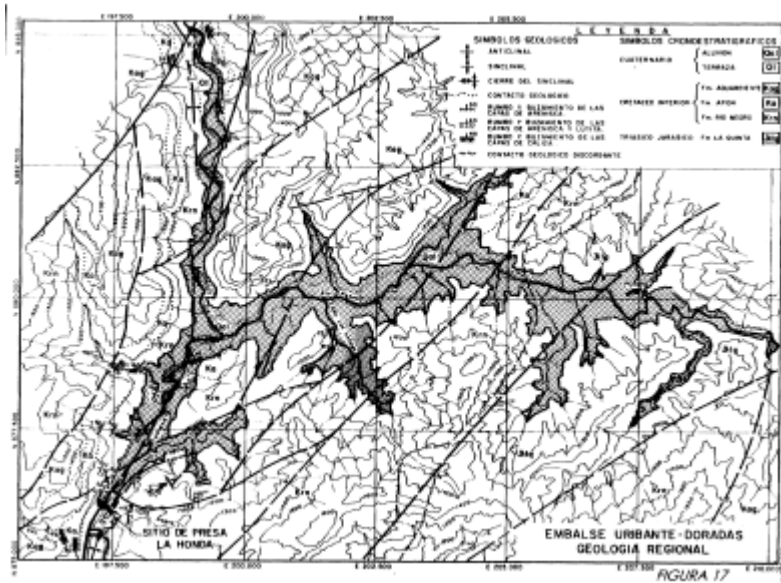
El área donde se construyó la presa, presenta un sistema de fallas sensiblemente paralelas a la cordillera de los Andes y también paralela a la falla mayor de Venezuela, la falla Boconó, localizada a 20 km del sitio de presa la Honda (Ver figura N° 1). Esta falla es capaz de generar sismos magnitud 8,25 en la escala de Richter, con intervalos de 100 a 200 años. Se encuentran también otras fallas menores, asociadas con la antes mencionada, que tienen íntima relación con las características sísmicas, geológicas y topográficas de la zona.

Para el estudio de todo el Aprovechamiento Hidroeléctrico, se hizo un estudio geológico regional en un área de 2.250 km² aproximadamente, para lo cual se realizaron reconocimientos aéreos y terrestres, se utilizaron los mapas geológicos preparados por el Ministerio de Minas e Hidrocarburos y se recurrió al estudio de aerofotografías y fotos satelitales; luego se realizó un estudio más detallado en el área del vaso de almacenamiento, cubriendo un área aproximada de 300 km², complementando los estudios con apertura de trincheras, calicatas y perforaciones a máquina. En la figura N° 16 se observan las características geológicas del vaso de almacenamiento. (Ref. 9).



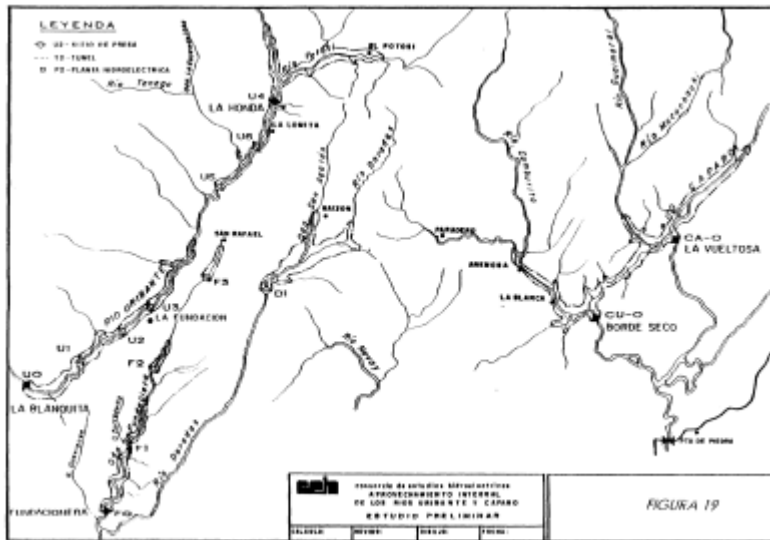
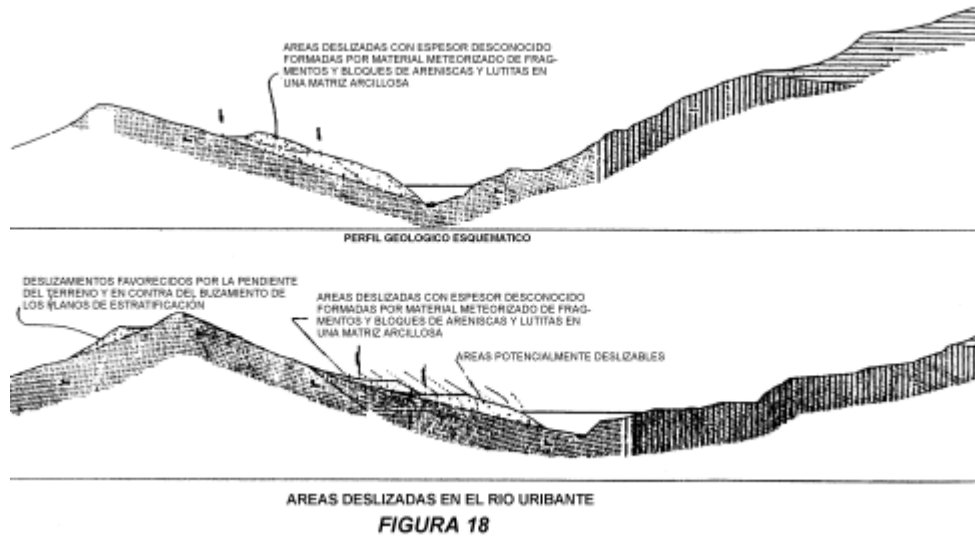
Los estudios inicialmente realizados para el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Uribante, estaban orientados a la construcción de una presa, en el sitio denominado La Blanquita, la cual formaría un embalse de 17 km de longitud, adquiriendo el vaso una forma alargada y estrecha, con muchas quebradas que concurren al valle del río Uribante.

Las laderas que conforman el vaso de la margen izquierda del río Uribante en ese sector, tienen una topografía bastante irregular y accidentada, ya que estas áreas son originadas por deslizamientos sucesivos de los materiales que cubren las laderas. Las formaciones que constituyen dichas formaciones se denominan, Río Negro, Apón, Aguardiente y La Quinta; esta última formada por lutitas, muy propensas a los deslizamientos. Ver figura N° 17.



Se observó durante la ejecución de los estudios, que el mayor problema para la ubicación de las obras, era la existencia de grandes masas potencialmente deslizables, las cuales al irrumpir hacia el embalse, no solo llenarían el vaso hasta imposibilitar su aprovechamiento, sino podrían producir un brusco desplazamiento de las aguas, poniendo en peligro la estabilidad de la presa. Dada estas circunstancias, se fueron estudiando sitios de presa hacia aguas arriba del río Urbante, hasta llegar al sitio de presa la Honda. Se estudiaron en total 7 sitios de presa, con diversas condiciones de trasvase, según puede observarse en la figura N° 18. (Ref. 4).

Esto obligó a considerar otros sitios de presa hacia aguas arriba, hasta llegar a la selección del sitio de presa la Honda, actualmente en operación. Se estudiaron en total siete sitios de presa en el río Urbante, uno en el Doradas, uno en el Camburito y uno en el Caparo, y se analizaron 26 soluciones alternativas de trasvase. Ver figura N° 19.



Características Geotécnicas del Sitio de Presa La Honda

En área del sitio de presa se hizo un reconocimiento geológico detallado, comenzando primero con levantamiento geológico de superficie y luego con la exploración detallada del subsuelo, mediante perforaciones profundas, trincheras y túneles exploratorios. Los resultados de este estudio se indican en la figura N° 20.

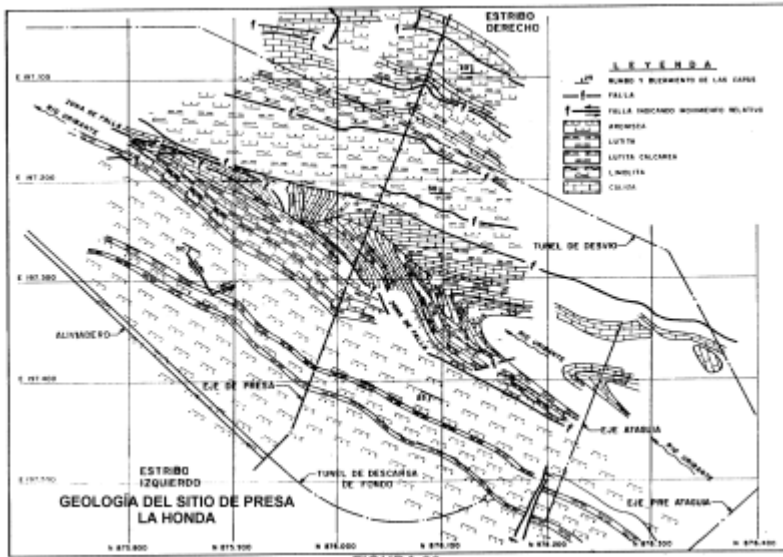
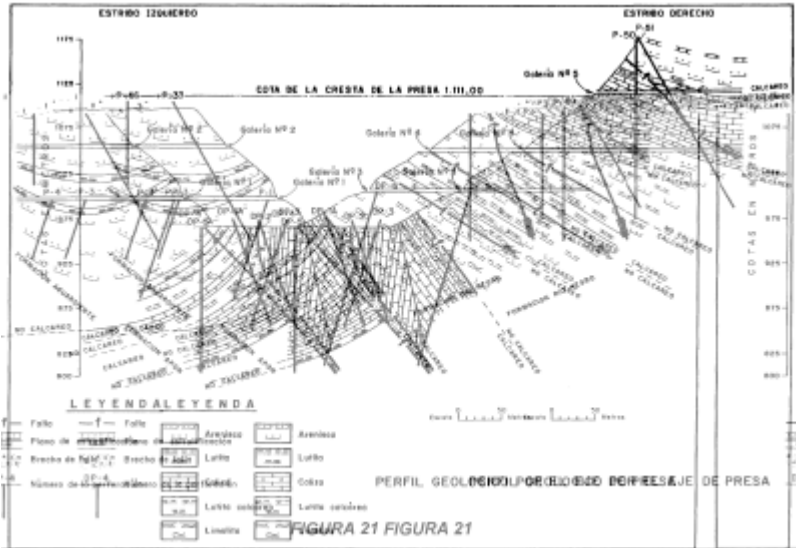


FIGURA 20

La presa está cimentada sobre un valle profundo, formado por un cauce de 50 m de ancho. A lo largo del cauce del río corre una falla, la cual hace que las características geológicas de los estribos sean diferentes.

El estribo izquierdo consiste de areniscas y lutitas estratificadas, y presenta estratos, que generalmente tiene un buzamiento favorable hacia dentro de la ladera. Las areniscas, por lo general, son de grano fino y escasamente cementadas. La roca de fundación es relativamente permeable y hay una gran posibilidad de erosión a lo largo de las grietas, alguna de las cuales están vacías y otras rellenas con arena. (Ref. 10 y 11).

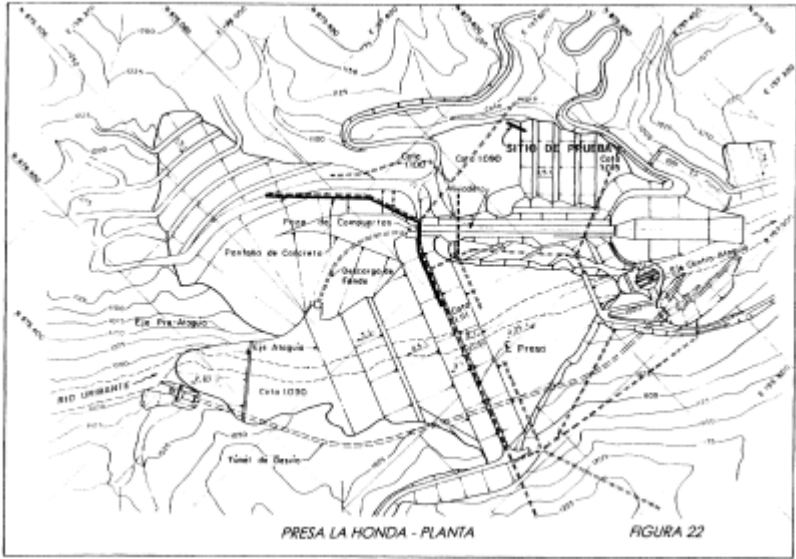
El estribo derecho consiste en capas alternas de areniscas calcáreas, calizas y lutitas. Las areniscas son más duras y menos friables que las del estribo izquierdo. Se localizó una falla diagonal que se extiende desde su intersección con la falla del cauce, 1 km aguas arriba del eje de la presa, hasta aproximadamente 200 m a la derecha de la cresta, esta falla es corta y desplaza dos capas de caliza, en las cuales se observaron oquedades de disolución. Aunque la roca de fundación en este estribo es tan permeable como la del izquierdo, la roca por lo general, no es erosionable. Ver figura N° 21.



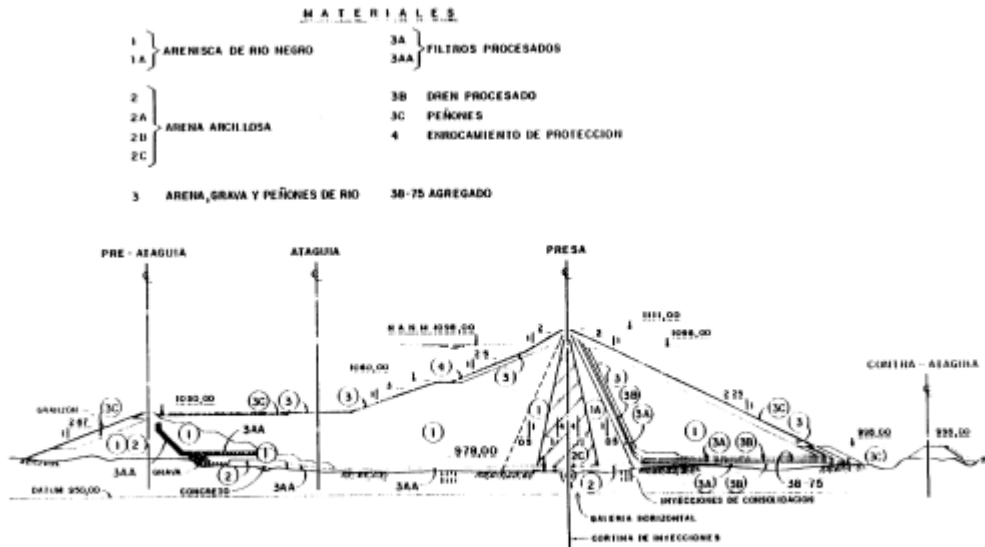
Características de la presa

La presa La Honda es de tierra zonificada, tiene una altura de 140 m aproximadamente. El túnel de desvío está ubicado en el estribo derecho y el aliviadero y la descarga de fondo, en el estribo izquierdo. Está provista de un sistema de filtros y drenes, para proteger cualquier infiltración que se produzca a través de la presa.

Se requirió además, de un complicado sistema de tratamiento de fundaciones, mediante inyecciones de cemento, galerías de drenaje y una pantalla de concreto de 20.000 m² ubicada en el estribo izquierdo. Ver figura N° 22.



Tomando en cuenta las condiciones sísmicas de la región y las características geológicas del sitio, se adoptó la sección que se indica en la figura N° 23, la cual está conformada por un delgado núcleo de arenas arcillosas y unos espaldones, que conforman el mayor volumen del terraplén de la presa, constituidos por areniscas trituradas según se describe a continuación:



PRESA LA HONDA-SECCION MAXIMA
FIGURA 23

Espaldones

Los espaldones están contruidos con areniscas trituradas, las cuales se comportan como una arena limosa de grano fino a medio, bien gradada, con contenidos de fino que varían entre 8% y 20%; conforman la zona 1 del terraplén y constituyen un relleno de arena densa, con una alta resistencia al corte, de baja compresibilidad y poca permeabilidad. Las densidades de laboratorio de estas areniscas, referidas al Proctor Modificado, variaron entre 1.835 y 2.130 kg/m³ con humedades óptimas variables entre 7,5 % y 12 % y fueron compactadas en el terraplén con densidades de campo promedio de 98%.

Como quiera que estas areniscas son propensas a la erosión, se rellenaron las grietas de las juntas de la roca de fundación, mediante un tratamiento intensivo, a fin de evitar la migración de la arena del terraplén hacia la fundación.

Núcleo

Está constituido por arenas arcillosas de baja a media plasticidad, con un límite líquido variable entre 20 y 40 y un límite plástico variable entre 3 y 20. La densidad máxima referida al Proctor Normal varía entre 1.750 y 2.075 kg/m³ con una humedad óptima variable entre 7% y 18%; la densidad mínima de colocación fue del 95%, con contenidos de humedad variables entre 0,5 % bajo la humedad óptima y 2,5 % sobre la humedad óptima, a fin de lograr un terraplén que pudiese sufrir deformaciones sin agrietarse.

Sistema de drenaje

A fin de proteger el terraplén de erosiones, se construyó un sistema de drenaje bajo la presa y dentro de los estribos, a fin de que las inevitables infiltraciones a través de la presa y de la cortina de inyecciones, sean inofensivas. Consiste en un dren de chimenea, una carpeta de drenaje, un dren colector y una cortina de drenaje en ambos estribos. La carpeta de drenaje cubre toda el área del espaldón aguas abajo y está protegida con filtros para evitar la migración del material de la fundación y del relleno. Esta carpeta y el dren de chimenea conducirán las aguas de infiltración a un dren colector central de gran capacidad, el cual termina en el pie aguas abajo de la presa, donde el caudal infiltrado se controla en un vertedero aforador.

Protección de los taludes contra la erosión

El talud aguas arriba del terraplén, por debajo del nivel mínimo de operación, está protegido con una capa de arena, grava y peñones; por encima de este nivel, se incrementó el espesor del enrocado.

Análisis de estabilidad

Para determinar la estabilidad de la presa se hicieron los siguientes análisis:

Infiltración a través de la presa

Estabilidad estática

Esfuerzo-deformación

Estabilidad dinámica

Infiltración a través de la presa

Se hizo un análisis de la infiltración a través de la presa, basado en la ley de Darcy y también usando técnicas numéricas de elementos finitos, con diversos valores de permeabilidad anisotrópica.

Estabilidad estática

Se hicieron los análisis de estabilidad estática del terraplén, mediante el método de Bishop, considerando los siguientes casos:

Estabilidad durante la construcción. se consideró terminado el terraplén, sin haber comenzado el llenado del embalse y ya disipadas las presiones de poro.

Embalse lleno : se consideró la condición del embalse lleno (régimen permanente), considerando la línea de saturación la cota 1096, que es la cota del dren de chimenea.

Descenso súbito. se consideraron dos casos de descenso súbito: descenso normal y descenso de emergencia. En el primer caso, se supuso un descenso operacional del nivel del embalse desde la cota 1.098 (nivel normal), hasta la cota 1.066 en 59 días y en el segundo caso, un descenso de emergencia desde la cota 1.098 a la cota 1.060 en 20 días y hasta la cota 1.040 en 27 días aproximadamente.

Los análisis realizados arrojaron los siguientes factores de seguridad:

Construcción: 1,6

Embalse lleno: 1,6

Descenso rápido, operacional: 1,6

Descenso rápido, emergencia: 1,1

Análisis de esfuerzo-deformación

Se hizo el análisis de esfuerzo-deformación, por el método incremental, no lineal, de elementos finitos. Con este método se hizo un análisis del comportamiento no lineal del suelo, mediante el procedimiento de elementos sucesivos, en el cual la carga se divide en un número pequeño de incrementos y el comportamiento del suelo se supone lineal en cada incremento. Las propiedades mecánicas del suelo en cada elemento, durante cada incremento, son reevaluadas de acuerdo con los esfuerzos en dicho elemento.

Este análisis permitió investigar la interacción entre los materiales relativamente más compresibles del núcleo y los materiales más rígidos de los espaldones, así como entre éstos y los estribos. La combinación de un núcleo compresible y unos espaldones rígidos, da como resultado unos asentamientos diferenciales del orden de 1,70 m. Los asentamientos del núcleo con relación a los espaldones, dan como resultado un efecto de arco y los esfuerzos son transmitidos del núcleo a los espaldones. El efecto de arco durante el período de construcción, reduce los esfuerzos del núcleo cerca de la base de la presa, hasta aproximadamente un 50% de la carga total del terraplén.

El incremento del esfuerzo total del núcleo durante el régimen permanente, elimina el riesgo de fracturamiento hidráulico. Pueden desarrollarse zonas de plastificación en una extensión limitada, en los espaldones arenosos adyacentes al contacto cerca de la base del núcleo; estas zonas son de significación limitada, debido a los efectos del confinamiento del material que se encuentra en los alrededores, sin embargo, no excede la resistencia al corte del núcleo en ningún sitio. El efecto de arco a través del valle, causado por el asentamiento del núcleo es mínimo, debido a la geometría del valle.

Análisis Dinámico

Se efectuó un análisis dinámico, utilizando el método de los elementos finitos, a fin de analizar la respuesta de la presa bajo la acción de un sismo de magnitud 8,25, localizado a 20 km de la presa. Los análisis realizados indicaron lo siguiente:

Las relaciones esfuerzo-deformación para el sismo antes mencionado, causando una deformación axial de 5% con 10, 15 y 20 ciclos, son generalmente mayores de 1,0, lo cual indica que no hay peligro de deformaciones excesivas.

Basado en un análisis simple de las deformaciones totales, el sismo produce un asentamiento en la cresta de 2,50 m. Con esta deformación permanente, el borde libre establecido de 13 m se reducirá algo, pero la presa continuará en servicio después del sismo.

CONSIDERACIONES SÍSMICAS

Además de los resultados aportados por el análisis dinámico, las consideraciones sísmicas se basaron en criterios y experiencias generalmente utilizados para el diseño de presa en zonas altamente sísmicas. (Ref. 10).

Estos criterios fueron los siguientes:

Se consideró que ocurra un sismo de 8,25 en la escala de Richter, en la falla Boconó, a 20 km del sitio de presa, con una aceleración en la base de la presa de 0,5 g y una duración de 60 seg.

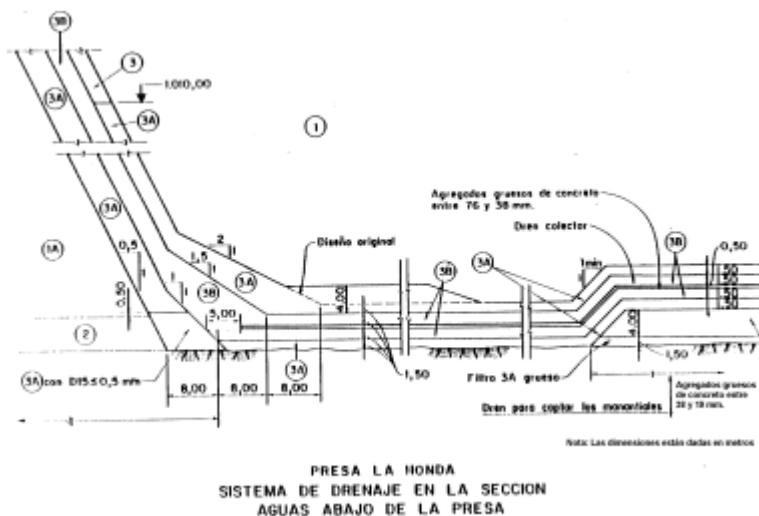


FIGURA 24

Se tomaron medidas para el autosellado de las grietas, en caso de ocurrir un desplazamiento de la falla en el cauce. Para ello se supuso que podría ocurrir un desplazamiento de 2,50 m en sentido horizontal y de 1,00 m en sentido vertical. Las medidas que aseguran estos desplazamientos, consisten en la construcción de un dren de chimenea con un ancho de 11 m, formado por un filtro de material procesado de 3 m de ancho, un dren procesado de 3 m de ancho y un filtro de 3 m de ancho. Además, aguas abajo de este filtro, por debajo del espaldón de la presa, se construyó una carpeta de drenaje, constituida por una capa de filtro procesado de 1,5 m de espesor en la fundación, sobre el cual se encuentra un dren procesado tipo "sandwich" de 3,50 m de espesor y finalmente, una capa de filtro procesado de 1,50 m, igual al que se colocó en contacto con la fundación, el cual aumenta a 4,50 m en contacto con el dren de chimenea. Ver figura N° 24.

Utilización de materiales resistentes al corte y adopción de taludes menos pendientes, que aquellos requeridos para una mínima estabilidad estática y construcción de la cresta de la presa con materiales granulares, para una mayor seguridad de la presa.

Construcción de un sistema de galerías de inyección y drenaje, las cuales permiten observar el comportamiento de la presa y hacer inyecciones adicionales, de ser requerido, durante la operación del embalse.

Construcción de un túnel de descarga de fondo, el cual permitirá el descenso rápido del embalse, hasta la cota 1.030.

Adopción de un borde libre de 13 m, el cual se reduce a 1.30 m para el momento de transitar por el aliviadero, la crecida máxima probable (CMP): En la tabla siguiente, se presenta un estimado de los períodos de retorno y los niveles de aguas máximas correspondientes:

Período de Retorno en años	Capacidad del Aliviadero	Nivel Máximo de Agua	Duración Aproximada de la Creciente
----------------------------	--------------------------	----------------------	-------------------------------------

29	100 m ³ /seg	Cota 1.000,7	10 días
500	300 m ³ /seg	Cota 1105,5	10 días
10.000 (3/4 CMP)	675 m ³ /seg	Cota 1107,0	10 días
CMP	940 m ³ /seg	Cota 1109,7	

De la tabla anterior se desprende, que la mayor parte del tiempo, el aliviadero se utilizará para descargar crecientes que originan un pequeño aumento en el nivel del embalse. Por lo tanto, la presa tiene un gran borde libre (10 m) la mayor parte del tiempo; este gran borde libre tendrá las siguientes ventajas en caso de un sismo:

- Compensar la pérdida de borde libre, como consecuencia de una deformación del terraplén o de un desplazamiento potencial de la falla de la presa.
- Contener las olas ocasionadas por los movimientos de la falla, las olas creadas por deslizamientos de gran volumen de los taludes naturales hacia el embalse, o el oleaje creado en el embalse por motivo de un sismo, que pudiese superar la cresta de la presa.
- Aumentar el ancho del terraplén, a nivel de aguas normales.

Adicionalmente a todas estas medidas adoptadas, se estableció un riguroso control de calidad durante la construcción de las obras, a fin de garantizar la seguridad de las mismas, el cual incluyó la instalación de un extenso sistema de instrumentación, tanto en el terraplén de la presa como en su fundación, con la finalidad de observar el comportamiento de la presa, tanto durante el período de construcción, como durante la vida útil de la presa, a fin de tener una visión clara de los patrones de infiltración de la presa, de la fundación y de los estribos, conocer el comportamiento del terraplén en cuanto a asentamientos que pudiesen ocurrir y especialmente, observar el comportamiento del terraplén durante y después de la ocurrencia de un sismo.

Los instrumentos colocados fueron los siguientes: piezómetros, pozos de observación, inclinómetros, medidores de movimientos superficiales, medidores de asentamientos, medidores de deformación, celdas de presión total, acelerógrafos de movimientos fuertes y acelerógrafos registradores de pico.

COMPORTAMIENTO DE LA PRESA

El llenado del embalse se inició en abril de 1.985, para lo cual se estableció un programa de llenado controlado en forma gradual y por etapas, a fin de determinar el comportamiento de la presa y de las fundaciones, para lo cual se hacía una revisión continua de la instrumentación; el embalse se terminó de llenar en octubre de 1.986.

Se ha continuado con las lecturas de los instrumentos para hacer un seguimiento del comportamiento de las fundaciones y del terraplén; la única anomalía encontrada fue la aparición de una filtración en el estribo izquierdo, que se detectó durante el primer llenado del embalse, estas filtraciones son objeto de una continua observación y hasta la fecha no representa mayor problema en cuanto a la seguridad de la presa.

En cuanto a la que se refiere al comportamiento de la presa ante un sismo, es prematuro hablar, por cuanto hasta la fecha sólo se han registrado dos sismos de relativa magnitud, el primero ocurrido el 22 de julio de 1.993, de magnitud $M_b = 6,1$, con epicentro en el Departamento del Arauca en la República de Colombia, a una distancia de 145 km de la Presa La Honda y con una profundidad focal de 20 km. Con este sismo, se registraron las siguientes aceleraciones en la presa, C. Longitudinal = 0,019 g - C. Vertical = 0,010 - C. Transversal = 0,016 g. (Ref. 12).

El segundo sismo ocurrió el 31 de mayo de 1.995, en la zona sur del estado Táchira, a una distancia aproximada de 70 km del sitio de Presa la Honda, con magnitud $M_b = 5,7$, este sismo activó la estación ubicada en el sitio de presa, donde se registraron las siguientes aceleraciones: C. Longitudinal = 0,04 g - C. Vertical 0,02 g - C. Transversal = 0.36 g.

No hay reportes que indiquen que hayan ocurrido daños en la presa o en las estructuras auxiliares debido a estos sismos. No podemos todavía conocer el comportamiento real de la presa con un sismo severo, pero

podemos anticipar que con las medidas de seguridad adoptadas con el diseño y la construcción, la presa podrá soportar el sismo de diseño. No obstante, es conveniente advertir, que debe seguirse un riguroso programa de observación permanente del comportamiento de la presa y estructuras auxiliares. En el caso del desarrollo Uribante Doradas, se prepararon unos manuales de operación y mantenimiento, en los cuales se incluían las medidas que había que tomar, cuando ocurriera un sismo de magnitud mayor de 5 en la escala Richter.

Anexo al presente artículo, se indica el procedimiento a seguir, para evaluar el comportamiento de la obra después que ocurra un sismo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 1) Toda la franja cercana al sistema de cordilleras del país, que se extiende desde extremo sur-occidental, hasta extremo nor-oriental, pasando por la zona norte central, es altamente sísmica, por lo tanto, en el diseño y construcción de presas, en estas áreas, deben extremarse todas las precauciones, para que éstas puedan resistir movimientos sísmicos de gran magnitud.
- 2) En Venezuela se han construido cerca de noventa (90) presas, de las cuales no se conoce, cuántas de ellas han sido diseñadas para soportar un sismo. En visitas que ha realizado el autor, a algunas de las presas que sirven de abastecimiento de aguas a Caracas y algunas ciudades del interior, ha podido observar el deterioro de algunas de ellas, lo cual refleja falta de mantenimiento a las mismas.
- 4) Es recomendable, que se cree un Grupo de Evaluación de Presas, cuya primera misión sería, estudiar el estado actual en que se encuentran las presas que se han construido en el país y cuál sería la vulnerabilidad de éstas, ante la ocurrencia de un sismo.
- 5) Es recomendable, preparar unas normas o instructivos, que señalen, no sólo como debe procederse para el diseño y construcción de presas, desde el punto de vista sísmico, sino también uno que ilustre, a los organismos a cuyo cargo estén asignadas dichas obras, cómo debe procederse para el mantenimiento de las presas y las acciones a tomar en caso de ocurrir un sismo. Para esto último se sugiere utilizar como punto de partida, el procedimiento de evaluación que se presenta anexo al presente artículo.

BIBLIOGRAFÍA

Ferrer Diego, Cluff Loyd "Observaciones de Ingeniería de Suelos e Ingeniería Geológica del Sismo de Caracas" - Boletín N° 35 de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones Junio 1.970

FUNVISIS - "Sismicidad Instrumental 1.967-1996" - Junio 1.997

Romo Miguel, Magaña Roberto - "Metodología en el Diseño Sísmico de Presas de Tierra"- IX Congreso Panamericano de Suelos - Santiago de Chile 1991

Ferrer Fernández Diego - "Estudios Geotécnicos para Obras de Embalse" - Revista Latinoamericana de Geotécnica - Julio-Septiembre 1.976

E.T. Haws y otros - "Dams Natural and Induced Earthquakes and the Environment" - Dams and Earthquakes The Institution of Civil Engineers, 1981 - London.

GIMSA - "Presa Sobre el Río Tocuyo - Estudio Geológico Preliminar de Superficie y del Subsuelo" - Febrero 1.967

GIMSA - "Embalse alto Tocuyo - Presa Dos Cerritos - Estudio Geológico" - Mayo 1.968

OTEHA C.A. - "Proyecto del Embalse Alto Tocuyo - Presa Dos Cerritos" - Agosto 1.968

CEH Ingenieros Consultores - Geotécnica Apéndice "E" - Aprovechamiento Integral de Los Ríos Uribante-Doradas y Camburito-Caparo - Estudio de Factibilidad - Junio 1.997

Ferrer Fernández Diego - "Presa La Honda sobre el Río Uribante" - Boletín 50 de la Sociedad Venezolana de Mecánica del Suelo e Ingeniería de Fundaciones" - Octubre 1.984

Ferrer Fernández Diego - "Aspectos Geotécnicos en el Diseño y Construcción de la Presa La Honda" - X Seminario de Ingeniería Geotécnica - Octubre 1.988

DESURCA-ULA - "Red Acelerográfica de Uribante-Caparo. Memorándum Interno - Junio 1.997

□ Bajetti Sergio - "Sistema Hidroeléctrico de los Andes Uribante-Caparo, Desarrollo Uribante-Doradas, Inspección de la Obra en Caso de Sismos" - Julio 1.986

ANEXO 1

PROCEDIMIENTO A SEGUIR, PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE UNA PRESA DESPUÉS DE OCURRIR UN SISMO

El presente escrito, tiene como finalidad, tratar de dictar las pautas a seguir, en el caso de que ocurra un sismo, cercano al sitio donde se encuentre una presa de tierra. Para su elaboración, se ha seguido el instructivo preparado para el Desarrollo Hidroeléctrico Uribante-Doradas, el cual a su vez, se basa en el instructivo preparado por el Comité Internacional de Grandes Presas.

Para la elaboración del presente procedimiento, se ha considerado una presa con sus estructuras indispensables, tales como aliviadero, obras de toma y descarga de fondo; en caso de que se contemplen otras estructuras, tales como túneles de trasvase, centrales hidroeléctricas u otras, habrá que adaptarlo a esas condiciones.

Labores previas

Antes de indicar el procedimiento, es necesario tomar algunas medidas preventivas, como las que se indican a continuación:

Recopilar todos los planos e informes, así como toda la documentación relativa al proyecto y construcción de la presa, y de ser posible, la información relativa a los reportes de la inspección. En caso de que la presa esté en servicio y no se consiga la información indicada, sería conveniente completar la información con levantamientos topográficos adicionales y toma de algunas muestras, para tener una idea del estado actual de la presa.

Hacer una inspección detallada a la presa, aliviadero y obras complementarias: aliviadero, toma túneles, compuertas etc., así como al vaso de almacenamiento, para lo cual se recomienda seguir las indicaciones indicadas en las planillas anexas "Inspección de las presas en caso de sismos". Esta información debe ir acompañada de fotografías.

Resulta conveniente hacer inspecciones periódicas durante la vida útil de la presa, a fin de evaluar su comportamiento, en especial, cuando ocurran tormentas o lluvias torrenciales y prolongadas.

Es conveniente formar dos grupos de trabajo que podrán denominarse grupo de vigilancia y grupo de evaluación de daños, respectivamente. El grupo de vigilancia estaría formado por el personal

asignado permanentemente al mantenimiento de la obra, y tendrá como funciones, hacer las inspecciones periódicas de las obras y las lecturas periódicas de la instrumentación instalada, así como también, hacer una inspección detallada en caso de producirse un sismo. El grupo de evaluación de daños tendría como función, evaluar periódicamente el comportamiento de las obras durante su vida útil, mediante el análisis de la información suministrada por el grupo de vigilancia, lo cual podría complementarse con algunas visitas al sitio, en caso de que el grupo de vigilancia reportase alguna anomalía. Sería función de este grupo hacer una inspección detallada en caso de producirse un sismo. (Ref. 13).

Este grupo, puede estar conformado por personal independiente, no adscrito a la obra, pero que esté a la disposición del organismo propietario de la presa. Es indispensable que los miembros de este grupo estén familiarizados con obras de esta naturaleza y con los mecanismos de fallas en obras hidráulicas. Es muy conveniente que haya un representante de FUNVISIS en este grupo.

Es conveniente tener en el sitio, un adecuado sistema de comunicaciones.

Procedimiento a seguir

En caso de que ocurra un sismo con magnitud 5 ó mayor en la escala Richter, en un radio de 100 km del sitio de presa, o inclusive, si no ha sido reportado con esa magnitud, pero el movimiento ha demostrado ser fuerte y que pueda haber originado algún daño a las obras, deberá procederse de la manera siguiente:

Comunicarse con FUNVISIS para que informe sobre la magnitud del sismo, y en caso de que haya acelerógrafos en la obra, para que haga la lectura e interpretación de los registros.

Efectuar las lecturas de todos los instrumentos instalados en la obra.

Efectuar una inspección detallada de todas las obras para lo cual se sugiere utilizar, como guía, las planillas de "Inspección de Presas en Caso de Sismos" que se presenta al final del escrito

Notificar al grupo de evaluación de daños, para que se traslade lo más pronto posible al sitio, con la finalidad de realizar una evaluación técnica apropiada de la extensión de los daños y el peligro que éstos representan.

Si alguna de las estructuras, se encuentra dañada, o se observa una falla en la presa, y el personal de vigilancia no ha podido comunicarse con sus superiores, se deberá proceder de acuerdo a los criterios que se indican a continuación:

- Evaluar el peligro potencial de la falla de la presa.
- Si la falla es considerada inminente, deberá darse aviso a los cuerpos de seguridad y Defensa Civil, así como tratar de avisar a los pobladores aguas abajo de las obras, para que se retiren de las inmediaciones del cauce del río.
- Deberá abrirse inmediatamente la descarga de fondo, o la toma, a fin de desaguar el máximo caudal posible, pero debe verificarse primero que estén en buen estado, ya que de otra forma se podría acelerar el rompimiento de la estructura.

Una vez que el grupo de evaluación de daños llegue al sitio, deberá estudiar la información preparada por el grupo de vigilancia, para luego hacer una inspección detallada de los sitios críticos. En esta inspección deberán detallarse los daños observados y su influencia en la seguridad de las obras. Una vez realizada la inspección, deberá presentarse un informe detallado, acompañado de las fotos, gráficos y dibujos que sean necesarios para una mejor ilustración del mismo. Dicho informe deberá cumplir, sin limitarse a ello, los siguientes puntos:

- Introducción.
- Características del sismo
- Cuantificación de los daños.

- o Medidas correctivas.
Conclusiones y recomendaciones.

INSPECCIÓN DE PRESAS EN CASO DE SISMOS

NOMBRE
DE LA
PRESA

FECHA DE INSPECCIÓN:
COTA DEL EMBALSE:
VOLUMEN ALMACENADO:

HORA:

OPERATIVIDAD DEL SISTEMA:

TOTAL PARCIAL NULA

ESTADO GENERAL DE LA PRESA Y VASO:

SATISFACTORIO PROBLEMÁTICO PELIGROSO

INFORME GENERAL
DE LA INSPECCIÓN:

NOTA: Este informe consiste en un breve resumen, que se ampliará con un informe más completo. Es conveniente acompañar el informe con fotografías

INSPECCIÓN REALIZADA POR:

INSPECCIÓN AL TERRAPLÉN DE LA PRESA

TALUD AGUAS ARRIBA	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
FRACTURAS				
MANCHAS DE HUMEDAD				
DESLIZAMIENTOS				
REMOLINOS EN EL AGUA				
ASENTAMIENTOS				
INDICIOS DE EROSIÓN				
CONDICIONES INUSUALES				
MOVIMIENTOS DEL ENROCADO				
OBSERVACIONES GENERALES				

TALUD AGUAS ABAJO	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
DESLIZAMIENTOS				
SIGNOS DE MOVIMIENTO				
FRACTURAS				
ASENTAMIENTOS				
MANCHAS DE HUMEDAD				
MANANTIALES DE AGUA				
CONDICIONES INUSUALES				
MOVIMIENTOS DEL ENROCADO				
OBSERVACIONES GENERALES:				

CRESTA DE LA PRESA	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
FRACTURAS EN LA SUPERFICIE				
ASENTAMIENTOS				
DISTORSIONES EN EL EJE				
CONDICIONES INUSUALES				
OBSERVACIONES GENERALES				

ESTRIBO DERECHO	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
PRESENCIA DE MANANTIALES				
FRACTURAS				
DESLIZAMIENTOS				
SALIDA DE ARENAS				
CONDICIONES INUSUALES				
OBSERVACIONES GENERALES				

ESTRIBO DERECHO	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
PRESENCIA DE MANANTIALES				
FRACTURAS				
DESLIZAMIENTOS				
SALIDA DE ARENAS				
CONDICIONES INUSUALES				
OBSERVACIONES GENERALES				

ESTADO DE LA INSTRUMENTACIÓN	BUEN ESTADO	DAÑADO
PIEZÓMETROS		
INCLINÓMETROS		
PUNTOS DE NIVELACIÓN		
ACELERÓMETROS		
MEDIDORES DE ASENTAMIENTOS		
OTROS		
OBSERVACIONES GENERALES:		

NOTA: En caso de que un instrumento se haya dañado, indicar su ubicación y características de los daños

INSPECCIÓN AL ALVIADERO

CANAL DE APROXIMACIÓN DESlizAMIENTOS MANANTIALES HUNDIMIENTOS REMOLINOS EN EL AGUA CONDICIONES INUSUALES OBSERVACIONES GENERALES	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
--	----	-------------	----	-------------

MUROS Y CIMACIO GRIETAS EN EL CONCRETO DESPLOME DE LOS MUROS SIGNOS DE MOVIMIENTO CONDICIONES INUSUALES OBSERVACIONES GENERALES	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
--	----	-------------	----	-------------

RÁPIDO GRIETAS EN EL CONCRETO ASENTAMIENTOS HUNDIMIENTOS SALIDAS DE AGUA DESPLAZAMIENTO DE TALUDES DESPLAZAMIENTOS EJE OBSERVACIONES GENERALES	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
---	----	-------------	----	-------------

POZO DISIPADOR GRIETAS EN EL CONCRETO DESPLAZAMIENTO DE MUROS ARRASTRE DE FINO EN DRENES EXCESO DE AGUA EN DRENAJES PRESENCIA DE AGUA TURBIA CONDICIONES INUSUALES OBSERVACIONES GENERALES:	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
--	----	-------------	----	-------------

OBRAS DE TOMA Y DESCARGA DE FONDO

ESTRUCTURA DE ENTRADA (Si está visible)	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
--	----	-------------	----	-------------

FRACTURAS EN EL CONCRETO
DESLIZAMIENTOS EN EL ÁREA
PRESENCIA DE REMOLINOS
HUNDIMIENTOS
INDICIOS DE EROSIÓN
OBSERVACIONES GENERALES

CÁMARA DE COMPUERTAS	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
----------------------	----	-------------	----	-------------

FRACTURAS EN EL CONCRETO
FUGAS DE AGUA DETRÁS DE LA
COMPUERTA
BUEN ESTADO DE LAS
COMPUERTAS
BUEN ESTDO DE LOS EQUIPOS
MECÁNICOS
CONDICIONES INUSUALES
OBSERVACIONES GENERALES

ESTRUCTURA DE SALIDA	SI	OBSERVACIÓN	NO	OBSERVACIÓN
----------------------	----	-------------	----	-------------

GRIETAS EN EL CONCRETO
ASENTAMIENTOS
SALIDAS DE AGUA
DESPLAZAMIENTOS EN EL
ALINEAMIENTO
DESPLAZAMIENTOS EN LOS
TALUDES
CONDICIONES INUSUALES
OBSERVACIONES GENERALES

VASO DE ALMACENAMIENTO

COTA DE AGUA EN EL EMBALSE m

PRESENCIA DE DESLIZAMIENTOS SI NO

DESCRIPCIÓN DE CADA DESLIZAMIENTO CON INDICACIÓN DE SU UBICACIÓN

OBSERVACIONES GENERALES

NOTA: Cada deslizamiento debe ser fotografiado e identificado en un plano