



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

Estabilización de bloques de roca en la C.H.
“Luis Donaldo Colosio Murrieta” Huites, Sin.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA CIVIL- MECÁNICA DE SUELOS

PRESENTA:
Gherman Castellanos Román

TUTOR:
Dr. Rivera Constantino Rigoberto



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Examinador:

- 1) M.I. Deméneghi Colina Agustín (Presidente)
- 2) M.I. López Rincón Germán (Secretario)
- 3) Dr. Rivera Constantino Rigoberto (Vocal, Director de tesis)
- 4) M.I. Castilla Camacho Jorge E. (Suplente)
- 5) Dr. Escalante Sandoval Carlos(Suplente)

TUTOR DE TESIS:

Dr. Rigoberto Rivera Constantino

FIRMA

DEDICATORIA

A la memoria de mis difuntos padres Francisco Castellanos Casas y María Gpe. Román Pinedo, mas vale tarde que nunca.

AGRADECIMIENTOS

A Lourdes, Paulina y Pedro, por su apoyo incondicional.

Al Dr. Rigoberto Rivera Constantino por su paciencia y disponibilidad para dirigir esta tesis, así como a los Maestros en Ingeniería Agustín Deméneghi Colina, Germán López Rincón, Jorge E. Castilla Camacho y el Dr. Carlos Escalante Sandoval por su revisión, corrección y sugerencias a este trabajo.

A la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM por haber permitido, a través del programa de amnistía, que muchos profesionales puedan terminar de manera formal la obtención del grado de maestría, aun cuando ya han transcurrido 28 años de haber cursado la misma. Cabe destacar aquí el comunicado que los Maestros en Ingeniería Héctor Sanginés García y Marcos Trejo Hernández hicieran favor de hacerme para tener esta oportunidad, acción que agradezco profundamente.

A Dios por la vida y el trabajo. La inigualable experiencia de trabajar en Comisión Federal de Electricidad, en la cual he tenido el privilegio de participar en las áreas de diseño, construcción y operación de centrales generadoras de energía y convivir y aprender con destacadísimos ingenieros y extraordinarios seres humanos como el "Profe" Raúl J. Marsal (qepd) y Jorge Castilla .

CONTENIDO

1. OBJETIVOS	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2 OBJETIVO PARTICULAR.....	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 RESEÑA HISTÓRICA	2
2.2 LOCALIZACIÓN DE LA PRESA.....	5
2.3 OBJETIVOS DE LA OBRA.....	6
2.4 SISTEMA DE PRESAS EN EL RÍO FUERTE	7
2.5 BENEFICIOS.....	8
2.5.1 RIEGO.....	8
2.5.2 GENERACIÓN.....	9
2.5.3. CONTROL DE CRECIENTES	9
2.5.4. ACUICULTURA Y RECREACIÓN	10
2.6 ESTUDIOS Y PROYECTOS ANTERIORES	10
2.6.1 CONTRATACIÓN DE LA OBRA	13
2.6.2 CORTINA FORMADA POR UN TRAMO RECTO DE SECCIÓN GRAVEDAD EN EL CAUCE Y CORTINA DE ARCO EN LA MARGEN DERECHA.....	26
2.7 PROYECTO FINAL	27
2.8 TOPOGRAFÍA DE DETALLE.....	29
2.9 ESTUDIOS GEOLÓGICOS.....	30
2.9.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	32
2.9.1.1 GEOMORFOLOGÍA.....	32
2.9.1.2 TECTÓNICA REGIONAL.....	33
2.9.2 GEOLOGÍA DEL VASO	34
2.9.2.1 ESTRATIGRAFÍA.....	34
2.9.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	38
2.9.2.3 PERMEABILIDAD DEL VASO	39
2.9.3 GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA.....	39
2.9.3.1 ESTRATIGRAFÍA.....	39

2.9.3.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	45
2.9.3.3	RIESGOS GEOLÓGICOS	47
2.9.4	SELECCIÓN DEL EJE	50
2.10	SISMICIDAD	51
2.10.1	SISMICIDAD HISTÓRICA.....	51
2.10.2	RIESGO SÍSMICO	52
2.10.3	COEFICIENTE SÍSMICO DE DISEÑO.....	57
2.11	CASA DE MÁQUINAS	58
2.11.1	TUBERÍAS A PRESIÓN.....	58
2.11.2	CASA DE MÁQUINAS.....	59
2.11.3	DESFOGUE	60
2.11.4	SUBESTACIÓN ELEVADORA DE 230 kV	60
2.11.5	PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES.....	61
2.11.6	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 230 kV.....	61
3.	DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	62
3.1	CAÍDOS DE ROCA.....	62
3.1.1	CAÍDO SOBRE TAJO DE DESVÍO; ABRIL DE 1993	62
3.1.2	CAÍDO SOBRE LA SUBESTACIÓN; 3 DE SEPTIEMBRE DE 1998.....	63
3.1.3	CAÍDO SOBRE LA TUBERÍA DE PRESIÓN; 14 DE ENERO DE 2005.....	63
3.1.4	CAÍDO SOBRE CAMINOS DE ACCESO; 8 DE SEPTIEMBRE DE 2008	66
3.1.5	CAÍDO SOBRE ÁREA DE SUBESTACIÓN; 18 DE SEPTIEMBRE DE 2009.....	67
3.1.6	CAÍDO SOBRE ÁREA DE SUBESTACIÓN; 23 DE JULIO DE 2010	68
3.1.7	CAÍDO SOBRE CASA DE MÁQUINAS; 24 DE JUNIO DE 2012.....	69
3.2	IDENTIFICACIÓN DE GRANDES BLOQUES DE ROCA EN MARGEN DERECHA.....	70
4.	SOLUCIONES ADOPTADAS.....	76
4.1	ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE 1	77
4.1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y TRABAJOS PRELIMINARES	77
4.1.2	OBJETIVO.....	79
4.1.3	ALCANCE DE LOS TRABAJOS.....	79
4.1.4	CONDICIONES Y GEOMETRÍA DEL BLOQUE INESTABLE	80
4.1.5	FIJACIÓN DEL BLOQUE INESTABLE.....	80

4.1.6	FIJACIÓN DE OTROS BLOQUES INESTABLES	82
4.1.7	OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES	82
4.2	ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE 2.....	88
4.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE UBICA EL BLOQUE 2.....	88
4.2.2	DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL DEL "CANTIL ALTO"	88
4.2.3	DEFINICIÓN GEOMÉTRICA Y CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL BLOQUE 2...89	
4.2.4	RECOMENDACIONES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE Y PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN.....	91
4.2.4.1	ETAPA I (ESTABILIZACIÓN PROVISIONAL O TEMPORAL).....	91
4.2.4.2	ETAPA II (ESTABILIZACIÓN DEFINITIVA).....	93
5.	DISCUSIÓN.....	100
6.	CONCLUSIONES.....	105
7.	G L O S A R I O	107
8.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	123
9.	ANEXOS	125
	• PLANTA GENERAL PROYECTO C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA Y PRESA HUITES.	
	• PLANO DE PLANTAS CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA	
	• PLANO DE CORTES CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA.	

1. OBJETIVOS

Se plantean en este trabajo dos objetivos, uno de carácter general y otro particular. Lo anterior como resultado de la experiencia que se tiene al operar la C.H. "Luis Donaldo Colosio Murrieta", Huites, Sin.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Presentar la problemática real y actual de una central hidroeléctrica en operación, originada en las fases de diseño y construcción de la presa asociada con fines hidroagrícola y de aprovechamiento eléctrico integrado. Se hace una propuesta precisa para evitar este tipo de problemática en proyectos futuros similares.

1.2 OBJETIVO PARTICULAR

Mostrar la solución empleada en la estabilización de grandes bloques de roca que ponían en riesgo la integridad de la C.H. "Luis Donaldo Colosio Murrieta", Huites, Sin. Se destaca el criterio de "diseño robusto" utilizado.

2. ANTECEDENTES

2.1 RESEÑA HISTÓRICA

“Las frecuentes inundaciones a las que por muchos años se enfrentaron los productores agropecuarios del Valle del Río Fuerte, así como los habitantes de comunidades, poblados y hasta de las ciudades más desarrolladas de la región norte de Sinaloa, dejaban siempre grandes perjuicios económicos y en ocasiones, incluso, la pérdida de vidas humanas. El desarrollo socioeconómico de la zona estaba, por tanto, frenado, a pesar del dinamismo e ingenio de sus habitantes.

Fue hasta la segunda mitad del siglo pasado cuando la Secretaría de Recursos Hidráulicos, a través de la Comisión del Río Fuerte, construyó las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, ésta última sobre el Río Álamos, afluente del Río Fuerte. Aun cuando esta infraestructura aportó grandes beneficios y permitió el despegue económico de la región y en particular de los distritos de riego de Guasave, Valle del Fuerte y Valle del Carrizo, no fue suficiente para el control de las inundaciones, en virtud de las crecientes de las aguas procedentes de Sonora y Chihuahua y exigió la construcción de una presa adicional que permitiera un control más adecuado de las avenidas y ampliara en lo posible la superficie irrigable.

Para los sinaloenses de esta zona del Valle del Río Fuerte y también para los sonorenses de la región Fuerte-Mayo era, por tanto, un sueño anhelado la construcción de una obra de contención aguas arriba de la presa Miguel Hidalgo. El sector hidráulico mientras tanto, venía estudiando desde hacía varias décadas diversos sitios en el municipio de Choix, Sinaloa, para la construcción de esa obra y, al mismo tiempo, analizando esquemas de financiamiento que permitieran su realización con una recuperación económica derivada de la extensión de tierras de cultivo con riego agrícola, así como producción de energía eléctrica.

Nace así el proyecto de la presa y central hidroeléctrica Huites, que se realizó en poco más de tres años, marcando un récord por el reducido plazo de construcción y por la aplicación de varios procesos constructivos novedosos a un costo razonable. El proyecto Huites forma parte del sistema del desarrollo agrícola y energético del Río Fuerte, en el norte del estado de Sinaloa.

La obra principal del proyecto, la presa Luis Donaldo Colosio, se construyó en el sitio denominado Huites, aproximadamente a cinco kilómetros aguas abajo de la confluencia del Río Fuerte con el Río Chínipas; en este tramo el ferrocarril Chihuahua – Pacífico corre sensiblemente paralelo al río, a una distancia aproximada de seis kilómetros.

Hace unos trescientos años, muy cerca de la boquilla, hacia aguas arriba de ella, se encontraban caseríos dispersos, habitados por indígenas caítas del sur que cohabitaban con los mayos y los caítas del norte, hoy yaquis. Se asentaron en este lugar al que llamaron Huitis. Los caítas tenían una cultura dinámica propia y un sistema de cargos sociales y relaciones de intercambio con las tribus parentales cercanas. En el antiguo dialecto caíta, Huitis significa "lugar de flecheros", según investigaciones del Instituto Nacional Indigenista.

Al finalizar el siglo XVII llegaron a la región frailes jesuitas que trabajaron en la evangelización de los pobladores, a quienes integraron dentro de esa comarca, que a partir de esos hechos puede considerarse como la fundación del poblado Huites.

Parece ser que el poblado formado por los jesuitas prosperó por varios siglos, pero por razones desconocidas se desintegró o sufrió un desarraigo progresivo de sus habitantes. Así en los tiempos recientes, desde 1930 o 1940, se encuentran agrupamientos aislados de los descendientes, que ocupan laderas y lomeríos cercanos al cauce del Río Fuerte a unos tres kilómetros aguas arriba de la boquilla (Agua Calientita), y hacia aguas abajo, a una distancia del orden de cinco kilómetros de la misma (El Reparó).

El proyecto Huites viene a formar la última etapa del sistema hidroagrícola y energético del Río Fuerte. La zona agrícola del Valle del Río Fuerte empezó a ser desarrollada desde principios de siglo pasado en que se bombeaban aguas del río para abastecer los terrenos marginales. En el año 1918 la United Sugar Companies, propietaria de gran parte de los terrenos, inició la construcción de un sistema de riego por bombeo que se desarrolló intensamente, y más adelante llegó a promoverse la construcción de una presa en el sitio Balojaqui situado en la confluencia de los ríos Urique y San Miguel, afluentes del Fuerte.

En 1938 se expropiaron los terrenos de la compañía y se promovió en 1945 la construcción de un sistema de riego por gravedad, ante la Comisión Nacional de Irrigación.

En 1947 la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SRH), de nueva creación, continuó estudios y obras en el Valle del Río Fuerte y en 1951 formó la Comisión del Río Fuerte y formó la Comisión del Río Fuerte para hacer la planeación y desarrollo integral de todos los recursos naturales de la cuenca, en varias etapas.

Se intensificaron entonces estudios para definir el sitio de una presa de almacenamiento y simultáneamente la Comisión Federal de Electricidad (CFE) tomó interés en hacer estudios para generación eléctrica con aguas del río.

Como siguiente etapa de desarrollo se construyó la presa Miguel Hidalgo en el sitio Mahone, que más adelante fue sobreelevada para alcanzar su óptimo aprovechamiento. Como siguiente etapa se planteó la construcción de otra presa en Balajaqui o en Huites, este último sitio quedó como el definitivo.

Se hicieron levantamientos aerofotogramétricos del vaso de Huites por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y por la Comisión Federal de Electricidad; en ellos se aprecian caseríos con unidades habitacionales escasas y dispersas ya que el Río Fuerte en esta zona no tiene terrenos aptos para alguna explotación agropecuaria. En efecto, el río escurre por un cañón de márgenes acantiladas y únicamente se abre en dos o tres lugares donde se incorporan algunos afluentes, pero sin formar valles o planicies de alguna consideración.

Dentro de los estudios para plantear la posibilidad de construir una presa, en 1940 la Comisión Nacional de Irrigación instaló una estación climatológica y de aforos.

La estación se localizó a 15 km aguas arriba de la confluencia con el Río Choix, a la salida del tramo del Río Fuerte conocida como Cañón de Huites. La medición de escurrimientos del Río se inició en marzo de 1941 mediante una escala de concreto recargada en la ladera de la margen izquierda. A continuación se agregó una estructura de cable y canastilla con claro de 180 m y un limnógrafo que funcionó de junio 1941 a octubre de 1959.

En 1953 se inició la exploración geológica con varias perforaciones en la zona del cauce de la boquilla por la Secretaría de Recursos Hidráulicos y en 1962 la Comisión Federal de Electricidad efectuó un programa de exploración directa en las laderas. Más adelante, en 1974 se realizó por la Secretaría de Recursos Hidráulicos, un programa de 10 sondeos a lo largo del cauce en la zona de la boquilla.

Varios anteproyectos preliminares de las obras fueron preparados por las dependencias gubernamentales encargadas de los recursos de agua y electricidad, para construir en el sitio Huites una presa de almacenamiento” (Ref. 1).

2.2 LOCALIZACIÓN DE LA PRESA

La presa Huites está ubicada al noroeste de la República Mexicana en el estado de Sinaloa, cerca de los límites con los estados de Sonora y Chihuahua (Fig. 1)

Figura 1.- Localización de la Presa



La distancia en línea recta desde la ciudad de México es de 1250 km con rumbo N47°W, y desde la ciudad de Culiacán, Sin., es de 250 km con rumbo N23°W.

De la ciudad de Los Mochis, Sin., se deriva la carretera estatal No. 23 que pasa por las poblaciones de San Blas, El Fuerte y Choix, en el estado de Sinaloa, hasta llegar al sitio de la presa después de un recorrido de 142 km sobre carretera pavimentada.

A su vez, el ferrocarril Chihuahua – Pacífico comunica la región con la ciudad de Los Mochis y con el puerto de Topolobampo. La estación más cercana a la presa Huites es Aguascalientes a 5 km de distancia aguas abajo.

2.3 OBJETIVOS DE LA OBRA

La presa Huites viene a constituir un elemento clave para aprovechar en forma integral el escurrimiento de esta importante cuenca. Al sumarse al sistema de las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, con capacidad útil conjunta de 3653 millones de metros cúbicos de agua, se alcanza una capacidad de regulación para riego de 6061 millones de metros cúbicos en la cuenca que permite controlar además las crecientes del Río Fuerte. La obra tiene objetivos múltiples:

- Colaborar con otras fuentes en la ampliación de 70 000 hectáreas para riego, 35 000 en el estado de Sinaloa y otras 35 000 en el estado de Sonora.
- Apoyar en el riego de 271 000 hectáreas que son beneficiadas por el sistema de presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez.
- Controlar avenidas, ya que al duplicar la capacidad de control de las crecientes del Río Fuerte, es posible manejar adecuadamente las avenidas y reducir al mínimo posible daños en los valles aguas abajo del sitio de la presa. La disminución en el riesgo de inundaciones, por contar con una mayor capacidad de regulación implica proteger 50 000 hectáreas de cultivo.
- Generación de energía eléctrica, con una potencia instalada de 422 MW, y generación media anual de 911 GWh, lo cual permite participar de manera importante en el suministro de energía eléctrica durante las horas pico en el sector noroeste de la República.
- Desarrollo de las áreas de la acuicultura y recreación.

2.4 SISTEMA DE PRESAS EN EL RÍO FUERTE

“El Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste pretende integrar en un marco general las acciones adecuadas a corto, mediano y largo plazo, para contar con un esquema de aprovechamiento racional y eficiente de los recursos de agua y suelo de la región mediante los Programas de Ampliación y Modernización de Áreas de Riego.

Primero se prevé a corto plazo la apertura de nuevas tierras al riego mediante una redistribución de los recursos hidráulicos, es decir, transferir agua de donde la hay en exceso, una vez cubiertas las demandas locales, a lugares donde existe disposición de suelos aptos para la agricultura y riego eficiente de los recursos en las áreas actualmente en operación, con la implantación de procesos de mejoramiento en los sistemas de riego para alcanzar niveles de funcionamiento superiores a los que fueron inicialmente concebidos” (Ref. 1).

A largo plazo, los programas del Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste habrán de aplicarse en cinco zonas que comprenden el aprovechamiento de los recursos hidráulicos, desde el Río Santiago en el estado de Nayarit hasta el valle del Río Yaqui en el estado de Sonora.

Dentro del Sistema Hidráulico Interconectado del Noroeste, la cuenca principal es la del Río Fuerte.

Aguas abajo de la presa Miguel Hidalgo se localizan también dos presas derivadoras, Cahuinahua y Sufragio, ambas para la distribución de agua por la margen derecha y margen izquierda, respectivamente.

Otra presa importante de la región hidrológica No. 10 es la Josefa Ortiz de Domínguez, ubicada sobre el cauce del arroyo Álamos, afluente del Río Fuerte, construida para aprovechar los escurrimientos de este arroyo y las aguas sobrantes de la presa Miguel Hidalgo, conducidas mediante una obra de conexión formada por una obra de toma y un canal llamado El Sabino, con capacidad para trasvasar un gasto de 70 metros cúbicos por segundo.

El sistema de presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez suministra las demandas de los distritos de riego Valle del Fuerte y Valle del Carrizo en el estado de Sinaloa. Al integrarse la presa Huites al sistema anterior es posible regular la corriente del Río Fuerte hacia la presa Miguel Hidalgo, que en conjunto permiten satisfacer las demandas actuales, e incluso mayores a las actuales, y por lo tanto incrementar la superficie de riego aguas abajo de esta última.

2.5 BENEFICIOS

2.5.1 RIEGO

“La presa Huites forma parte del sistema de aprovechamiento para uso integral múltiple de las aguas del Río Fuerte. A la fecha, el sistema cuenta con tres presas de almacenamiento y dos presas de derivación directa a redes de canales de riego.

Las presas de almacenamiento son: Miguel Hidalgo, construida de 1952 a 1956 y sobreelevada en 1964 para una capacidad de 4030 Mm³ al NAME; la presa Josefa Ortiz de Domínguez sobre el río Álamos, afluente del Río Fuerte en el estado de Sonora, terminada en 1967, con capacidad de 607 Mm³ al NAME y la propia presa Huites, con capacidad de 4568 Mm³ al NAME.

Al sumarse las capacidades de las tres presas de almacenamiento, el sistema alcanza una capacidad útil de 4798 Mm³, los cuales, aprovechados directamente mediante redes de canales, permiten el riego de 341 800 ha.

Las superficies beneficiadas quedan ubicadas en la forma siguiente:

- 229 000 ha en el Valle del Fuerte, con lámina de 1.54 m.
- 42 800 ha en el Valle del Carrizo, con lámina de 1.25 m.
- 35 000 ha superficie nueva que se ubica en el estado de Sonora, con lámina de 1.15 m.
- 35 000 ha de superficie nueva que se ubica en el estado de Sinaloa, con lámina de 1.25 m.

Además, si se considera el sistema regional Sinaloa-Fuerte-Mayo, la presa Huites permite la consolidación del riego de 70 000 ha y aumenta la productividad de la zona. En las nuevas áreas que se abastecerán con la presa Huites, se prevé un patrón de cultivos que incluye trigo, maíz, frijol, garbanzo, soya, sorgo, cártamo, ajonjolí, papa y hortalizas.

2.5.2 GENERACIÓN

La presa Huites suma su capacidad de generación hidroeléctrica a la que tiene la presa Miguel Hidalgo. En ésta se cuenta con una capacidad instalada de 60 MW y genera en promedio 290 GWh por año. La planta hidroeléctrica de Huites tiene capacidad instalada de 422 MW y participará de manera importante en el suministro de energía eléctrica durante las horas pico. Según estudios hidrológicos realizados, en los que se supone un factor de planta de 0.25, se estima una generación media anual de 911 GWh.

2.5.3. CONTROL DE CRECIENTES

En el Río Fuerte se presentan periódicamente avenidas ocasionadas por tormentas y deshielos durante el invierno, o por efecto de tormentas tropicales y ciclónicas en el verano. La avenida máxima registrada ocurrió en enero de 1960, con un gasto máximo de 15 000 m³/s.

Estas avenidas extraordinarias han ocasionado graves daños a los cultivos, a la infraestructura de riego, a las vías de comunicación, a la ganadería e inclusive a las poblaciones ribereñas.

La capacidad de control de avenidas de la presa Miguel Hidalgo de 1750 Mm³ no es suficiente para manejar los gastos extraordinarios del Río Fuerte. La presa Huites, con su capacidad de control de avenidas de 1660 Mm³, permite incrementar la capacidad de control del sistema a 3410 Mm³.

En consecuencia, de acuerdo a las condiciones de diseño y operación establecidas, las avenidas que han ocurrido desde 1942 pueden ser reguladas hasta en un 80 %, para

que las descargas a la salida de la presa Miguel Hidalgo se realicen conforme a la capacidad del cauce aguas abajo y hasta la desembocadura al mar.

2.5.4. ACUICULTURA Y RECREACIÓN

Otros beneficios de la presa Huites se refieren al desarrollo de actividades de acuicultura y recreación. Actualmente se lleva a cabo con éxito la explotación de especies piscícolas en el vaso de la presa Miguel Hidalgo, entre las que se cuentan bagre, lobina, carpa y mojarra y llega a ser de importancia económica su comercialización en las poblaciones de El Fuerte y Choix.

La pesca de lobina y mojarra en la presa es una fuente de trabajo de la que se sostienen numerosas familias agrupadas en cooperativas.

Las actividades recreativas son de tomarse en consideración; el ejemplo se tiene en la ciudad de El Fuerte, que es visitado frecuentemente por grupos de turistas nacionales y extranjeros.

2.6 ESTUDIOS Y PROYECTOS ANTERIORES

Como inicio de los estudios destinados a la construcción de una obra para aprovechamiento hidráulico en el cañón de Huites, antes de 1940, la entonces Comisión Nacional de Irrigación y la CFE realizaron trabajos preliminares en ese lugar, como levantamientos topográficos, investigaciones hidrométricas, estudios hidrológicos y del subsuelo y otros de carácter social.

Con base en los resultados de estas investigaciones y estudios, se formularon anteproyectos de obras hidráulicas similares a las de un proyecto ejecutivo; los más formales se realizaron en la década de los años setenta. En la tabla 1 se presentan los anteproyectos y proyectos en el orden cronológico en que fueron elaborados, así como la dependencia que los proyectó, los cuales tomaron en consideración no superar con el NAME la elevación 290 m.s.n.m con el objeto de no afectar la vía del ferrocarril Chihuahua-Pacífico y de su puente sobre el río Chínipas, que es la elevación más baja” (Ref. 1).

Tabla 1- Presa Huites, Anteproyectos y Proyectos en orden cronológico (Parte 1)

DISEÑO OBRA	SRH 1974	SRH 1975	SRH 1975	SRH 1975	SRH 1975	SARH 1980	SARH 1980	SARH 1980	SARH 1980	CFE 1981	CFE 1982	SARH 1985	SARH 1985	SARH 1985	SARH 1988	
DESVIÓ:																
Tipo	4 Túneles	3 Túneles	3 Túneles	3 Túneles	2 Túneles	3 Túneles	3 Túneles	4 conductos de concreto reforzado	3 Túneles	3 Túneles	Canal y 4 conductos	Tajo	3 Túneles y tajo	3 Túneles	3 Túneles	
Diám/ancho	16 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø	15 m de Ø	17 m de Ø		16 m de Ø	15 m de Ø	47 m de Ø y ancho 6.25 x 13 m	46 m	16 m de Ø y 46 m de ancho	16 m de Ø	14 m de Ø	
Elev. Entrada	155			155		155		152								
Elev. Salida	149			149												
Longitud					400 y 597 m		813,860 y 920 m									
Ubicación	2 por margen	2 margen izquierda 1 margen derecha	2 margen izquierda 1 margen derecha	2 margen izquierda 1 margen derecha	2 margen izquierda	3 margen izquierda	3 margen izquierda	4 margen derecha	3 margen izquierda	3 margen izquierda	Margen derecha	Margen derecha	Ambas márgenes	Margen izquierda	Margen izquierda	
Ataguías	Mat. Graduados	Mat. Graduados	Mat. Graduados	Mat. Graduados	Mat. Graduados	Mat. Graduados			Mat. Graduados	Mat. Graduados		Mat. Graduados				
EXCEDENCIAS:																
Tipo	4 túneles vertedores	Integrada a cortina	Integrada a cortina	Integrada a cortina	Integrada a cortina	3 túneles vertedores	4 túneles vertedores	4 túneles vertedores	3 túneles vertedores	3 túneles vertedores	3 Canales	3 túneles vertedores	4 túneles vertedores	3 túneles vertedores	3 túneles vertedores	
Diám/ancho	16 m de Ø	114 m con tramos equidistantes no vertedores	114 m con tramos equidistantes no vertedores	15 m de Ø	17 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø	15 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø	34 m c/u	16 m de Ø	14 m de Ø			
Gasto m ³ /seg	16000 máximo		16000 máximo	13750 máximo				17000	19800				15000			
Elev. Entrada	265						254			270	257		254	254		
Elev. Salida	149						199			165, 155 y 150		208	208			
Longitud							620 m					649 m	649 m			
Ubicación	2 por margen	Margen derecha	Cauce	Cauce	Cauce		4 margen izquierda	3 margen izquierda	3 margen izquierda	Margen izquierda	Margen izquierda	Margen izquierda				
Compuertas	2 radiales	8 radiales	8 radiales	8 radiales	5 radiales	6 radiales (2 por túnel)	8 radiales (2 por túnel)	8 radiales (2 por túnel)	9 radiales (3 por túnel)	6 radiales	6 radiales (2 por túnel)	8 radiales (2 por túnel)				
Ancho	12 m	12 m	12 m	12 m	20 m					10	15	16	16			
Altura	18 m	18 m	18 m	18 m	14.5 m					15	15.5	16	16			
CORTINA:																
Tipo	Materiales graduados	Gravedad	Gravedad	Gravedad aligerada	Gravedad aligerada	Enrocamiento	Enrocamiento	Gravedad			Materiales graduados	Gravedad	Concreto convencional	Concreto rodillado	Enrocamiento compactado y pantalla de concreto	Enrocamiento graduado y reforzado, con losa de concreto reforzado
Longitud	Radio 535 m (eje curvo en planta)	Eje curvo en planta	Eje curvo en planta	424 m										437 m	492 m	

Tabla 1 .- Presa Huites, Anteproyectos y Proyectos en orden cronológico (Parte 2)

DISEÑO OBRA	SRH 1974	SRH 1975	SRH 1975	SRH 1975	SRH 1975	SARH 1980	SARH 1980	SARH 1980	SARH 1980	CFE 1981	CFE 1982	SARH 1985	SARH 1985	SARH 1985	SARH 1988
Taludes cortina															
Aguas arriba	2h:1v	0.2:1	0.2:1	0.45:1	0.45:1	1.4:1	1.4:1	0.1:1		1.85:1	0.05:1	0.1:1	Vertical y 0.2:1	1.4:1	1.4:1
Aguas abajo	2h:1v	0.75:1	0.75:1	0.45:1	0.45:1	1.4:1	1.4:1	0.7:1		1.85:1	0.7:1	0.7:1	0.8:1	1.3:1	1.3:1
Corona															
Elevación	293 m.s.n.m	293 m.s.n.m	293 m.s.n.m	293 m.s.n.m	293 m.s.n.m	182 m.s.n.m	182 m.s.n.m	275 m.s.n.m		302 m.s.n.m	282 m.s.n.m		282 m.s.n.m	282 m.s.n.m	290.2 m.s.n.m
Ancho	10 m	5 m	10 m	5 m	5 m								8 m	10 m	10 m
GENERACIÓN:															
Obra de toma	Vertical	Integrada a cortina	integrada a cortina bajo obra de excedencias	Integrada a cortina	Inclinada 55°							Integrada a cortina	Integrada a cortina		
Tubería a presión	Túnel	Integrada a cortina	Integrada a cortina	Integrada a cortina	Túnel					2 Túneles	Integrada a cortina	Túnel			
Diámetro	16 m de Ø	6 m de Ø	6 m de Ø	6 m de Ø						8.5 m de Ø	6.20 m de Ø		4.8 m de Ø		
Casa de máquinas	Subterránea	Integrada a cortina	Integrada a cortina	Exterior	Subterránea					Subterránea	Exterior				
Turbinas	2	2	3	3	2					4	3				
Desfogue	Túnel	Integrada a cortina	Integrado a cortina	Túnel					Túnel						
Diámetro	16 m de Ø	16 m de Ø	16 m de Ø		16 m de Ø										
Ubicación	Margen izquierda	Cauce	Cauce		Margen izquierda				Margen derecha	Cauce					

2.6.1 CONTRATACIÓN DE LA OBRA

“El proyecto para la presa Huites se estudió ampliamente desde 1947; dio inicio con la instalación de una estación climatológica y de aforos en 1942. En 1992 se contó con los estudios para licitarla. En estas condiciones su realización se llevó a cabo y tuvo como marco legal el Financiamiento Privado, aparecido en el Diario Oficial de la Federación el 30 de enero de 1989, y en el Plan Nacional de Desarrollo 1989 así como en el Plan Nacional de Desarrollo 1989 -1994 del Gobierno Federal que dice: “El objetivo fundamental del Sector Agrícola es aumentar la producción y la productividad del campo. Para lograrlo es indispensable su modernización mediante la puesta en práctica de múltiples decisiones, entre otras las siguientes: la descentralización hacia los estados de la República de facultades y recursos humanos, financieros y físicos; el fortalecimiento de la autonomía de gestión de los productores y sus organizaciones; la concertación de los gobiernos y los productores de los estados para elaborar y ejecutar los programas de desarrollo rural con la suma de los recursos locales y federales disponibles, así como su uso coordinado y el ejercicio de una firme política para promover la eficiencia productiva y evitar el contrasentido de que, en un país con grandes carencias, existan recursos ociosos: tierras, obras de infraestructura, maquinaria, instalaciones industriales y de servicios, entre otros” (Ref. 1 y 2).

Como una de las primeras acciones para llevar a cabo el proyecto Huites, el Ejecutivo Federal emprendió la elaboración del Convenio de Concertación, a través de las secretarías de Hacienda y Crédito Pública (SHCP), de Programación y Presupuesto (SPP), de la Contraloría General de la Federación (SECOGEF), de Energía, Minas e Industrial Paraestatal (SEMIP), de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), con participación de los estados de Sinaloa y Sonora y de los productores representados por el Consejo Directivo de la Asociación de Productores del Río Fuerte Sur, la Confederación de Asociaciones Agrícolas del estado de Sinaloa, la Liga de Comunidades Agrarias del estado de Sonora y la Asociación de Organismos Agricultores del Sur del estado de Sonora (Ref. 2).

El Convenio de Concertación se firmó el 30 de enero 1992 y tiene como objetivo el conjuntar acciones y recursos que posibiliten la realización del proyecto Huites para

regularizar las aguas del río Fuerte, beneficiar al sector campesino de los estados de Sonora y Sinaloa mediante la incorporación al riego de 70 000 ha, además de la construcción de una planta hidroeléctrica con capacidad de 400 MW. El 30 de enero de 1989 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la autorización del acuerdo sobre Obra Pública con Financiamiento Privado; bajo este esquema y de acuerdo a lo contenido en el Convenio de Concertación, la CNA promovió la participación de la inversión privada para la realización de las obras correspondientes a la presa y a la planta hidroeléctrica.

En el Convenio de Concertación se establece que la CNA y la CFE estudiaron el proyecto Huites en cuanto a su factibilidad técnica, económica y su potencial, para contribuir a los programas prioritarios de irrigación y expansión de capacidad de generación de energía eléctrica, para lo cual coordinaron sus acciones de la manera siguiente:

“PRIMERO.- La SARH, a través de la CNA, llevará a cabo la construcción de la presa de almacenamiento y la planta hidroeléctrica y entregará esta última a la CFE para su operación y aprovechamiento.

SEGUNDO.- La construcción de las obras y equipos se ajustará a las especificaciones técnicas que de común acuerdo establezcan la CNA y la CFE.

TERCERO.- Durante la realización de las obras, ambas partes establecen los mecanismos de coordinación para llevar a cabo la inspección, recepción y prueba de las instalaciones y equipos.

CUARTO.- La CFE, durante los primeros 12 años de aprovechamiento de la planta, cubrirá montos anuales equivalentes a los del financiamiento con amortizaciones uniformes de capital, al 9% anual sobre saldos.

QUINTO.- La CFE tendrá a su cargo el mantenimiento y conservación a partir de la recepción de la planta.

SEXTO.- Transcurridos los 12 años a partir de la entrega de la planta a CFE, ésta dispondrá de las instalaciones correspondientes en los términos de ley.

SÉPTIMO.- La política de operación se fijará de común acuerdo entre la CFE y la CNA de tal manera que la planta opere con un factor de 0.25 y produzca en las horas pico, teniendo en cuenta que la obra debe regular las avenidas del río Fuerte”.

El planteamiento para la promoción financiera del proyecto consideró una primera fase que se apoya en el “valor” de su capacidad de generación eléctrica como fuente de recuperación del financiamiento extrapresupuestal.

En calidad de promotor del proyecto, CNA entregó a CFE la planta hidroeléctrica sin compromiso presupuestal por parte del sector energético durante la construcción.

Se acordó en principio que CFE recibiría la planta en un valor de 400 M.USD (1000 USD/kW) y la pagaría en un plazo de 12 años, mediante pagos uniformes de capital e intereses del 9% sobre saldos.

La inversión de 1000 USD por kW instalado que absorbe la CFE, se considera razonable en comparación con las siguientes hidroeléctricas:

Planta	USD/kW
Aguamilpa	875
Caracol	1906
Chicoasén	1044
Zimapán	2062

El 13 de mayo de 1992 la CNA recibió las propuestas de los participantes en el concurso relativo al otorgamiento de la concesión para el aprovechamiento de las aguas de la presa y el permiso administrativo para la construcción y el suministro de equipos e instalación de una planta hidroeléctrica, con la modalidad de inversión recuperable del sector privado, y procedió a su evaluación.

El 15 de junio de 1992, la CNA adjudicó a GMD-CBPO (Grupo Mexicano de Desarrollo, S.A. de C.V., y Companhia Brasileira de Projetos e Obras) la concesión para el aprovechamiento de las aguas de la presa y el permiso administrativo para la

construcción y el suministro de equipos e instalación de una planta hidroeléctrica, con la modalidad de inversión recuperable del sector privado.

La CNA, GMD-CBPO e ICA-La Nacional convinieron en que se formara un consorcio en el que participaron ambos grupos para la ejecución de las obras correspondientes al proyecto Huites, para aprovechar en beneficio del proyecto las propuestas y capacidades de ambos y, para tal efecto, GMD-CBPO e ICA-La Nacional, a través de las empresas GMD-CBPO Construcciones, S.A. de C.V. y Desarrolladora Mexicana de Huites, S.A. de C.V. constituyeron la sociedad mercantil denominada Consorcio Mexicano Constructor de Huites, S.A. de C.V. ("CONSORCIO"), sociedad que, consecuentemente, quedó formalmente como la adjudicataria del concurso.

Con fecha 23 de julio de 1992, en cumplimiento del 16° término de referencia de las bases y del propio fallo del concurso, la CNA y el Consorcio adjudicatario suscribieron el Convenio para llevar a cabo el proyecto Huites, con la modalidad de inversión privada recuperable.

Este instrumento tiene el fin exclusivo de establecer forma y tiempos en que habrían de instrumentarse las obligaciones derivadas del concurso por parte del consorcio adjudicatario y de la propia CNA. Es conveniente destacar que no se estableció ningún compromiso de la CNA que pueda interpretarse como contratación de obra. Asimismo, el adjudicatario se obligó a constituir un fideicomiso privado y que finalmente fue el concesionario del título de concesión y que éste fue el encargado de llevar a cabo los contratos necesarios para la realización del proyecto Huites. En dicho convenio se estableció el compromiso de CNA de realizar al fideicomiso privado aportaciones destinadas al financiamiento complementario de las inversiones necesarias para llevar a cabo el proyecto Huites.

Con fecha 11 de diciembre de 1992, el Consorcio celebró con Nacional Financiera, SNC, Dirección de Fideicomisos ("LA FIDUCIARIA"), el contrato de Fideicomiso; al efecto se constituyó un fideicomiso irrevocable con el objeto de contratar y administrar los recursos financieros, para llevar a cabo las inversiones necesarias para la construcción de la presa y de la planta hidroeléctrica. En el Fideicomiso se estipuló que la Fiduciaria, al seguir las instrucciones del Comité Técnico, llevara a cabo la contratación de las obras civiles relativas al proyecto, ya que se cuenta con los

permisos y autorizaciones en materia de tenencia de la tierra y de impacto ambiental, requeridos para el desarrollo del Proyecto.

Una vez constituido el Fideicomiso Huites, en cumplimiento de las bases de concurso y al tomar en cuenta que el 1 de diciembre del mismo año entró en vigor la nueva Ley de Aguas Nacionales, la que en su artículo 102, Fracción III, prevé la posibilidad de otorgar concesión para construir, equipar y operar infraestructura hidráulica federal, la CNA, en uso de sus atribuciones otorgó al Fideicomiso: "Título de concesión para construir, equipar y operar infraestructura hidráulica federal consistente en la construcción de la presa y permiso para equipar una planta hidroeléctrica.

Con base en el acuerdo del Comité Técnico del Fideicomiso tomado en la séptima sesión del 18 de marzo de 1993, se celebra el contrato de obra a base de precios unitarios y tiempo determinado con la contratista; se encomendaron a ésta todos los trabajos de obra civil correspondientes a la presa y a la planta hidroeléctrica para generación de energía eléctrica en el sitio conocido como Huites, sobre el río Fuerte, Sinaloa, con un monto de \$1423'576,166.24, que corresponde a la construcción de la obra civil y equipamiento, tal como se muestra en el cronograma y resumen de montos correspondientes (Fig. 2 y Tabla 2).

Figura 2.- Programa de Construcción del Contrato

CONCEPTO	1992						1993						1994																		
	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1. Desvío																															
2. Excedencias																															
3. Cortina																															
4. Obra de generación																															
5. Caminos de acceso																															

Tabla 2.- Presupuesto del Contrato

Descripción	Importe (\$)	Porcentaje
1. Obra de desvío	110'076,122.39	7.7
2. Cortina	581'884,759.87	40.8
2a. Desmonte del vaso de la presa	5'493,127.50	0.4
3. Obra de control de excedencias	174'210,119.15	12.4
4. Caminos	43'943,551.47	3.1
5. Obras auxiliares de electrificación	7'782,384.45	0.5
6. Campamentos	6'782,147.96	0.5
7. Planta Hidroeléctrica		
7a. Obra civil planta hidroeléctrica	86'692,000.44	6.1
7b. Equipamiento planta hidroeléctrica	406'711,952.99	28.5
Total	1423'576,166.24	100

Durante la ejecución de las obras del proyecto Huites hubo lugar a cambios en las condiciones consideradas originalmente, lo que motivó modificaciones a los presupuestos y programas de ejecución de los trabajos de diversos contratos con que se realizó el proyecto.

Los contratos para la realización del proyecto Huites fueron los siguientes:

- Obra civil. Contrato No. IH-92-82-A, celebrado con el Consorcio Mexicano Constructor de Huites, S.A. de C.V. (CMCH).
- Obra electromecánica. Contrato No. 876-1 celebrado con el Consorcio Electromecánico (CEM).
- Contrato de prestación de servicios (Supervisión) celebrado con el Grupo Profesional de Planeación y Proyectos, S.A. de C.V. (GPPYP).

Por convenio modificatorio del 12 de julio de 1993 del Fideicomiso, se sustituyó a Nacional Financiera SNC como fiduciaria por el Banco Mexicano de Comercio Exterior.

Obra civil. Contrato IH-92-82-A

En las cláusulas segunda y tercera del contrato de obra se prevé la obligación de la contratista de ejecutar todos los trabajos de obra civil presentados en la oferta, así como aquellos derivados de las instrucciones de la CNA para introducir variaciones en el proyecto y en el programa de ejecución de obra.

Durante la ejecución de las obras se determinaron modificaciones substanciales entre las que se detallan las siguientes:

- La cortina cambió del tipo de gravedad único a un tipo mixto de gravedad y arco.
- Se ordenó un sistema de postenfriamiento del concreto con serpentines, en todas las partes de la cortina y sus contrafuertes, que no estaba previsto en el diseño original.
- La planta hidroeléctrica se cambió de la ubicación original al pie de la cortina a la margen derecha en una excavación a cielo abierto.
- La obra de excedencias prevista con un vertedor auxiliar sobre el canal de desvío y otro en la ladera de la margen izquierda, cambió a dos canales a cielo abierto situados a partir del extremo izquierdo de la cortina.
- En el verano de 1993 se presentaron avenidas extraordinarias en el río Fuerte que obligaron a realizar una serie de trabajos en la obra de desvío y en la ataguía de aguas abajo.
- El mejor conocimiento de la geología de la boquilla obligó a ciertos cambios en la cimentación de la cortina, en el tratamiento de los taludes de excavación para la obra de excedencias y para la planta hidroeléctrica.

- Hubo otros cambios diversos al seguir las recomendaciones de los consultores internacionales y de los proyectistas.

Todas estas modificaciones al proyecto original que sirvieron de base para el concurso fueron autorizadas por la CNA con las correspondientes variaciones de los volúmenes y de los ajustes a los precios unitarios que fueron discutidos ampliamente con el Consorcio.

Las adecuaciones al proyecto y las especificaciones adicionales para la fabricación y colocación del concreto incidieron en el rendimiento de los equipos y organización previstos para la realización de las obras, por lo que tales modificaciones afectaron los costos en las diferentes estructuras del proyecto.

En atención a los ajustes de diseño, a la implantación de especificaciones adicionales y al incremento en volumen de varias estructuras se revisó la programación de la obra y las medidas que en términos de organización y compensación económica era necesario llevar a cabo, así como los recursos adicionales que tendrían que aplicarse para la terminación del programa, con el propósito de mantener los objetivos del proyecto.

Adéndum No. 1

Todos esos cambios se realizaron sobre la marcha y los que se ordenaron por la CNA hasta agosto de 1994 se documentaron en un convenio que produjo el Adéndum No. 1 al Contrato, el cual tomó como base los trabajos ejecutados hasta el 31 de agosto de 1994 y las características de las obras faltantes, de acuerdo a lo que se tenía identificado a esas fechas. Previamente se sometió a la consideración del Comité Técnico del Fideicomiso Huites, que acordó su aprobación.

El Adéndum No. 1.- Fue firmado el 24 de noviembre de 1994. Sin embargo, durante la etapa final de la construcción del proyecto, que puede considerarse del 1 de septiembre de 1994 a diciembre de 1995, se registraron circunstancias modificatorias adicionales que desembocaron en la necesidad de disponer de mayores recursos para concluir la obra y ponerla en operación antes de que concluyera el año, al reconocer que a pesar de lograr las fechas clave con un retraso algo mayor a 10 meses en relación con lo indicado originalmente en el programa, aun así se impuso una marca sin

precedentes en el proceso de construcción de obras similares; esto produjo grandes beneficios a la región, toda vez que desde el verano de 1994 quedaron protegidas contra inundaciones las zonas urbanas y 240 000 ha de producción.

Adéndum No. 2.- Las principales circunstancias modificatorias mencionadas que obligaron a un nuevo convenio se pueden resumir así:

- Variación en la distancia de acarreo de los agregados así como en las cantidades de éstos. La distancia considerada en el Adéndum No. 1 fue de 5 km promedio y debido a que se inundaron los bancos más bajos y también a la necesidad de contar con más arena para los concretos bombeados, no considerados anteriormente, los sobrecarreos se efectuaron a una distancia promedio de 7 km y las cantidades tuvieron variación.
- Inclusión de un obturador adicional al conjunto diseñado para mantenimiento de las compuertas del vertedor, para garantizar la seguridad de la cortina durante el montaje de las mismas si el agua subía arriba del nivel del grupo original de obturadores.
- Formación de nuevos campos de inyección de juntas en la cortina, con el incremento correspondiente de la cantidad de sellos; estos campos fueron motivados por la inclusión del desagüe de fondo en la obra.
- Modificaciones en los procedimientos de construcción para dejar más bajos unos monolitos, a las elevaciones 231 y 237, para constituir una estructura de descarga provisional, con protección de la planta hidroeléctrica en el caso de una avenida que sin esas escotaduras podría rebasar los bloques de la cortina de arco, con daños importantes a los trabajos de la planta hidroeléctrica.
- Cambios de proyecto de la estructura del desagüe de fondo. El proyecto definitivo se conoció hasta mayo de 1994.
- Incremento del volumen de obra por concepto de postenfriamiento del concreto. Este concepto corregía alguna apreciación mal estimada en el Adéndum No. 1
- Mayor volumen de inyección. En el Adéndum No. 1 se consideró hasta la 3ª. Etapa de inyección y posteriormente se inyectó hasta la 7ª. Y aún la 9ª etapa.
- Modificación en el trazo del desfogue de la planta hidroeléctrica.
- Modificación del sitio para la subestación de servicio eléctrico del vertedor.

Con apoyo en la cláusula tercera del contrato de obra que establece que la fiduciaria, por instrucciones de la CNA, podrá introducir variaciones en el proyecto a las especificaciones y al programa, bajo la responsabilidad de la CNA y al pasar a formar parte integrante del contrato, se formalizó el Adendum No. 2, con las determinantes que se ilustran en el cronograma de la figura 3. El Adendum No. 2 fue firmado el 21 de diciembre de 1995.

En la tabla 3 se relacionan los importes de las diferentes partes del proyecto: en el contrato original, con el Adendum No. 1, y con el Adendum No. 2.

Figura 3.- Programa de Construcción del Adendum No. 2

CONCEPTO	1992				1993					1994					1995								
	J-A	J-A	S-O	N-D	E-F	M-A	M-J	J-A	S-O	N-D	E-F	M-A	M-J	J-A	S-O	N-D	E-F	M-A	M-J	J-A	S-O	N-D	
1. Desvío																							
2. Excedencias																							
3. Cortina																							
4. Obra de generación																							
5. Caminos de acceso																							

Tabla 3.- Variaciones del Importe del Contrato

Estructura	Contrato (18 mar 92)	Adéndum No. 1 (24 nov 94)		Adéndum No. 2 (21 dic 95)	
	\$	\$	%*	\$	%*
1. Desvío	110'076,122.39	87'788,322.83	-20.24	91'098,227.25	-17.24
2. Cortina	581'884,759.87	964'674,966.35	65.78	1081'125,130.56	85.79
Desmante del vaso	5'493,124.50	93'296,808.71			
3. Excedencias	174'210,119.15	45'171,267.76	-46.44	93'209,293.25	-46.49
4. Caminos	43'943,551.47	14'000,303.94	2.79	54'486,357.34	23.99
5. Electrificación	7'782,384.45	6'621,125.49	79.89	17'127,278.11	120.08
6. Campamentos	6'782,147.96		-2.37	6'564,609.94	-3.2
7. Otros				20'725,000.00	
8. Planta hidroeléctrica, civil	86'692,000.44	186'543,704.11	115.18	223'263,875.25	157.88
9. Otros				641,145.03	
Suma obra civil	1016'864,213.25	1398'096,499.20	37.49	1586'540,913.43	56.02
10. Equipamiento	406'711,952.99	408'499,466.00	0.44	406'711,952.99	
Total	1243'576,166.24	1806'595,965.20	26.9	1983'252,870.42	39.31

* Incremento respecto del importe de contrato.

Obra electromecánica. Contrato 876-1

En el contrato "llave en mano" para la obra electromecánica no se presentaron variaciones en el monto; únicamente los plazos de ejecución variaron con base en el desarrollo de los trabajos de la obra civil.

Con fecha 24 de marzo de 1993, Nacional Financiera, SNC, en su carácter de fiduciaria y Consorcio Electromecánico, con la comparencia del Consorcio Mexicano Constructor de Huites, suscribieron el Contrato Llave en Mano para el diseño, fabricación, montaje, pruebas y puesta en servicio de los equipos y sistemas electromecánicos de instalación permanente que integran la central hidroeléctrica Huites.

Por convenio modificatorio al contrato del Fideicomiso Huites de fecha 12 de julio de 1993, la fiduciaria sustituye a Nacional Financiera SNC con tal carácter, al asumir con pleno derecho y sin reserva alguna la titularidad de todos los bienes, derechos y

obligaciones que forman el patrimonio del Fideicomiso Huites. El Consorcio asume ante la fiduciaria la responsabilidad solidaria y mancomunada del compromiso con el Consorcio Electromecánico, de la ejecución de los suministros y servicios materia del contrato en su calidad de adjudicatario del concurso.

En la Cláusula III. Plazo de entrega, 3.1 Plano del contrato se establece que el plazo para la ejecución de los trabajos se describe en el programa de obra electromecánica contenido en el anexo 14 del contrato, en el cual se señala el 24 de noviembre de 1994 con la fecha en que el Consorcio Electromecánico se obliga a iniciar las pruebas de aceptación para la primera unidad de la planta hidroeléctrica.

Durante la construcción de las obras del proyecto Huites se llevaron a cabo ajustes al diseño del proyecto en sus diferentes componentes, los cuales fueron autorizados por la CNA, lo que implicó modificar el programa de construcción.

Como consecuencia de lo anterior, no fue posible iniciar el montaje sino hasta el 1 de diciembre de 1993 en lugar del 30 junio del mismo año. Para iniciar el montaje el 1 de diciembre fue necesario hacer modificaciones importantes al procedimiento de montaje, las cuales se indicaron en las especificaciones del proveedor de las turbinas.

Contrato de prestación de servicios

El 23 de noviembre de 1993, la fiduciaria y la supervisora Grupo Profesional de Planeación y Proyectos, S.A. de C.V. (GPPyP) suscribieron el contrato de prestación de servicios para la supervisión de los trabajos ejecutados por el Consorcio Mexicano Constructor de Huites, S.A. de C.V., para la realización de la obra civil de la presa y la planta hidroeléctrica Huites.

Por convenio modificatorio de fecha 24 de noviembre de 1994, se incrementó el importe del Contrato de Prestación de Servicios en la cantidad de \$5'653,771.62, cantidad no sujeta a pago de anticipo, con lo cual resultó el importe total del contrato en \$40'023,570.45, y se estableció como nueva fecha de terminación el 30 de abril de 1995.

En virtud de que el contrato de prestación de servicios se encuentra elementalmente vinculado con el "Contrato de obra a base de precios unitarios y tiempo determinado para la realización de la obra civil del proyecto Huites de fecha 23 de marzo de 1993", por ser además un accesorio de éste, las modificaciones que se le hagan en cuanto a la terminación le repercuten directamente al primero.

Con fecha 21 de diciembre de 1995 se firmó el convenio modificatorio al contrato de obra a base de precios unitarios y tiempo determinado para la realización de la Obra Civil de la Presa y de la Planta del Proyecto Hidroeléctrico Huites de fecha 23 de marzo de 1993 para cumplir con el programa de terminación del citado proyecto hidroeléctrico, por lo que el Consorcio Mexicano Constructor de Huites, S.A. de C.V. se vio obligado a incrementar su fuerza de trabajo y permanecer mayor tiempo del pronosticado en la obra.

Los términos y condiciones del presente instrumento jurídico fueron aprobados por el Comité Técnico de Fideicomiso Huites, según consta en el acta de autorización.

El incremento al importe del contrato de prestación de servicios que por este convenio se pacta, es por la cantidad de \$16'758,173.69, cantidad no sujeta a pago de anticipo.

Los servicios que ampararon el importe total modificado del contrato de prestación de servicios se llevaron a cabo de conformidad con la adición y adecuación al programa de erogaciones.

Finiquito del contrato

Por lo que respecta al contrato para la obra civil de Huites, a enero de 1997 aun estaban en conciliación con la CNA algunas reclamaciones por parte del CMCH (Ref. 2). Todas las reclamaciones se resuelven de manera amistosa, sin que se hayan presentado litigios en los tribunales por alguna de las partes. La garantía por vicios ocultos estará vigente a un año después de finiquitar el contrato, sin que a enero de 1997, se haya tenido que hacer uso de ella.

Respecto a la entrega-recepción de la obra, a enero de 1997 se tiene un acta de aceptación provisional de proyecto, relativo a la construcción de una presa de

almacenamiento y obra civil de una planta para generación de energía eléctrica en el sitio conocido como Huites, sobre el río Fuerte ubicado en el estado de Sinaloa, al amparo del contrato de obra a base de precios unitarios y tiempo determinado número IH-92-82-A celebrado originalmente entre Nacional Financiera SNC y Consorcio Mexicano Constructor de Huites, S.A. de C.V. con la comparecencia de la CNA.

Las atribuciones que le confiere a la CNA la cláusula quinta del mismo contrato de obra "Supervisión de los trabajos", último párrafo, indica que: "La Comisión directamente conserva la responsabilidad de ejecutar la supervisión, vigilancia y control técnico de las obras, y se compromete a recibir directamente las obras civiles materia del presente contrato".

Además, con la finalidad de iniciar el trámite que dé cumplimiento a lo descrito en la cláusula segunda inciso (q) del contrato de fideicomiso que a la letra dice: "que la FIDUCIARIA, una vez concluidas las obras de construcción de la presa, transmite la titularidad de ésta a la CNA, sin menoscabo de que la planta quede bajo la custodia de la CFE en los términos del contrato de arrendamiento", en las fechas de aceptación provisional para cada estructura se levantó la lista de pendientes por ejecutar, los cuales se atienden a la fecha (Ref. 2).

2.6.2 CORTINA FORMADA POR UN TRAMO RECTO DE SECCIÓN GRAVEDAD EN EL CAUCE Y CORTINA DE ARCO EN LA MARGEN DERECHA.

A fines de enero de 1993, en atención a la recomendación del Panel de Asesores Internacionales, la CNA resolvió modificar el diseño del tramo de cortina en el lado de la margen derecha, con sustitución de la cortina de gravedad por una cortina de arco sobre el tajo de desvío y hasta el macizo rocoso como empotramiento.

El grupo consultor propuso sustituir el tramo desde el monolito 15 por un arco, que absorbería las variaciones de longitud del tramo de gravedad con deformaciones que se tomarían en cuenta en su diseño; por otra parte, se supuso que habría una disminución en el volumen de concreto (Ref. 1).

Se volvió a considerar que la ubicación de la planta hidroeléctrica al pie de la cortina contaría con espacio suficiente, aun al aceptar que la obra de excedencias estuviese en parte sobre el extremo izquierdo de la cortina; pero, en esa posición su excavación y

construcción podría interferir con la rápida construcción de la cortina de concreto tipo gravedad.

La solución lógica era la planta hidroeléctrica subterránea que se propuso en el anteproyecto CFE de 1981. Sin embargo, no se tuvo la aprobación de esta solución por dudar de la factibilidad geológica de las excavaciones necesarias, y se recurrió a otra solución, más complicada.

Se aprobó hacer una gran excavación paralela al tajo de desvío, a su derecha, para alojar en ella la planta hidroeléctrica que sería alimentada por tuberías a través del arco. Esta idea resolvió el problema de interferencia con la construcción de la cortina, al crear dos frentes de trabajo aparentemente independientes entre sí.

Se tomó en cuenta para estas modificaciones que era indispensable disponer de un puente carretero sobre el río, aguas abajo de la presa, de ejecución prioritaria, para los trabajos simultáneos en la margen derecha.

2.7 PROYECTO FINAL.

Después de realizar los cambios y ajustes en los diseños, según se describe en el apartado anterior, el proyecto final de la presa Huites se resolvió en la siguiente forma:

- Obra de desvío en tajo excavado al pie del macizo rocoso de la margen derecha, con ataguías colocadas aguas arriba y aguas abajo del recinto de la cortina.
- Cortina de concreto integrada por tres tramos: cortina de sección gravedad no vertedora, en el centro del cauce del río; cortina de sección gravedad vertedora, en el extremo de la margen izquierda; y cortina de arco para cerrar el espacio sobre el canal de desvío, con empotramiento en el macizo rocoso de la margen derecha.
- Las variaciones de temperatura ambiente se traducirán en cambios de la longitud total, de varios centímetros, lo que obligaría a diseñar y construir una junta especial de contracción – dilatación en el extremo derecho, junto al macizo rocoso.
- Un tramo del extremo derecho se liga a la ladera en la zona que tiene cambios de geometría desfavorables para el buen apoyo.

- Obra de generación con dos unidades turbogeneradoras, con su toma a través de la sección de la cortina de arco, tubería de presión ahogada en todo su tramo, casa de máquinas al pie del macizo montañoso a la derecha del tajo de desvío, y desfogue en el canal de descarga de la obra de desvío.
- Obra de control y excedencias en el tramo de sección vertedora de la cortina de gravedad, compuesta por un cimacio vertedor, dos pilas, un muro intermedio y dos muros exteriores, para operar cuatro compuertas radiales. La descarga se realiza a un canal dividido en dos por un muro central, cada uno con 36 m de ancho de plantilla con perfil circular y rematado en un deflector. El diseño hidráulico sería gobernado por ensayos en modelo hidráulico.
- Un desagüe de fondo, ubicado en el tajo de desvío, a través del bloque de cimentación de la cortina de arco, con entrada sin rejillas y descarga controlada por dos compuertas deslizantes, en serie, en un canal.
- Dos conductos para operarse durante el cierre de canal de desvío, ubicados en el monolito 8 de la sección no vertedora, de 6 m de ancho por 12 m de altura y obturados finalmente desde una plataforma adosada al paramento aguas arriba de la cortina
- Dos accesos a la corona de la cortina, uno en cada extremo, mediante túneles excavados en los macizos rocosos respectivos, y un acceso directo al nivel de la casa de máquinas, por un camino en la margen derecha que cruza el río por un puente carretero situado como a 900 m aguas abajo de la presa, que llega a través de un túnel corto.
- Un elevador para equipo ligero y personal, de la elev. 252 a la galería No. 1, en el monolito 11.

Los datos del proyecto se presentan en la tabla 4 y planos anexos.

Tabla 4.- Datos del proyecto

Generales	
Capacidad al NAME	4568 Mm ³
Capacidad para azolves	500 Mm ³
Capacidad útil para generación	2408 Mm ³
Capacidad para control de avenidas	1102 Mm ³
Superalmacenamiento	558 Mm ³
NAME, elevación	290 m s.n.m.
NAMO, elevación	270 m s.n.m.
NAMINO, elevación	215 m s.n.m.
Corona de la cortina, elevación	290.70 m. s.n.m.
Obras de excedencias	
Gasto máximo de la avenida de diseño	30 000 m ³ /s
Cresta vertedora, elevación	258 m. s.n.m.
Gasto máximo de la salida del vertedor	22 445 m ³ /s
Longitud de la cresta vertedora	62 m
Compuertas de 15.5 X 21 m	4 pzas.
Obra de toma	
Umbral de la toma, elevación	190 m s.n.m.
Gasto de diseño	470 m ³ /s
Compuertas de servicio de 6.13 X 7.8 m	2 pzas.
Compuerta de emergencia de 6.13 X 7.8 m	1 pza.
Obra de desvío	
Capacidad de tajo de desvío	9000 m ³ /s
Planta hidroeléctrica	
Grupos turbogeneradores de 211 MW (turbinas Francis)	2 unidades

2.8 TOPOGRAFÍA DE DETALLE

A principios de 1992 se hicieron los levantamientos de topografía de detalle por parte de la empresa Grupo Profesional de Planeación y Proyectos, S.A., encargada de la supervisión, con la finalidad de controlar la construcción de acuerdo a la geometría del proyecto y brindar apoyo para desarrollar las modificaciones y complementos al diseño.

Con estos datos se le dio seguimiento a la evolución del proyecto y se apoyaron los números generadores, avances de obra y finiquitos de los contratos de construcción.

Mención aparte merece la red geodésica de la presa integrada para registrar los desplazamientos de las estructuras durante la construcción, prueba y puesta en servicio de la obra, mediante referencias permanentes. La figura 4 muestra la topografía de la boquilla y los principales vértices de apoyo.

2.9 ESTUDIOS GEOLÓGICOS

Los primeros estudios geológicos del sitio de Huites se iniciaron en 1958 por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Los informes de García Herrera y Díaz Cabral en 1962, así como de Ramírez Gutiérrez y García Herrera en 1963, constituyen el resultado concreto de los estudios efectuados en aquella época, en los que se definió la geología general del sitio y se iniciaron las exploraciones subterráneas en el área de la boquilla.

A partir de entonces hubo actividades esporádicas en el proyecto. En noviembre de 1979 se presentó el primer informe anual del trabajo de exploración, realizado por el personal de la entonces brigada móvil de perforación de CFE.

En 1982 la CFE realizó un estudio geológico – geotécnico en la zona de la boquilla enfocado a una cortina de materiales graduados; en este estudio se analizan los barrenos y socavones realizados hasta la fecha, se hace un análisis de las estructuras y litología en ambas márgenes, así como una recopilación de la información regional realizada por diversos autores cercana al área de estudio.

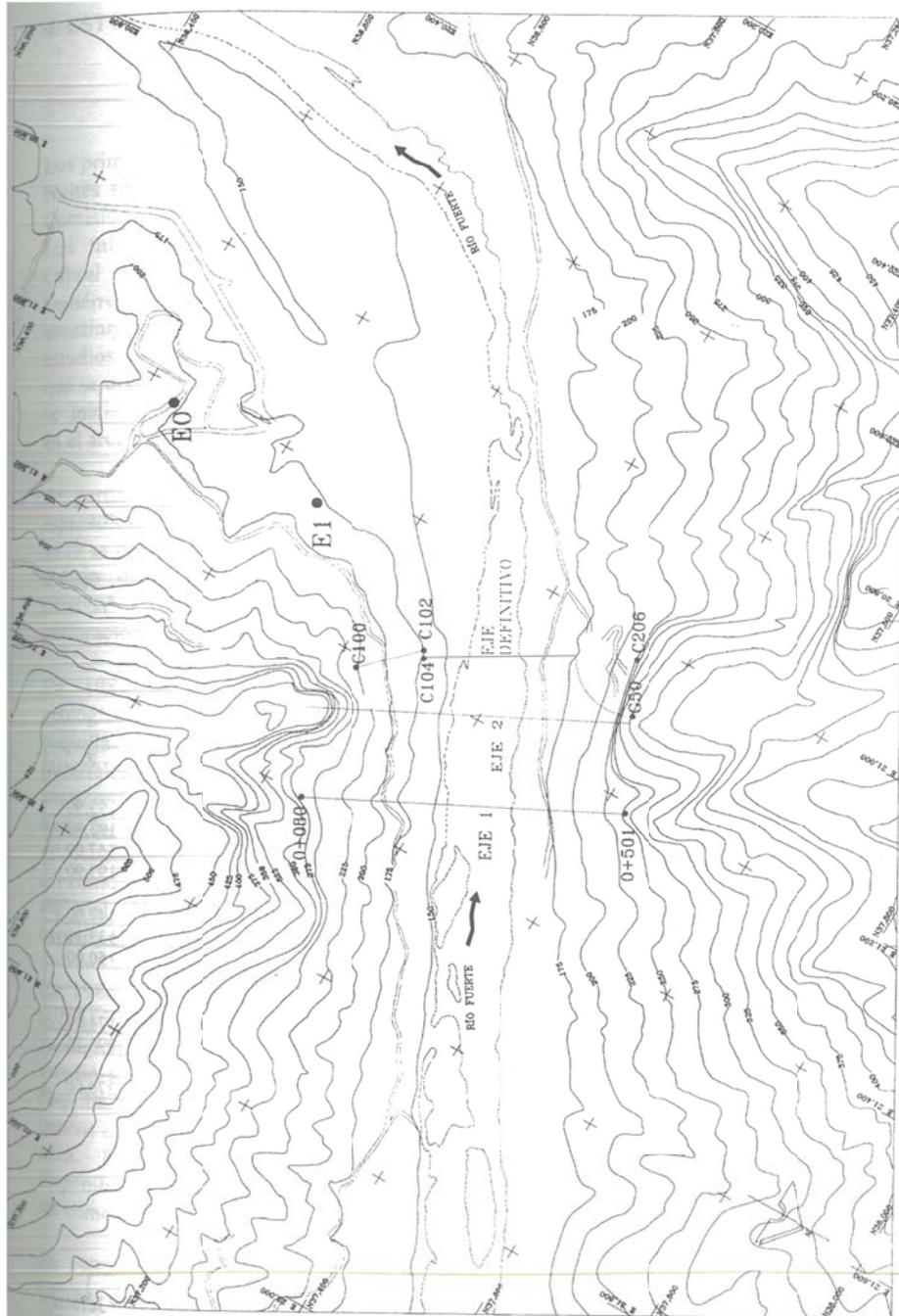


Figura 4.- Topografía de la boquilla y principales vértices de apoyo

En 1986, la Comisión Nacional del Agua (CNA) asignó mediante contrato un estudio geológico – geotécnico integral en el cual se estudió a detalle la zona del embalse y la boquilla, así como una exploración de los bancos de material disponibles cercanos a la obra. En este estudio se detecta la disponibilidad de enrocamiento y agregados así como la escasez de materiales arcillosos.

En 1990, la CNA conserva la idea de una cortina de materiales graduados, con las obras de excedencias y desvío subterráneas ubicadas en la margen izquierda, por lo que fue necesario estudiar con más detalle dicha margen y sobre todo la zona de convergencia de los túneles de desvío y túneles vertedores; se realizaron cinco barrenos dentro del socavón 13 y de la galería 13 Bis. Con los resultados del estudio se previeron problemas durante las excavaciones de los túneles de las obras auxiliares y se decidió cambiar substancialmente el proyecto. Se ubicó el desvío en la margen derecha y se mantuvo el vertedor de demasías en la margen izquierda; además, se consideraron todas las obras en superficie, así como una cortina de concreto tipo gravedad. Este fue finalmente el esquema que prevaleció para fines de licitación.

2.9.1 GEOLOGÍA REGIONAL

2.9.1.1 GEOMORFOLOGÍA

El área donde se construyó la presa está conformada por dos sierras y un Valle intermontano: la sierra del Orito al centro y oriente y la sierra del Rosario en su porción noroeste, así como el valle en la parte suroccidental en el que se asientan las poblaciones de Choix y Tasajeras (Ref.1, 3 y 4).

La sierra del Rosario, al occidente del área en cuestión, se encuentra sensiblemente orientada NW-SE y presenta un relieve topográfico en estado de madurez constituido por hondonadas y paredones de superficies muy irregulares; hacia el sur presenta acantilados y picachos que se transforman paulatinamente en suaves pendientes que terminan en terrenos de lomeríos separados por valles pequeños. El drenaje de esta región es de tipo dendrítico.

En una amplia franja orientada NE-SW e interrumpida en su sección central por el bloque que da lugar a la boquilla de Huites; puede apreciarse una topografía de relieves poco pronunciados con drenaje de patrón paralelo, en ocasiones dendrítico, que corresponde a terrenos graníticos y amplias mesetas de basalto. Asimismo, la existencia de aparatos volcánicos y testigos de erosión ha dado origen a drenajes radiales de alcance muy local.

2.9.1.2 TECTÓNICA REGIONAL

Las grandes estructuras que se observan en el extremo norte del estado de Sinaloa son fallas y fracturas de importantes dimensiones que se orientan burdamente paralelas a la línea de la costa, es decir NW-SE; estos alineamientos persisten a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental la cual tiene la misma orientación.

Los primeros esfuerzos de tensión se manifestaron a fines del Cretácico o principios del Terciario, fenómeno que ha sido asociado con la extrusión de rocas volcánicas ácidas o intermedias. Es probable que las zonas de debilidad que sirvieron de conducto a este vulcanismo hayan sido grandes fracturas de orientación NW-SE que ya existían durante esa época. En efecto, Arwater (1970) y Deman (1975) coinciden en afirmar que "las manifestaciones volcánicas de tipo arco insular, calco-alcalino (Sonora – Sinaloa)" están relacionadas con los movimientos de hundimiento (subducción) de la Placa Farallón debajo de la Placa Americana, las cuales invariablemente son paralelas a los grandes fracturamientos de esta área. Es obvio que las fuentes de emisión han quedado selladas por las mismas rocas volcánicas.

El ciclo geotectónico en la porción del norte del estado de Sinaloa se completa con una nueva época de plegamiento, ahora en dirección NNW-SSE acompañado por grandes sistemas de fallas, que en general tienen la misma orientación. Según Bonneau (1971), desde fines del terciario hasta hoy, la región sufre una tectónica de distensión que se relaciona con la formación del golfo de California.

Por último, el vulcanismo riolítico reciente y el vulcanismo basáltico cuaternario asociados a fallas de orientación N-S señalan el final de la actividad tectónica en el noroeste de la República Mexicana. Algunas fallas de rumbo casi perpendicular al sistema antes descrito, aunque poco numerosas, desempeñan un importante papel en el control del curso de los diversos ríos de la región, como es el caso del mismo Río Fuerte, en la porción de su cabecera y en las partes altas de la Sierra Madre Occidental (Ref. 1).

2.9.2 GEOLOGÍA DEL VASO

El estudio del embalse de la presa de Huites comprendió ambos márgenes del Río Fuerte del eje hacia aguas arriba, hasta unos dos kilómetros antes de su confluencia con el Río Urique. También incluyó la porción inferior del Río Chínipas, desde unos cinco kilómetros antes de su confluencia con el río Septentrión hasta su unión con el Río Fuerte incluye además los cursos inferiores de tres de los afluentes del Río Chínipas: el Río Septentrión y los arroyos El Palmar y las Juntas.

La región incluye varias unidades de roca las cuales se describen a continuación:

2.9.2.1 ESTRATIGRAFÍA

a) Esquistos y anfibolitas

Los afloramientos de estas rocas están muy restringidos; se localiza el mayor de ellos en una franja de 3 X 0.5 km comprendida entre las estaciones Los Pozos y Luis Covarrubias del ferrocarril Chihuahua al Pacífico.

Se trata de esquistos de color gris verdoso oscuro a verde grisáceo y crema, con esquistosidad bien desarrollada, presentan abundantes vetillas de cuarzo.

Las anfibolitas constituidas esencialmente por cristales de hornblenda y plagioclasas, están intercaladas con rocas con la misma mineralogía pero con otra textura que les imprime un aspecto más esquistoso, razón por lo que se les consideró como esquistos de hornblenda – plagioclasa.

La unidad se encuentra como un colgante o flotado encima del granito y está afectada por apófisis de éste; sin embargo, no presenta huellas de metamorfismo de contacto. Su origen se debe al metamorfismo regional de intensidad moderada de antiguas rocas ígneas intermedias o máficas, o bien de sedimentos margosos. Se correlacionan con pizarras, filitas y esquistos del Paleozoico ubicados en las márgenes de la presa Miguel Hidalgo.

b) Metaandesitas, y metatraquitas

Uno de los afloramientos aparece a un kilómetro aguas abajo de su confluencia con el arroyo de Balojaqui y de la ranchería de Las Lajas.

Es una roca de color gris verdoso a gris oscuro, de aspecto macizo y de textura variable entre aglomerática y porfídica. Los minerales observables son plagioclasas, tanto como fenocristales como en la matriz y trazas de máficos alterados a clorita o hematita; otros minerales de alteración son las arcillas. Esta roca fue clasificada como

una metaandesita de piroxenos y obviamente fue afectada por el intrusivo granítico del área.

Su espesor medido es de 120 m, su parte inferior está invadida por el intrusivo granítico y por hallarse debajo de las calizas deben haberse formado cuando menos durante el Jurásico Temprano o tal vez en el Triásico (Ref. 4).

c) Metacaliza

Esta unidad se observa en las partes más altas de las márgenes del Río Fuerte, como remanentes o colgantes en el granito. Se trata de calizas grises claras a oscuras que intemperizan en tonos pardos claros y ocre; su aspecto es masivo y moderadamente fracturado, como fracturas verticales que llegan a sobrepasar los 25 m de longitud; han sufrido los efectos del metamorfismo de contacto provocado por la intrusión granítica y en su mayor parte están marmorizadas.

El rumbo de sus estratos plegados es N75°E con inclinaciones de 50° al NW. Su contacto inferior no está expuesto y en varios lugares la caliza está cubierta en discordancia angular por una brecha volcánica gris de la Unidad Terciaria Inferior Volcánica. Algunos autores consideran la edad de las calizas del Jurásico-Cretácico.

d) Metaareniscas y meta conglomerados verdes

La mejor exposición de estas rocas se encuentra en el área Brasiles, consisten en areniscas de grano fino a medio de color verde olivo, con horizontes de conglomerados polimícticos hacia su base. La unidad muestra una intensa propilitización con desarrollo de epidota, clorita y pirita diseminada, que le imparten su color característico. Su

espesor se considera mayor de 70 m. Sus relaciones estratigráficas son discordantes, tanto con las rocas de unidades inferiores como con las ignimbritas riolíticas que parcialmente la cubren. Por descansar sobre las calizas del Cretácico Inferior y por estar alterada y mineralizada por la acción del granito, su edad correspondería a la cima del Cretácico Inferior.

e) Corneana u hornfels

Son las rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentarias detríticas que fueron transformadas a corneana u hornfels por la acción metamórfica del batolito granítico que predomina en el área. Son de color gris oscuro o verdoso, pardo y pardo rojizo, de aspecto brechoide, porfídico o afanítico, con fracturamiento variable. Su composición es también variable.

Estas rocas han sufrido una intensa propilitización con desarrollo de epidota, clorita y pirita diseminada, que le imparten su color característico.

Algunos autores a estas rocas las asignan al Cretácico Inferior por encontrarse debajo de una sección sedimentaria del Albiano-Cenomaniano.

f) Granito

Esta roca aflora en gran parte del vaso de la presa, en donde ocupa sobre todo las partes bajas. Se trata de una roca de color verde y crema o rosa y crema de estructura maciza, que presenta un buen grado de compacidad en sus partes más profundas, mientras que en superficie se desarrolla un fracturamiento en dos sentidos; es además, un tanto deleznable.

Su composición varía de granítica a granodiorítica y tonalítica. Su textura es holocristalina, equigranular media e hipidiomórfica, con facies porfídicas hacia sus bordes.

Por determinaciones radiométricas se le asigna a este granito una edad entre 55.8 y 58.6 millones de años, lo cual las coloca dentro del Paleoceno.

g) Areniscas y conglomerados rojos

Los afloramientos de estas rocas se encuentran en el área de la confluencia de los Ríos Chínipas y Septentrión, sobre el Río Chínipas y en el arroyo El Palmar; se trata de unos 200 m de espesor de areniscas y conglomerados. Las areniscas son de color

pardo rojizo que varía desde bien estratificadas hasta masivas, con rumbos sensiblemente NW e inclinaciones variables entre 20 y 40° al NE, con poco fracturamiento. Los conglomerados están compuestos de fragmentos de traquitas en una matriz arenosa, proveniente de la desintegración de este tipo de rocas; estas fueron clasificadas como conglomerados y areniscas (grauvacas líticas) rojas, debido a la oxidación por hematita. Estas rocas se hallan debajo de la secuencia ignimbrítica, por lo que son anteriores a ella; para algunos autores esta secuencia ha sido atribuida al Oligoceno Inferior.

h) Secuencia ignimbrítica

Esta secuencia de composición fundamentalmente riolítica conforma la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, donde alcanza un espesor de miles de metros. Dentro del vaso ocupa la parte alta de los cerros y pueden reconocerse los cinco miembros que se identificaron en la boquilla.

Su fracturamiento casi vertical, aunado al fallamiento en bloques, favorece la formación de cantiles que constituyen su expresión geomorfológica típica.

Para algunos autores, la edad de estas rocas asimilables a la Unidad Terciaria Superior Ácida, es de entre 34 y 21 millones de años (Oligoceno-Mioceno).

i) Conglomerados y areniscas abigarrados

Afloran en ambos márgenes del Río Septentrión y en el área de Tubares; en esta última están intercaladas con cuerpos ignimbríticos. Se trata de areniscas (grauvacas líticas) y conglomerados polimícticos abigarrados; predominan los tonos pardo rojizo, rosa, gris, verde y crema. Por los numerosos fragmentos de ignimbritas se les asigna una edad del Terciario Superior (Plioceno).

j) Basaltos, doleritas, depósitos de talud y aluvión.

Al igual que la secuencia ignimbrítica, estas rocas se describirán en el apartado correspondiente a la geología de la boquilla, pues en esa área se estudiaron con mayor detalle.

2.9.2.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El área presenta un control estructural con marcada orientación preferencia NW-SE, con ligeras variaciones N-S; lo anterior se verifica tanto para las fallas como para las fracturas diaclasas, que producen una frecuente separación en forma de bloques de la roca. La inclinación de los planos de deslizamiento y fracturamiento varía entre los 60° y la vertical.

A nivel regional pueden identificarse tres estructuras mayores limitadas por grandes fallas normales de rumbo NW-SE; se trata de un graben, un horst y dos bloques de fallas escalonadas.

El graben concuerda fundamentalmente con una zona baja en la que abundan derrames basálticos cuaternarios. Hacia su parte meridional aflora el conglomerado granítico, sobre el que se asienta Choix, y la brecha rojiza. Es preciso señalar que la margen nororiental de esta estructura afectó al bloque que constituye la boquilla de la presa.

El horst dispuesto a continuación concuerda con los afloramientos más extensos de granito y presenta masas de rocas estables y moderadamente fracturadas.

Uno de los bloques de fallas escalonadas contiguo al horst tiene tres zonas de cierta inestabilidad; una debida al fracturamiento en bloques en el caso del granito, otra a los planos de estratificación en el horizonte de areniscas y otra mas en el horizonte de conglomerados rojos; una de estas tres zonas podría afectar directamente al embalse de la presa y se encuentra en el área del Río Chínipas.

El otro bloque de fallas escalonadas constituye el área donde está asentada la población La Reforma y se caracteriza por una gran complejidad estructural que

provocó afloramientos igualmente complejos de roca con contactos normalmente afallados. Aquí se encuentra también una zona de roca que muestra signos de inestabilidad dentro del embalse. En este caso se trata de las rocas metasedimentarias cuya composición arcillolimosa alternada con arenoconglomerática presenta tendencia a desintegrarse en forma de pequeñas lajas que brindan planos de deslizamiento en presencia de agua. (Ref. 1).

2.9.2.3 PERMEABILIDAD DEL VASO

Como se mencionó, el granito está expuesto en la mayor parte del vaso de la presa y sobre todo en las partes bajas; se presenta generalmente con estructura masiva en las partes más profundas con permeabilidad, en general baja, de acuerdo con los resultados de pruebas efectuadas en la cimentación de la presa. En forma adicional las fallas importantes localizadas en el embalse y cercanas a la presa buzan hacia aguas arriba; algunas de ellas fueron exploradas con barrenos y pruebas de permeabilidad (falla corneana-granito) y muestran baja permeabilidad, ya que se presentan rellenas de arcillas o intrusionadas por diques. Lo anterior garantiza la impermeabilidad del embalse de la presa Huites.

2.9.3 GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA

2.9.3.1 ESTRATIGRAFÍA

La descripción de la secuencia estratigráfica de las rocas que afloran en la boquilla se hará de acuerdo con su orden cronoestratigráfico de depósito o emplazamiento. Las unidades son las siguientes:

a) Corneana

Se trata de una roca de estructura compacta y fracturada; su textura varía de brechoide a porfídica, piroclástica y arenosa, de tonos oscuros que oscilan entre gris verde, gris verdoso, rojo pardusco y negro, según la localidad.

Al microscopio se pudieron distinguir cinco tipos de rocas dentro de este cuerpo: la corneana propiamente dicha, el pórfido riódacítico metamorfoseado, la metatoba

arenosa, la metabrecha, y la metaarenisca; todas estas rocas presentan un metamorfismo de contacto de baja intensidad.

Su textura varía de granoblástica a porfidoblástica. Los minerales originales son el cuarzo y las plagioclasas sódicas, acompañados a veces por cantidades accesorias de feldespato alcalino y fragmentos de rocas (cuarcitas, dioritas y andesitas).

Los minerales provenientes del metamorfismo son fundamentalmente, epidota, clorita, actinolita, albita, estilpnomelana, cuarzo y sericita. También se observan zonas de alteración hidrotermal que se manifiestan por la presencia de turmalina, cuarzo, arcillas y propilita, así como calcopirita y bornita. Hay algunas zonas de hematita cuya presencia, en cambio se atribuye a procesos superficiales de intemperismo.

Las alteraciones hidrotermales que presenta el cuerpo de corneanas están representadas por silicificación, propilitización y turmalinización.

La hematización es una alteración superficial que se caracteriza por impartir a la roca un color pardo rojizo y por lo general se concentra en la parte superior de la corneana.

Estructuralmente la corneana se ve afectada por varios sistemas de fracturamiento: el principal tiene rumbo NE-SW y posición vertical; hay otro sistema normal al primero, que también es importante. Las fracturas se caracterizan por ser cerradas, no soldadas y sin relleno.

En esta roca se excavó la entrada y parte del canal de desvío, la cimentación de la ataguía de aguas arriba y parte de los taludes del vertedor.

b) Granito y granodiorita

Ambas rocas representan cambios de facies del mismo evento intrusivo conocido en el noroeste del país como Batolito de Sonora- Sinaloa, pues sus contactos son transicionales. La roca más abundante es la granodiorita que se distingue fácilmente por sus colores gris verdoso y crema, a diferencia del granito que es rosa y gris. La estructura de estas rocas es compacta y maciza aunque superficialmente es un tanto deleznable por intemperismo, que forma costras de exfoliación; también en superficie presenta numerosas fracturas cerradas de tamaño pequeño, por lo general no

mayores de un metro. Su textura es holocristalina, fanerítica de grano medio, equigranular e hipidiomórfica, a veces con intercrecimientos gráficos y pertíticos; hacia su contacto con la corneana cambia a porfirítica en matriz microcristalina.

El granito se compone esencialmente de microclinapertítica, oligoclasa andesina y cuarzo y predomina la primera; como minerales accesorios se observan biotita, hornblenda, magnetita, pirita y apatita y es más abundante la biotita; como minerales secundarios pueden aparecer arcillas, clorita, epidota, calcita y hematita.

La granodiorita tiene los mismos minerales que el granito, salvo que en proporciones diferentes; las plagioclasas son más abundantes que el feldespato alcalino y la hornblenda predomina sobre la biotita. Ambas rocas están cruzadas por diques aplíticos, además de los doleríticos mencionados previamente. Las aplitas tienen unos cuantos centímetros de espesor, son de color gris claro a rosa, compactos y de textura fanerítica.

Mineralógicamente se componen de cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasa sódica; en algunos casos están turmalinizados, silicificados y oxidados.

En las inmediaciones de la presa el intrusivo está distribuido ampliamente; constituye casi siempre las partes de más bajo relieve caracterizadas por lomeríos de pendientes suaves.

En esta roca se cimentó casi la totalidad de estructuras de la presa: la mayor parte de canal de desvío, toda la cortina, el vertedor y la casa de máquinas.

c) Secuencia ignimbrítica

Esta secuencia cubre una zona de 0.9 km² y tiene un espesor de 250 m, excepto al norponiente de la cortina, donde sufre un notable adelgazamiento hasta reducirse a 150 m. Descansa discordantemente y en contacto erosional sobre el granito o la corneana.

Generalmente se encuentra en la cima de las partes altas de los cerros y constituye cantiles, con taludes verticales. Su composición es esencialmente riolítica y presenta algunas variaciones texturales, por lo que se pudiera separar en numerosas unidades

diferentes; sin embargo, por simplicidad se agruparon en cinco miembros, cuatro parcialmente consolidados (T_1 , T_2 , T_3 y T_5) y uno piroconsolidado (T_4) (Figs. 5 y 6).

d) Diques de dolerita o diabasa y basaltos

Estas rocas se emplazaron preferencialmente a rumbo de fallas y fracturas, provocando que se sellaran; por lo general, atraviesan toda la secuencia litológica. Megascópicamente son de color verde grisáceo, compactas, poco fracturadas, fácilmente intemperizables y erosionables, y constituyen cañadas en el relieve. Sin embargo, a profundidad se vuelven más duras.

Cuando está fresca la roca, sus minerales esenciales observables son plagioclasas cálcicas (labradorita y bitownita) y los accesorios, olivino, piroxenos y magnetita. Los secundarios están representados por clorita y calcita que, cuando son abundantes, transforman a las doleritas en diabasas. Su textura es holocristalina, equigranular fina, hipidiomórfica, a veces ofítica. La composición de las mesetas de basalto, que empiezan a aparecer 1 km aguas abajo del eje de la boquilla, es esencialmente la misma, por lo que se considera que estos diques son sus conductos alimentadores.

e) Depósitos de talud y aluvión

El talud que cubre la mayor parte del área se compone fundamentalmente de bloques grandes y numerosos de ignimbritas que llegan a alcanzar diámetros de hasta cinco metros. Se localizan sobre todo a lo largo de los arroyos, encima del granito y la corneana.

Se llegan a observar también fragmentos de estas dos últimas rocas, pero son mucho más pequeños y escasos. Junto a los bloques se presentan conglomerados, areniscas y lutitas recientes, poco consolidados, que pueden alcanzar espesores de hasta 20 m. Algunas veces las gravas y arenas que se localizan en ambos márgenes del Río Fuerte constituyen terrazas bien formadas.

El aluvión constituye llanuras de inundación en el Río Fuerte formadas esencialmente por limos, arcillas y arenas. Las gravas aparecen preferentemente en el lecho del río de donde fueron extraídas para los agregados de los concretos de la presa. (Ref. 1 y 4).

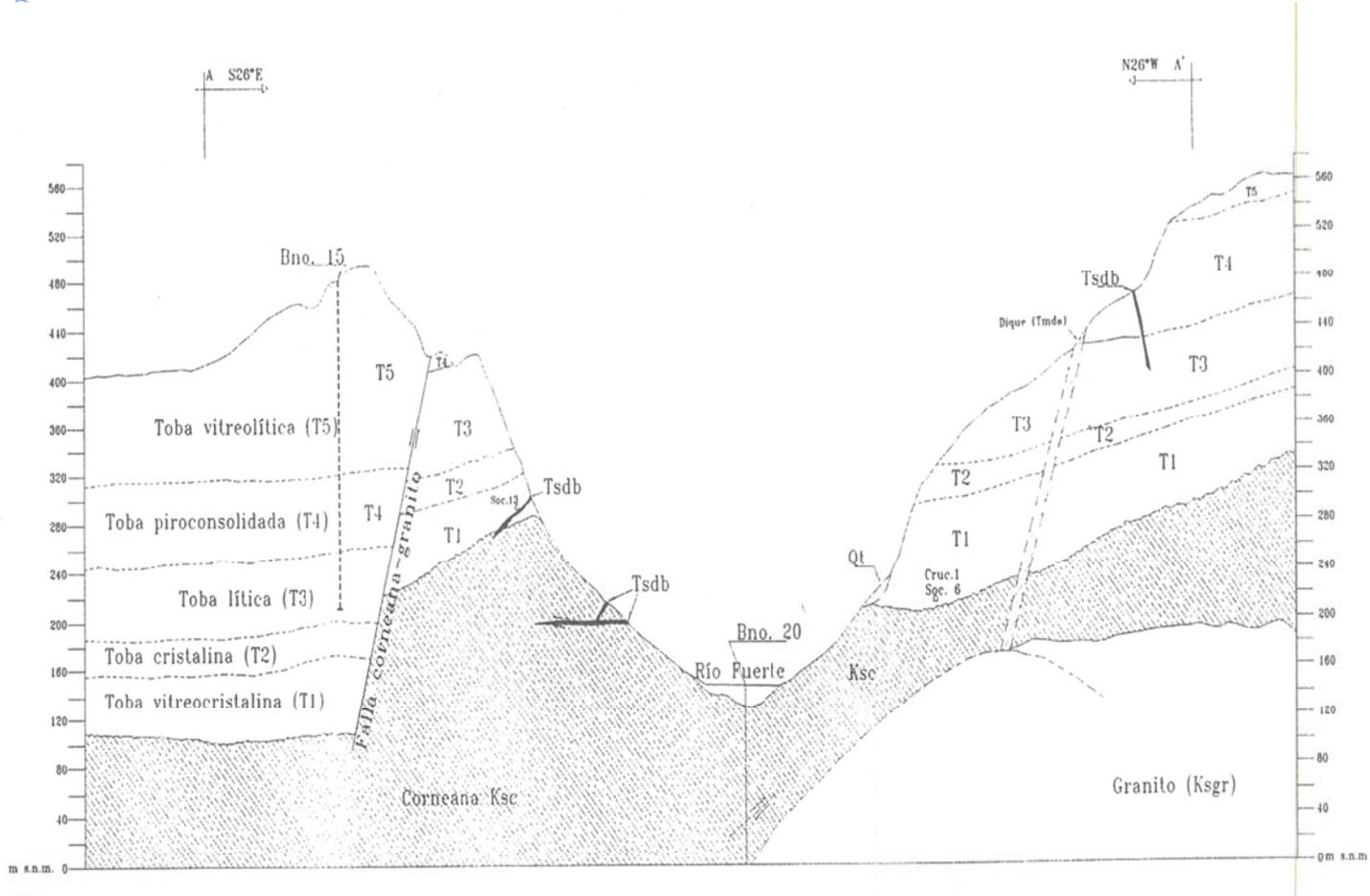


Figura 5.- Sección geológica 200 m aguas arriba de la cortina

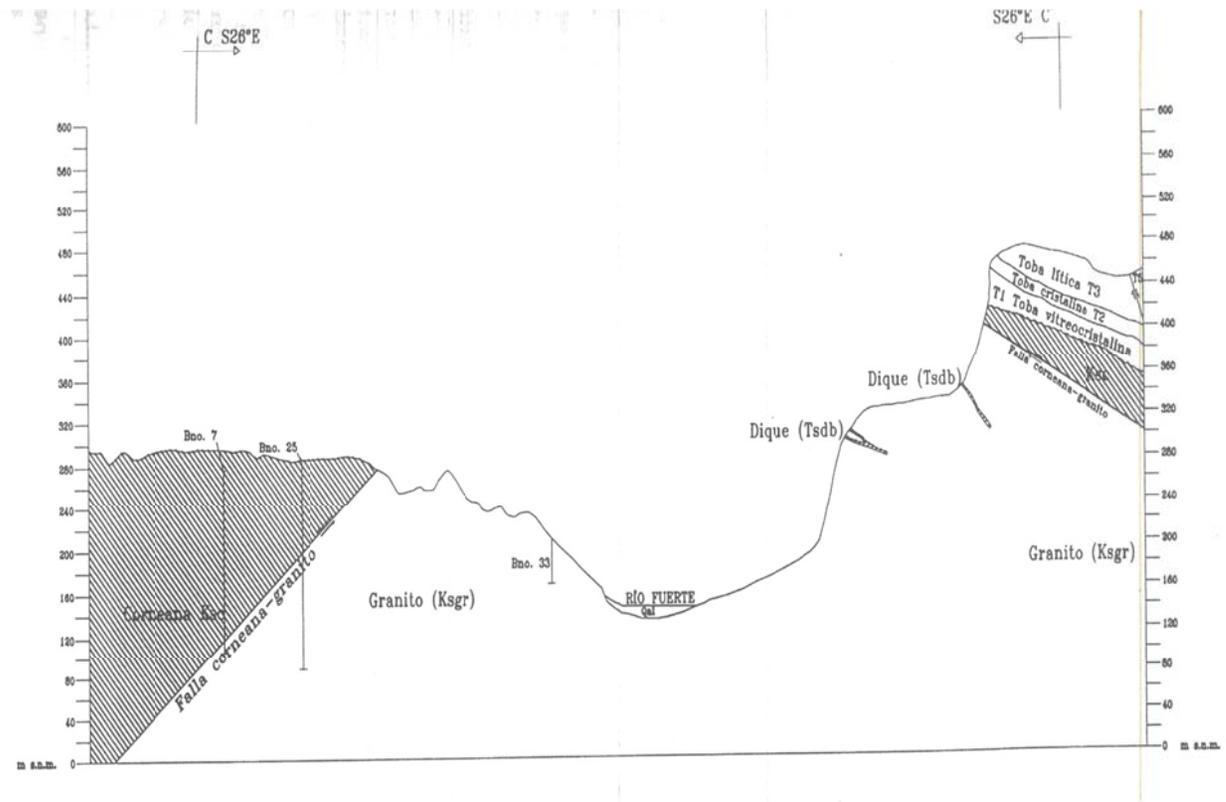


Figura 6.- Sección geológica 50 m aguas abajo de la cortina

2.9.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La estructura geológica más importante es el contacto falla corneana – granito, la cual está expuesta en ambos márgenes del río, atraviesa el cauce transversalmente con buzamiento hacia aguas arriba y se ha interpretado como una falla de gran desplazamiento debido a que en el margen derecho pone en contacto la secuencia ignimbrítica con el granito.

En el margen izquierdo, en superficie se observó rellena de arcillas rojas, con rumbo N18°W e inclinada 38° al NE. En el cruce 1 del Socavón 3, se le midió un rumbo de N25°W con una inclinación de 55°NE, y al igual que en superficie se observó rellena con arcillas rojas; en el Socavón 17 se le observó con un rumbo de N10°W y 60° de inclinación con una zona cataclástica de 0.30 a 2.50 m de espesor y en el Socavón 9 se detectó su plano de falla cubierto por jaboncillo, con rumbo N10°W e inclinación de 85° al NE. Además, esta falla se exploró con cuatro sondeos; uno de ellos se encuentra en el río y presentó una zona cataclástica de 33.54 m de espesor.

En el margen derecho, la traza de la falla se ubica en la cañada localizada aguas arriba de la estructura denominada domo granítico. En el subsuelo fue identificada en el cruce 2 del Socavón 4 y en el cruce 1 del Socavón 6, puntos en los cuales es observable con un rumbo N15°W e inclinación de 70° al NE.

El resto de las fallas importantes se menciona por cada margen y de aguas abajo hacia aguas arriba, como sigue:

Margen izquierda

En esta margen existe una falla normal que afecta toda la columna estratigráfica y está emplazada por un dique. Tiene una orientación casi N-S y una inclinación mayor de

75°. Se le ha interpretado como importante, pues tiene un salto vertical de más de 100 m y una bifurcación con un salto similar.

Además, se observan en esta margen otras dos fallas inversas, intrusionadas por diques. La primera tiene un rumbo de N25°W con una inclinación de 75° al NE y un salto estimado de 20 m. La otra tiene un rumbo de N50°W con 48° de inclinación hacia el NE y un salto de 30 metros.

Estas cuatro fallas limitan cuatro bloques perfectamente definidos en la margen izquierda y, excepto la falla del contacto corneana-granito, todas las demás están intrusionadas por diques básicos, los cuales al erosionarse constituye cañadas o bien dejan sus respaldos bien firmes.

Asociadas con estas estructuras se tiene alteraciones hidrotermales, un marcado fracturamiento de la roca, o bien zonas de cataclasita.

Margen derecha

Se tiene también otra falla normal, como una bifurcación del contacto falla corneana-granito, con un comportamiento sensiblemente vertical y un desplazamiento de varias decenas de metros.

Otra falla en esta margen es un inversa, de poco desplazamiento, que también está intrusionada por un dique y tiene un rumbo N37°W con inclinación de 77° al SE. Además, se observan otras fallas normales menores, con saltos poco significativos.

En la boquilla existe un fracturamiento que puede agruparse en tres sistemas principalmente; un sistema N-S, otro N25°W y otro N25°E. El primero representa el evento tectónico mas reciente del área y afecta a toda la secuencia estratigráfica; sin embargo, es más intenso en la corneana, que llega hasta una densidad de 10 fracturas/metro. Generalmente están rellenas por hematita o calcita. El segundo también afecta preferentemente a la corneana. Se considera importante porque son fracturas abiertas de 2 a 5 mm, sin relleno. En el granito se tiene una densidad menor. El último de los sistemas N25°E tiene muy poca importancia.

Anteriormente se había aceptado la presencia de una falla longitudinal al río en el área de la boquilla; sin una evidencia superficial directa se emplearon dos criterios básicamente: petrográfico (todos los núcleos obtenidos en los barrenos del río presentan textura cataclástica a partir de los 40 m de profundidad) y geomorfológico (este tramo rectilíneo del río Fuerte es contrastante con la trayectoria sinuosa de todo su curso y concordante en este alineamiento; se tienen también varios aparatos volcánicos basálticos en el área); sin embargo, con la limpieza del cauce para la cimentación de la cortina se comprobó que dicha estructura no existe.

2.9.3.3 RIESGOS GEOLÓGICOS

“Durante los diferentes estudios geológicos efectuados en la zona de la presa, se investigó en ambas márgenes la existencia de zonas inestables que incorporaran grandes volúmenes de roca o material no consolidado, que pudieran provocar un derrumbe de grandes proporciones y dañar la presa, sin encontrar ninguna evidencia de esta posibilidad; sin embargo, en los estudios geológicos complementarios del proyecto Huites se consideraron como zonas de riesgo a las zonas acantiladas del macizo rocoso que se encuentran en ambas márgenes arriba de la elevación 270 y las cuales rodean y limitan a las obras hidroeléctricas y de desvío (durante la construcción) en la margen derecha, y a la obra de excedencias en la margen izquierda. Estos cantiles semiverticales del macizo rocoso alcanzan las elevaciones 550 en la margen derecha, y 425 en la izquierda; estratigráficamente están formados por roca granítica en la base, roca corneana en la porción media y son coronados por la secuencia de rocas tobáceas” (Ref. 1 y 2).

“Debido a la relajación sufrida por la erosión, especialmente en las tobas, las fracturas preexistentes se encuentran abiertas y los sistemas predominantes de éstas limitan bloques de diferentes dimensiones con posibilidad de desprenderse y caer hacia las zonas de excavación durante la etapa de construcción, o hacia las estructuras definitivas en operación.

En ambas márgenes se realizó una zonificación de riesgos; se identificaron seis zonas (A, 1, 2, 3, 3' y 4) en las que se describe la condición de falla que podría esperarse y la obra que resultaría dañada” (Fig. 7):

“La zona A se encuentra inmediatamente aguas arriba de la falla corneana-granito y aquí la roca corneana está al nivel del río, la cual fue excavada por el canal de acceso de obra de desvío; esta roca está densamente fracturada y alterada y las fracturas limitan cuñas de roca potencialmente inestables, algunas de las cuales se deslizaron inmediatamente después de la excavación ya que le quitaron soporte a las torres o cantiles verticales de la roca tobácea que se apoya en la roca corneana.

Este cantil se encuentra en estado límite de equilibrio y se advirtió que de no reforzar adecuadamente su base, existía el riesgo de que ocurriera un nuevo deslizamiento de corneana y un colapso parcial del cantil tobáceo, que provocará la obstrucción del canal de desvío, cuando estuviera en operación” (Ref. 1).

También en la zona A se encontró una porción del domo granítico ubicado inmediatamente aguas abajo de la falla Huites, y en este domo hay algunas “costras” de exfoliación (sitio B3) que verifica las condiciones de la junta y su continuidad.

La zona 1 agrupó básicamente costras de exfoliación del domo granítico; es la más relevante denominada B-1, la cual es un bloque granítico de gran tamaño limitado en su respaldo por una junta aparentemente continua y en el pie por un dique básico fracturado. Este bloque se encuentra arriba de la casa de máquinas; en la etapa de construcción se recomendó removerse o soportarse para asegurar su estabilidad.

“La zona 2 representa riesgos de desprendimiento de bloques tobáceos (B4 y B5) del cantil de roca ubicado entre las elevaciones 400 y 550, y posible deslizamiento en cuña de bloques de roca corneana y volteo de lajas de granito, o inestabilidad de la nariz granítica con un mecanismo de deslizamiento planar. La topografía de esta zona hace que cualquier desprendimiento de bloques, se dirija hacia la zona de la casa de máquinas” (Ref. 1).

“La zona 3 representa un riesgo menor de afectación, ya que bloques tobáceos o bloques de corneana y/o granito que se desprendan de las partes superiores, caerían en la parte terminal del canal de desfogue y solamente que el volumen del desprendimiento sea grande ocasionaría remanso u obstrucción del agua turbinada con la consiguiente pérdida temporal de generación de energía” (Ref. 1).

En la zona 3' y su porción aguas abajo se encuentran totalmente en roca granítica y también muestran sitios donde delimitan bloques con posibilidades de desprenderse, provenientes de los cantiles, arriba de la elevación 350. El desprendimiento de bloques

afectaría a la zona de salida del canal de desfogue, y al portal de entrada del túnel de acceso a casa de máquinas.

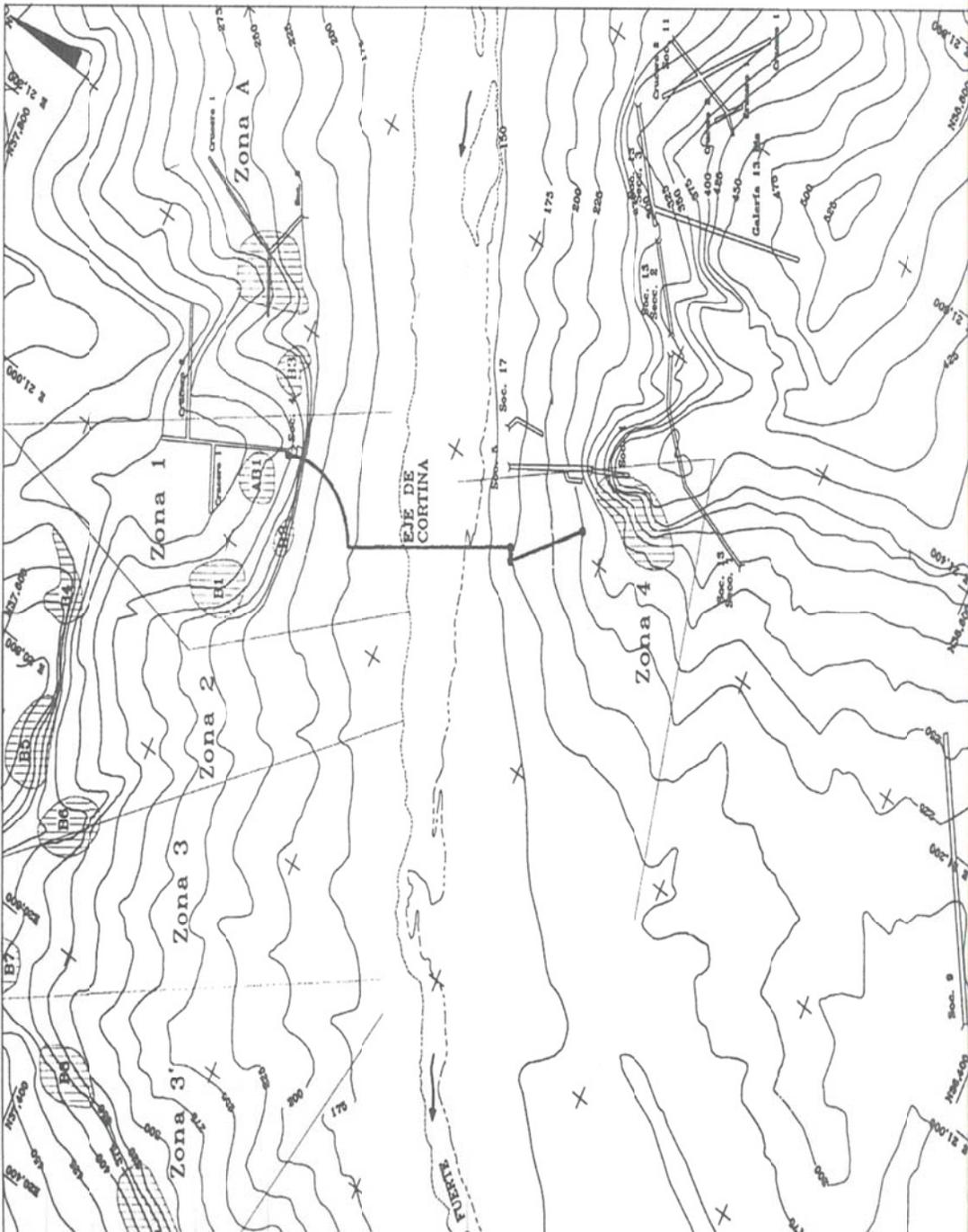


Figura 7.- Riesgos geológicos en la Presa Huites

En la zona 2 actualmente se descarga el agua proveniente de la cuenca superior de la margen derecha de la presa. Este caudal puede llegar a ser del orden de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que se recomendó durante la construcción canalizarlo para evitar erosión y saturación de la roca en estos sitios. Cualquier solución de canalización y descarga de este caudal hacia otros sitios debería tratar de evitar la erosión de roca de apoyo en zonas inestables y la infiltración de agua hacia taludes de roca u obras permanentes.

2.9.4 SELECCIÓN DEL EJE

En las etapas de estudio y en los diferentes arreglos de anteproyectos y proyectos, se elegía el eje de acuerdo a la ubicación y tipo de las diferentes estructuras, como se describió en el apartado 2.6, en el cual se cita un eje de referencia, el cual quedó aproximadamente 100 m aguas arriba del eje de inicio de la construcción y éste a su vez fue desplazado 90 m hacia aguas abajo con objeto de optimizar la posición de la obra de excedencias. En el eje de la cortina, donde se inició la construcción, 90 m aguas arriba de la posición definitiva, la cimentación de la presa en el estribo izquierdo hubiera sido en roca granito hasta la elevación 190, donde se cimentaría sobre la falla corneana-granito, la más importante del sitio y de ahí hacia arriba sería en la toba vitrocrystalina (Fig. 8).

Sobre este punto, era necesario que cuanto se tuviera la localización final de la cortina se estudiara el sitio exacto donde la cimentación cruzara la falla contacto; sin embargo, se esperaba que la corneana estuviera fracturada pero de regular a buena calidad, suficiente para cimentar la presa con inyecciones de consolidación y de

impermeabilización. Respecto a las tobas, parecieron adecuadas para la cimentación de la presa, si no estaban presentes zonas arcillosas y cizalladas.

Hasta fines de 1992, el diseño de la obra había previsto un vertedor en la margen izquierda para aproximadamente 15 000 m³/s de descarga, con una excavación en roca de alrededor de 4 000 000 m³, sin aprovecharse. Lo anterior obligó a estudiar otras opciones para obtener la solución óptima, entre las que destacaron la C-4A, en la que se ubicaba el vertedor sobre los primeros bloques de la presa en la margen izquierda y al mismo tiempo se propuso desplazar el eje hacia aguas abajo, con lo que se obtuvieron las siguientes ventajas desde el punto de vista geológico:

- Reducir la excavación de casi cuatro millones de metros cúbicos a poco menos de un millón y al mismo tiempo eliminar el canal de llamada.
- Las estructuras del vertedor (cimacio, rápida y cubeta) quedarían apoyadas en el granito, así como la cimentación de la cortina.
- El cruce de la falla corneana-granito afectaría únicamente las obras de importancia secundaria.
- La zona de erosión que provocaría la descarga quedaría bastante retirada de la presa y de las paredes altas de la roca del lado izquierdo.

Todo lo anterior de acuerdo con el informe no. 2 del panel de asesores internacionales de sept 1992.

Por lo anterior, el 15 de enero de 1993 la CNA ordenó correr el eje 90 m hacia aguas abajo de su posición original. El último ajuste ocurrió en el monolito 1, el cual fue girado 12° en sentido contrario a las manecillas del reloj, y se desplazó 15 m aguas arriba su empotramiento en la ladera izquierda. Este movimiento fue para mejorar la estabilidad

del monolito 1, disminuir la colocación de concreto en 35 000 m³ y empotrar en un terreno más alto y cercano. Esta determinación se tomó después de que la CNA realizó estudios detallados de estabilidad en esa zona (Ref. 1 y 2).

2.10 SISMICIDAD

2.10.1 SISMICIDAD HISTÓRICA

El sitio se ubica en la frontera entre la provincia de la Sierra Madre Occidental y la Provincia de Sierras y Valles Mexicanos: éstas se encuentran dentro de la zona penesísmica (sismicidad poco frecuente) y el período promedio de retorno de los sismos máximos se ha evaluado de 10 000 a 100 000 años (Guzmán, R. y Shell, B. A., 1993).

Estas zonas han tenido pobre cobertura sismológica a través del tiempo, lo que dio como resultado escasos registros de sismos y aquéllos que se han detectado presentan localización poco confiable. Los rasgos geológicos, tales como fallas jóvenes y vulcanismo, indican tectonismo activo lo que supone que los sismos que probablemente ocurran no son registrados. Por otro lado, no han ocurrido grandes sismos en los últimos 100 a 200 años en el área del proyecto, ya que hubieran sido informados. Si se considera la evidencia geológica de tectonismo reciente y la incertidumbre sismológica, es razonable inferir que han ocurrido sismos en la región que han sido de baja magnitud y poco frecuentes (Ref. 1).

2.10.2 RIESGO SÍSMICO

Debido a la escasez de información sismológica, el riesgo sísmico se evaluó con base en estudios de neotectónica en la zona, como lo es el análisis de fallas cuaternarias, plegamientos, cambios de relieve y vulcanismo, desde dos millones de años atrás a la fecha.

La zona se dividió en provincias sismotectónicas; la comparación con regiones de características neotectónicas similares es una herramienta útil para comparar esta región de escasa información con otras provincias sismotectónicas bien estudiadas.

Los métodos de zonificación sismotectónica combinan los datos geológicos con los escasos datos sismológicos para lograr caracterizar regiones similares en este aspecto. La validez de este método ha sido demostrada en regiones que no tenían sismicidad substancial, como fueron las zonas donde ocurrieron los sismos de Coalinga, Cal., 1983 con magnitud de 6.7 y el de Idaho, 1983 con magnitud de 3 (Richter).

Al utilizar el método descrito, se subdivide la región en zonas de fuentes sísmicas a varios niveles, que abarcan desde subdivisiones con zonas amplias (subducción) hasta

microzonas detalladas (fallas). Aquí se usó el de las zonas amplias, que determinaron dos provincias sismotectónicas: la Sierra Madre Occidental (SMO) y la de Sierras y Valles.

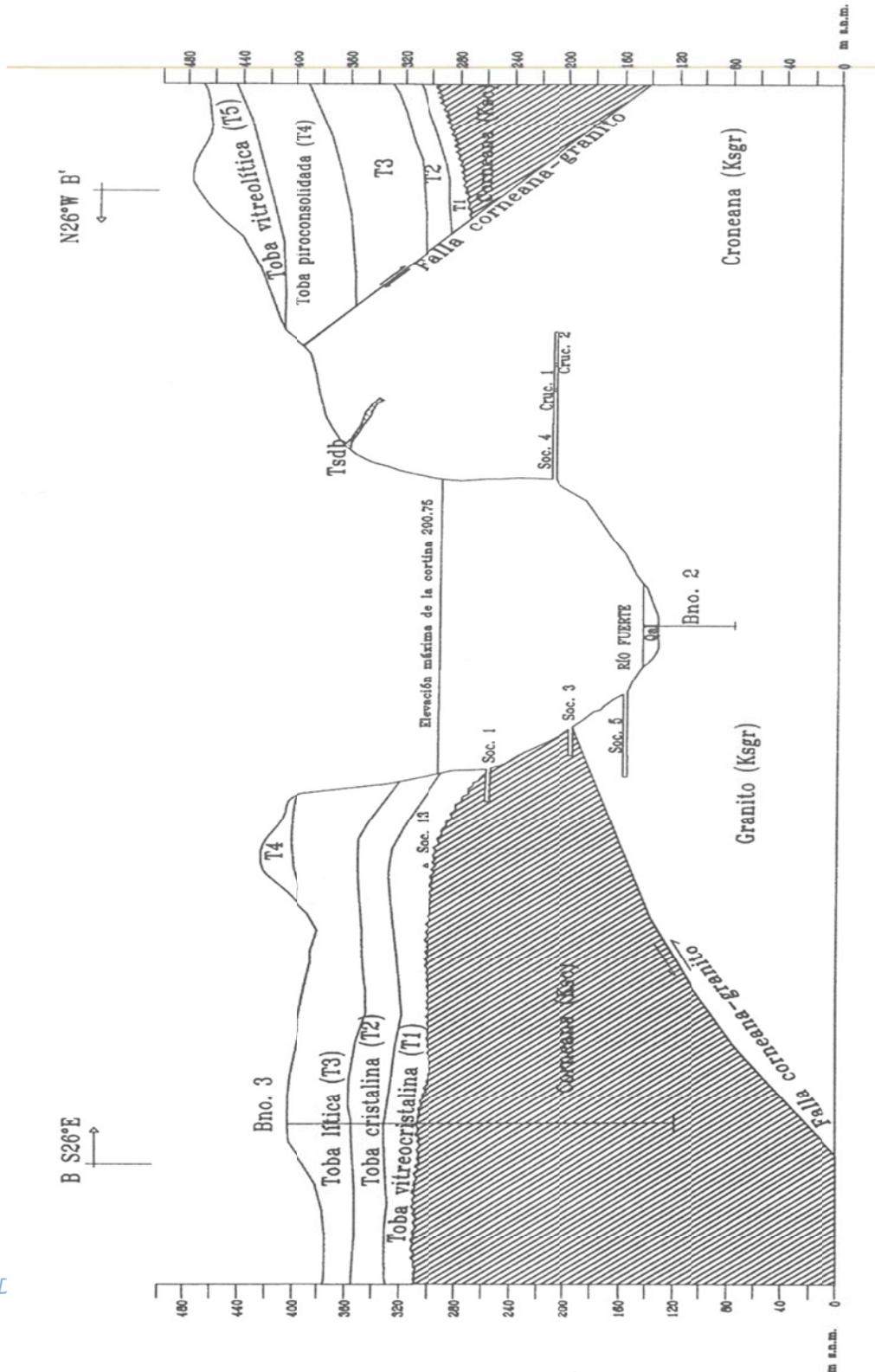


Figura 8.- Sección geológica en el eje de la cortina original

El área de interés se ubica en la parte occidental de la SMO; dicha provincia consiste de estratos de tobas (ignimbritas), de edad del Terciario Medio con poco relieve topográfico; hacia la zona de estudio dicho relieve se incrementa, no debido a mayor elevación sino a la erosión y al labrado de cañones profundos y de paredes cercanas a la vertical, por los escurrimientos de agua. La transición entre la SMO y la llanura costera (al oeste de la misma) no es gradual, sino que ocurre a través de una serie de sierras y valles profundos y paralelos con dirección NW-SE.

Por otro lado, King. (1939) subdividió a la región en cuatro provincias geomorfológicas mayores, que se clasificaron como: Sierra Madre Occidental, Valles y Sierras Paralelas, Desierto de Sonora, y Llanuras Costeras; el sitio se ubica para fines de esta división entre las dos primeras.

Las estructuras dominantes en la zona son fallas normales de dirección NW-SE formadas dentro de un régimen tectónico de compresión por la Revolución Laramídica, y que se considera no activa para los estudios de neotectónica regional; tales fallas forman horst y grabens rellenados por depósitos aluviales. Este patrón estructural es similar al de la Provincia Basin and Range del norte de Sonora y suroeste de E.U., por lo que se denominará a la zona como Provincia Mexicana de Sierras y Valles. Además, la franja de fallas normales NW-SE está asociada con flujos de basaltos cuaternarios y conos de ceniza. Dentro de la franja de fallas normales existe una zona que agrupa a varias fallas, las cuales son las de mayor extensión y cruzan al batolito granítico en la zona del embalse; a este sistema de fallas se le agrupa bajo el nombre de falla Nacimiento. Ésta desplaza a las rocas graníticas aproximadamente 1000 m y tiene 70 km de longitud (Guzmán, R. y Schell, B. 1993); otras fallas similares forman acantilados en las ignimbritas a lo largo de la orilla de este batolito y del río Choix. Las fallas cercanas a Choix delimitan un valle rellenado por la formación Baucarit .

De acuerdo con la actual sismicidad de la región se deduce que la fuente principal de la actividad sísmica es el proceso de apertura del golfo de California, fuente que puede

llegar a producir sismos de seis grados. Por otro lado, si se utiliza la relación entre longitud de fallamiento y magnitud de eventos que han ocurrido en todo el mundo, se puede suponer la probabilidad de generación de sismos máximos. El uso de esta relación pronostica que para fallas con distancia igual o menor de 15 km con respecto al sitio, se produciría un sismo en el intervalo de magnitudes de 6.5 a 6.75 grados; y para fallas con distancias de 30 a 50 km al NW del sitio, producirían sismos en el intervalo de magnitudes de 7.5 a 7.75 grados; esta última estimación de ocurrencia de eventos se considera como poco probable.

La presencia de fallas largas y continuas de edad cuaternaria en la región del sitio y la aparente conexión al norte con fallas activas en zonas tectónicas similares, sugiere que los sismos pueden ser de magnitud alta, pero escasos. La evaluación geológica del área del sismo Bavispe, Sonora (1887) revela que rupturas largas de la superficie durante temblores en la falla Pitaycachi ocurren cada 100 mil a 500 mil años.

Algunos esfuerzos residuales parecen permanecer en una banda estrecha alrededor de las márgenes de la SMO, donde fallamientos normales avanzan hacia el interior de ésta. Los bloques separados por fallas normales y valles aluviales son obvios en la zona.

Con base en los datos disponibles, el área de estudio se considera que está en un régimen de tipo Sierras y Valles con tectonismo extensional.

Estudios geológicos en el sur de Sinaloa (Henry, 1989) documentan estructuras de falla en bloque, típicos de la Provincia de Sierras y Valles, que se extienden hasta el estado de Nayarit. Las fallas en el sur de Sinaloa abarcan sedimentos del terciario Superior (Mioceno Medio al Plioceno); su actividad parece haber cesado antes de la erupción de basaltos en el área (cerca de dos cuaternarias no han sido identificadas en el sur de Sinaloa). La parte sur de esta provincia está tan cerca al golfo de California que todos sus probables desplazamientos son disipados en esta zona.

Con base en el número de fallas en la provincia del Desierto de Sonora y en la falta de actividad en ella, es de suponer que poca energía de deformación se disipa en la región (quizás menos de uno o dos milímetros por año). La Provincia de Sierras y Valles es la única en el área que parece haber tenido actividad tectónica reciente, así

que es posible que cuando menos algún porcentaje pequeño de energía se disipe con fallas extensionales.

En resumen, las características tectónicas de la Provincia de Sierras y Valles consisten de fallas normales largas y dirección NW-SE capaces de generar sismos intensos pero poco frecuentes. El elemento esencial de la provincia es la extensión de la corteza mediante fallas normales de ángulo cercano a la vertical. Estudios geológicos en el norte de Sonora, el sur de Arizona y en Nuevo México indican que los intervalos de recurrencia de sismos acompañados de rupturas en superficie de fallas en la provincia son generalmente del orden de 105 años (Euge et al., 1992).

Por otro lado, en un sitio local de la zona de interés se determinó que "el Valle de Choix" tiene en general una tendencia NW-SE entre dos montañas alargadas que sugieren un graben acotado por fallas. Se encontró que el relleno sedimentario ha sido en su mayoría eliminado por la erosión y se preserva únicamente sobre pocas colinas dispersas como un depósito aislado. Esto indica que, aun cuando pudo haber sido un graben entre fallas activas, durante el depósito de los sedimentos no ha experimentado ningún rejuvenecimiento tectónico en el Cuaternario. Si hay algún tectonismo debe ser sumamente lento y probablemente no ha sido activo desde que los sedimentos se depositaron.

La tendencia estructural con dirección NW-SE en el área del sitio parece ser un reflejo de la orientación de los diques en lugares de escarpe de falla. La formación de diques representa un episodio de extensión de la corteza que es compatible con la extensión regional NW-SE, relacionada con la formación de Sierras y Valles y con la apertura del golfo de California. La única conclusión bien fundamentada que puede sacarse de las observaciones hechas es que los alineamientos vistos en el área parecen ser más un resultado de diques resistentes a la erosión, que debidos a fallas recientes.

La curva de recurrencia sísmica de la bahía de Choix, está basada en suponer que la velocidad de los procesos tectónicos es similar a la del área en la que ocurrió el sismo de Bavispe, Sonora (1887).

La escasa actividad sísmica detectada en la bahía de Choix se justifica plenamente por:

- La inexistencia de indicios positivos de fallamientos en el cuaternario.
- La actividad tectónica en la bahía de Choix es más lenta que los procesos de erosión, mientras que en la margen occidental de la SMO ocurre lo contrario.
- El sitio está a 40 km de distancia, de lo que podría postularse como la margen occidental de la SMO, en el punto más profundo de la bahía de Choix; por esta razón, se considera que el nivel de la actividad sísmica en la vecindad de la presa está más relacionada con el nivel dentro del bloque de la SMO que con su más activa margen occidental (Ref. 1).

2.10.3 COEFICIENTE SÍSMICO DE DISEÑO

“La magnitud máxima de sismos inducidos depende de las condiciones de los esfuerzos preexistentes en la porción de la corteza afectada; si no hay fallas cercanas a la condición de producir sismos destructivos, el llenado del embalse no los va a inducir.

Cuéllar (1992), indica que el sitio presenta varias de las características que con mayor frecuencia se han asociado con la ocurrencia de Sismicidad Inducida por el Llenado de Embalses (SIE), y que pueden ocurrir sismos de magnitud igual o mayor a seis inducidos por el llenado, con potencial de causar daños a las estructuras del proyecto; sin embargo, si se consideran las características de las estructuras geológicas aquí descritas y la ocurrencia de sismos en la región, se estima que la probabilidad de que haya SIE es muy baja, el llenado puede producir microsismicidad menor de tres grados Richter, la cual no es significativa para el diseño de las estructuras del proyecto.

Las excitaciones sísmicas no son movimientos de igual amplitud y fase a todo lo largo del contacto presa-roca, por lo que las fuerzas sísmicas para diseño contra deslizamiento y esfuerzo en las estructuras de gravedad deben ser determinadas con métodos de análisis capaces de aproximar la naturaleza de la excitación sísmica.

El sismo máximo creíble que se recomienda para el diseño de la obra es de magnitud entre 6.5 y 6.75 grados a los 10 km de la zona de fallas.

No se recomienda considerar el sismo de diseño de operación debido a la baja sismicidad de la región.

El nivel del movimiento vibratorio del terreno asociado con el sismo máximo creíble propuesto está representado por sismogramas de las presas Pacoima (1971) y Koyna (1967).

Se estima conservadoramente que la sismicidad de las fallas en la cercanía de la presa Huites es de menor magnitud que la de la margen occidental de la SMO, en la cual se originó el sismo de Bavispeen 1887. Se concluye que la sismicidad en la parte profunda de la Bahía de Choix es aproximadamente de un orden de magnitud menor que en la margen occidental de la SMO hacia NW. Esto implica un sismo de diseño de magnitud cinco aproximadamente, con un período promedio de retorno de diez mil años y justifica el Coeficiente de Diseño Sísmico de 0.21; sin embargo, cabe mencionar que otras presas mexicanas, como es el caso de Chicoasén y la Angostura, fueron construidas con un valor de diseño sísmico de 0.15. Esto indica que un valor semejante resultó adecuado para Huites, si se toma en cuenta que aquéllas se encuentran en zonas donde la actividad sísmica se presenta con mayor frecuencia y magnitud" (Ref. 1).

2.11 CASA DE MÁQUINAS

2.11.1 TUBERÍAS A PRESIÓN

Están constituidas por dos conductos exteriores empacados en concreto, con separación entre ejes de 22 m, y longitudes de 154 y 163 m para las unidades 1 y 2, respectivamente. Ambas tienen 7.8 m de diámetro interior, espesor variable entre 1 3/8" y 7/8", y fueron proyectadas para un gasto unitario de 235 m³/s

Para el diseño estructural se utilizó acero ASTM A-131, A36, y se diseñaron autosoportables para las sobrepresiones provocadas por el golpe de ariete.

Geométricamente cada tubería se inicia después de la transición de concreto con un pequeño tramo horizontal a la elevación 190; después continúa con curvas combinadas

(horizontal en planta y vertical en perfil) para bajar en rampa con talud 0.75:1 a la elevación 147 y entrar horizontalmente a la casa de máquinas.

2.11.2 CASA DE MÁQUINAS

La casa de máquinas es del tipo exterior con playa de montaje en caverna; sus dimensiones exteriores son 32 m de ancho, 53 m de longitud y 42 m de altura. Se proyectó para alojar dos grupos turbogeneradores de eje vertical, equipados con turbinas Francis de 211 MW de potencia nominal cada uno, y separados entre sí 22 m (ver Anexo planos 1, 2 y 3).

El eje del distribuidor se encuentra a la elevación 147, para aprovechar los siguientes rangos operativos mediante un factor planta de 0.25:

	Carga (m)	Potencia (MW)	Gasto (m ³ /s)
Máxima	115.96	238.0	220.6
Distribuidor	97.00	211.0	235.0
Mínima	63.03	95.5	192.8

Para el montaje y mantenimiento de las unidades se instalaron dos grúas viajeras de 350 t cada una y una auxiliar de 30 t.

El equipamiento electromecánico se encuentra distribuido en diversos niveles; los principales son los siguientes:

Ubicación	Elevación (m.s.n.m.)
Piso de excitadores	157.90
Piso de generadores	152.90
Piso de turbinas	148.50
Desplante	129.50

Al considerar la trascendencia operativa de las compuertas del vertedor, además de las fuentes principales de alimentación antes mencionadas, se dispone de una unidad diesel de emergencia que cubre también servicios de alumbrado en la corona de la cortina, así como galerías y elevador en la misma.

2.11.3 DESFOGUE

El desfogue está constituido por un canal trapecial de 40 m de ancho, con taludes de 0.25:1 y longitud de 118 m hasta la zona de control hidráulico, donde se definen los niveles que protegen la sumergencia de las unidades y se garantiza el rango operativo de cargas:

- Con dos unidades en operación ($470 \text{ m}^3/\text{s}$), elevación 154.19
- Con una mitad en operación ($235 \text{ m}^3/\text{s}$), elevación 153.26

Para efectuar el control del flujo turbinado en caso necesario o realizar trabajos de mantenimiento a las unidades, se han dispuesto cuatro compuertas deslizantes (dos por cada turbina) de 6.6 X 6.25 m, manejadas mediante una grúa de pórtico a la salida de la casa de máquinas.

Cabe mencionar que de presentarse la descarga máxima del vertedor equivalente a un gasto de $22\ 500 \text{ m}^3/\text{s}$, el nivel del agua en esta zona sería la cota 168.70, por lo que queda protegida la estructura que cierra a la elevación 172.25.

2.11.4 SUBESTACIÓN ELEVADORA DE 230 kV

El grupo de seis transformadores monofásicos principales de 61.6 MVA de potencia nominal y relación de transformación de 16/230 kV se encuentra anexo hacia aguas arriba de la casa de máquinas; éstos se conectan con la subestación elevadora de 230 kV, que está alojada en un edificio de 33 x 10 m en una plataforma a la elevación 158.50; cada transformador es del tipo encapsulado en hexafluoruro de azufre (SF₆) con arreglo de interruptor y medio. En la azotea de esta subestación se localiza la subestación de 34.5/13.8 kV, que es del tipo convencional y cuyo objetivo principal es cubrir los servicios auxiliares de la central.

Anexo a la subestación de 230 kV se localiza el edificio de control y servicios auxiliares en tres niveles; en el primero a la elevación 158.5 se encuentra la sala de baterías y cargadores a la elevación 161.5 los tableros de protección, y en la elevación 165 la sala de control donde se ubican todos los mandos principales de la central.

2.11.5 PROTECCIÓN DE LAS INSTALACIONES

La ubicación de la casa de máquinas, transformadores, subestación y arranque de la línea de transmisión, se localiza al pie de un cantil del macizo de granito en el cual se llevaron a cabo intensas campañas de aseguramiento protector contra la posibilidad de desprendimiento de rocas inestables, mediante excavaciones locales, anclaje de fricción, concreto lanzado, y otros.

Sin embargo, a la fecha se continúa con cuidados extremos en esta zona, pues el desprendimiento de una fracción de roca que cayera en alguna parte de la central, por pequeña que fuese, podría causar enormes pérdidas en el servicio que esta importante central presta al Sistema Nacional. Se proyectó la construcción de techos, redes, y otros, para protección de la hidroeléctrica.

2.11.6 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN DE 230 kV

La electricidad generada por la Central Hidroeléctrica se integra al Sistema Eléctrico Nacional a través de una línea de transmisión con torres para doble circuito de 230 kV, que va de la subestación Huites a la subestación Pueblo Nuevo, y cuya longitud es de 105 km. La capacidad de cada circuito permite transmitir la energía generada; de esta manera se brinda seguridad, confiabilidad y flexibilidad a la transmisión de la misma (Ref.1 y 11).

3. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

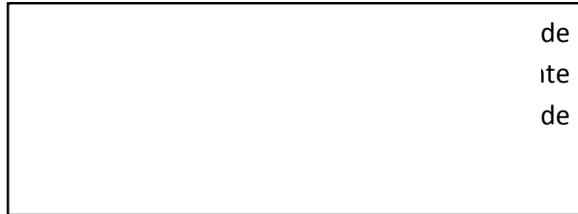
Prácticamente desde el inicio del funcionamiento de la Central Hidroeléctrica se han tenido caídos de fragmentos de roca provenientes de la margen derecha, principalmente del domo granítico que han impactado diferentes zonas del área de casa de máquinas. A la fecha no se han tenido reportes de accidentes entre el personal que labora en la central.

Se describen a continuación de manera resumida los principales caídos de roca que se han presentado desde la etapa de construcción en la central y específicamente en el área de casa de máquinas. Estas son recopilaciones, entre otras, de los informes del personal de la central generadora. Asimismo, se describe el proceso de identificación de bloques de roca de gran tamaño en la parte alta del cantil de margen derecha.

3.1 CAÍDOS DE ROCA

3.1.1 CAÍDO SOBRE TAJO DE DESVÍO; ABRIL DE 1993

“La zona de caído se encuentra inmediatamente aguas arriba de la falla corneana-granito y aquí la roca corneana está al nivel del río, la cual fue excavada por el canal de acceso de obra de desvío; esta roca está densamente fracturada y alterada y las fracturas limitan cuñas de roca potencialmente inestables, algunas de las cuales se deslizaron inmediatamente después de la excavación ya que le quitaron soporte a las torres o cantiles verticales de la roca tobácea que se apoya en la roca corneana” (Ref. 1).



3.1.2 CAÍDO SOBRE LA SUBESTACIÓN; 3 DE SEPTIEMBRE DE 1998

“El 3 de septiembre de 1998 a las 3:00 de la mañana durante fuertes lluvias ocasionadas por la tormenta “Isis”, ocurrió un caído de bloques de roca del domo granítico de una cuña de roca con dimensiones aproximadas de 3 m de ancho por 1.20 m de profundidad y unos 6 m de longitud (9m³). Este bloque estaba totalmente cubierto con una malla galvanizada cuadrada de 2 “ sujeta a la roca con una cuadrícula de anclas cortas de 5/8” de diámetro por 50 cm de longitud con repartición de 2x2 m, al caer el bloque de roca se fragmentó en pequeños bloques, los cuales dañaron cables, aisladores, torres metálicas de la subestación, mas una perforación de la pared de block de la subestación SF-6 con un área de 1 m por 50 cm”(Ref. 5).

3.1.3 CAÍDO SOBRE LA TUBERÍA DE PRESIÓN; 14 DE ENERO DE 2005

“El día viernes 14 de enero la central de generación se encontraba operando normalmente. La unidad no. 2 se encontraba en servicio con una carga de 145 MW. Repentinamente, poco antes del mediodía, se escuchó un ruido fuerte proveniente del área de las tuberías de presión de las unidades; a este sonido le siguieron otros pero a diferencia del primero estos eran golpes secos y de magnitud variable”.

“El personal de operación, el cual se encuentra relativamente cerca del sitio, rápidamente se acerca a las ventanas pero solo alcanzó a observar una nube de polvo dispersándose”.

“El ingeniero jefe de operación procede a investigar lo ocurrido encontrando que la causa de los ruidos escuchados era la falla y deslizamiento de una porción grande de la capa superficial del cerro que se encuentra adyacente al atraque de la cortina de arco, lado aguas abajo de la misma, informando de inmediato de lo ocurrido al superintendente de la central”.

“El superintendente de la central al enterarse de lo ocurrido dio instrucciones al ingeniero civil de la misma para que vaya al sitio donde ocurrió el “caído” del cerro, revise si hubo daños en los equipos o estructuras y elabore un informe de los hechos”.

Inspección del sitio

“La parte que se desprendió del cerro presenta una forma mas o menos triangular de aprox. 35 metros de base por 17 metros de altura con un espesor estimado promedio de 1.8 metros, ubicándose entre las cotas 203 y 220 m.s.n.m” (Ref. 6).

“El material desprendido primeramente golpea y queda depositado, una parte, sobre el revestimiento de concreto de la tubería de presión no. 2, cayendo el resto del material en el piso que se encuentra en un nivel inferior entre las dos tuberías de presión. El volumen del material que se desprendió del cerro se calcula aproximadamente en 535 m³”.

“El revestimiento de concreto de la tubería golpeada no presenta agrietamientos ni daños superficiales apreciables a simple vista, tampoco se aprecian daños en el marco de remate de las líneas de transmisión que se encuentra muy cerca; y en general no hubo daños a ningún equipo o estructura de la central, solo existe el inconveniente de tener esa gran cantidad de material depositado en el área de las tuberías de presión”.

“Nuestra consideración es que ese material debe ser retirado por la CNA en su totalidad ya que no permitiría, si permanece ahí, las inspecciones visuales del área cubierta por el mismo, además de que modifica la buena imagen de las instalaciones, porque transforma a ese sitio, ante los ojos del personal de CFE y de las visitas externas, en un lugar inseguro, de derrumbes constantes y en apariencia de que no se le ha prestado atención por parte de CFE”(Ref. 6).

“Además es de señalar que esa zona del cerro cercana al paramento seco de la cortina de arco no ha sido tratada en su totalidad por parte de la CNA, pendiente que se le ha recordado reiteradamente dentro del listado de pendientes de la obra, por lo que es oportuno y necesario volver a solicitarles la atención a los mismos con base en lo ocurrido recientemente” (Ref. 6).

Cabe señalar que el nivel del embalse durante esta temporada era elevado, de hecho, se alcanzó el nivel histórico del mismo (278.47 m, 13/feb/05), se optó por construir un muro alcancía con dos fines: aprovechar el material acumulado en el sitio como amortiguador de futuros caídos y evitar al mismo tiempo una maniobra que resultaría complicada y costosa al tratar de retirar el material del sitio, prácticamente inaccesible a equipos de construcción. Estos trabajos estuvieron a cargo de la CNA.



e la
ra la
nde



bre
ería
de



3.1.4 CAÍDO SOBRE CAMINOS DE ACCESO; 8 DE SEPTIEMBRE DE 2008

“Derivado de las precipitaciones pluviales de los últimos días (8 y 9 de septiembre de 2008) se han incrementado los caídos de rocas y material pétreo granular, sobre los caminos interiores de la obra de Huites, en especial en los accesos a la corona por ambas márgenes, dificultando el acceso a la corona de la cortina precisamente ahora que ha sido necesario operar el vertedor de la misma. También se ha hecho evidente el gran riesgo que existe de que una roca proveniente de la ladera derecha impacte el edificio de casa de máquinas o la subestación interrumpiendo posiblemente la generación de energía eléctrica” (Ref. 7).





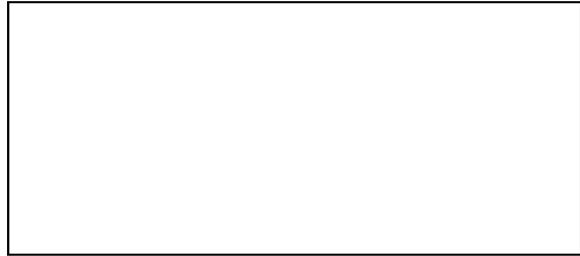
roca
de
rogen

3.1.5 CAÍDO SOBRE ÁREA DE SUBESTACIÓN; 18 DE SEPTIEMBRE DE 2009

“Debido a las precipitaciones pluviales de los últimos días (17 y 18 de septiembre de 2009) y al constante drenado de las mismas a través del cerro durante la temporada de lluvias, y también por la inestabilidad que presentan algunas zonas del cerro contiguo a casa de máquinas, se ha producido un desprendimiento de un bloque de roca de aproximadamente 2.5 m^3 , el cual cayó sobre la techumbre del transformador de potencia que está en reserva. Este hecho ha producido daños a las instalaciones aunque afortunadamente no se dañó ningún equipo relacionado directamente con la generación” (Ref. 8).

“Debido a los acontecimientos del pasado 18 de septiembre es claro que la zona contigua a casa de máquinas, en especial la vertiente sur del domo, requiere un tratamiento urgente de anclaje y protección con concreto lanzado”.

“Esta zona no fue tratada en las campañas que la CNA realizó durante la construcción y posteriores debido a que los especialistas en geología la consideraron suficientemente estable, pero con lo ocurrido ha quedado demostrado que no es así. Con base en lo sucedido se solicita apoyo para la obtención de recursos con los cuales se puedan realizar los trabajos que garanticen la estabilidad de esa zona. Se estima que el monto aproximado sería de 2.5 millones de pesos aproximadamente” (Ref. 8).



3.1.6 CAÍDO SOBRE ÁREA DE SUBESTACIÓN; 23 DE JULIO DE 2010

“A consecuencia de la temporada de lluvias se registró un caído de fragmentos de roca tipo graneo provenientes del cerro junto a casa de máquinas el 23 de julio de 2010. El incidente se reportó por parte del personal de operación que se ubicaba en la subestación encapsulada. Se escucha ruido como de lluvia seguido de fuerte estruendo” (Ref. 9).

“Los caídos son parecidos con los que ocurren en esta época del año, año tras año. Esta situación es de riesgo para el personal y el equipo de la central y no se atiende completamente desde la época de construcción”.

“Al revisar el área se encuentran fragmentos de roca dispersos por toda el área del transformador auxiliar, no se reporta personal o equipo esencial dañados. Los fragmentos impactaron por toda el área pudiéndose observar que las rocas que cayeron fueron de 20 cm de diámetro” (Ref.9).



3.1.7 CAÍDO SOBRE CASA DE MÁQUINAS; 24 DE JUNIO DE 2012

“En la madrugada del día 24 de junio del presente año, después de una lluvia moderada en el sitio donde se ubica la central Luis Donaldo Colosio Murrieta, se produjo desde un lugar no determinado de la ladera derecha del cerro, un “caído” de rocas de pequeño tamaño, sobre la azotea de casa de maquinas”.

“No hubo daños al personal ni daños graves a la instalación, solo resultó afectada la impermeabilización (membrana prefabricada) en algunos puntos, requiriéndose una pronta reparación porque ya inició el periodo de lluvias de verano” (Ref. 10).



oca
ina
en

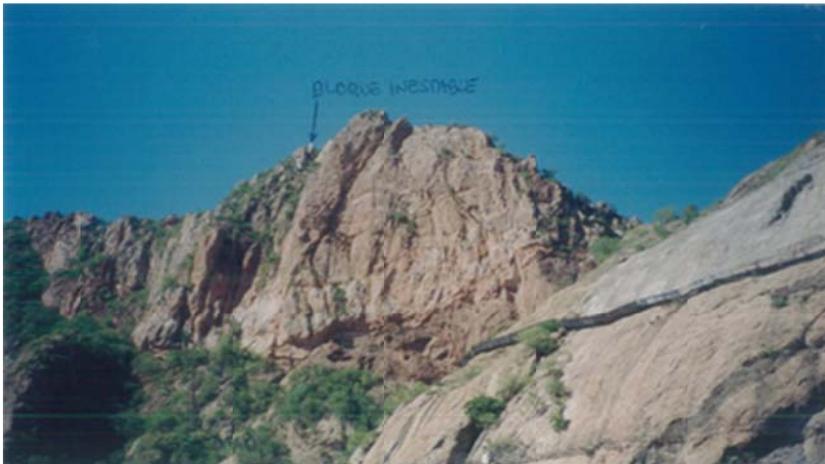
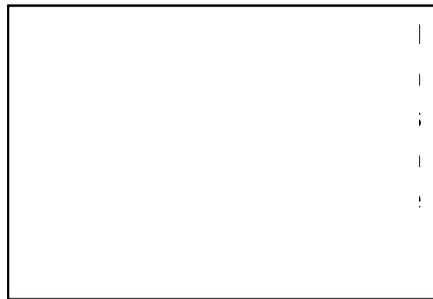


se
e sí
rana

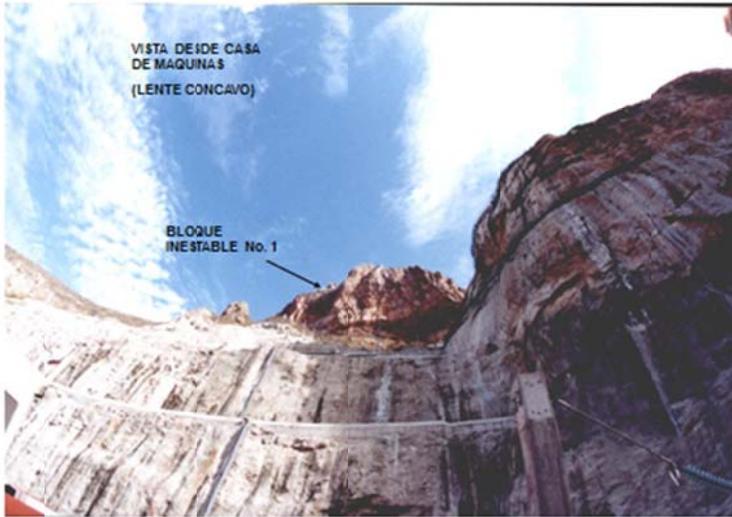
3.2 IDENTIFICACIÓN DE GRANDES BLOQUES DE ROCA EN MARGEN DERECHA

Después del caído del 3/sept/1998 (3.1.2), personal de CFE realizó una inspección detallada de la margen derecha. Para lograr tal fin se realizaron varias excursiones y se recopiló la información existente. Como resultado de estas actividades, se pudo determinar, entre otros riesgos, los siguientes:

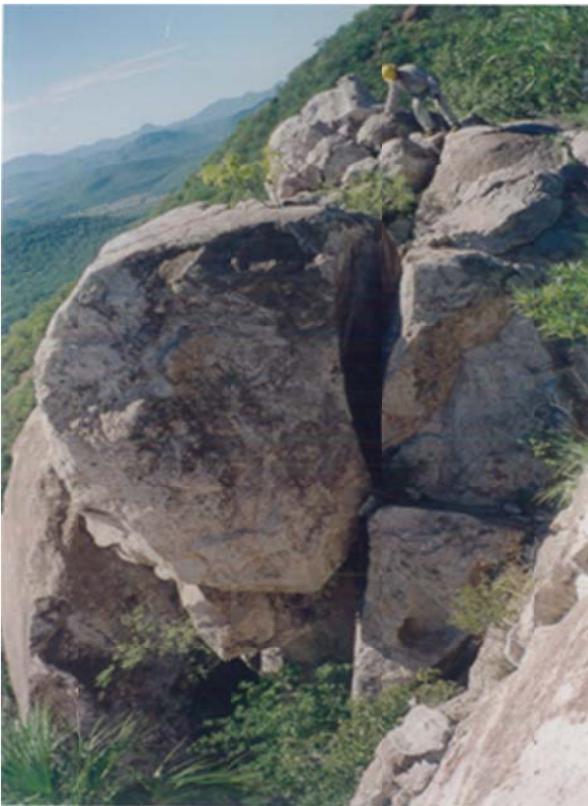
Existen bloques de roca de gran tamaño en la parte más alta del cantil ignimbrítico-tobáceo en condiciones precarias de equilibrio. Estos bloques ya habían sido identificados como riesgos geológicos como se indica en el apartado 2.9.3.3, desde enero de 1993. Principalmente se identificó un mega bloque denominado bloque 1 cuyo peso se estima en 175 t, rodeado por otros de diverso tamaño en la cota 545 +/- 10 msnm.



able no. 1
a cortina;
el domo



io. 1 desde
quinas; se
tidas hasta



1 en la
mbrítico-
rsión del
or de la

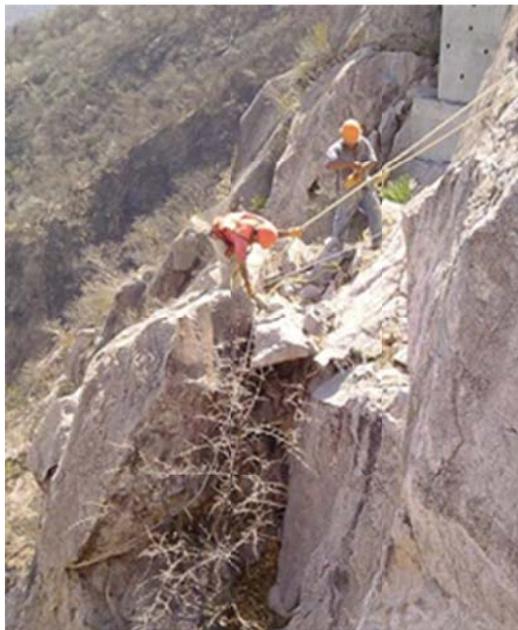
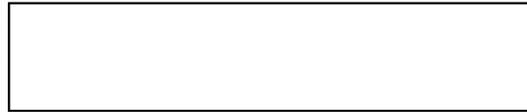


ividad y
también
casa de



s entre
el bloque
vegetación

Asimismo, se identificó otro gran bloque denominado bloque 2, hacia aguas arriba del bloque 1 sobre la corona del cantil. Este bloque tiene un peso del orden de 900 t y en realidad corresponde a un grupo de bloques trabados en condiciones precarias de equilibrio.



del
nte
ser

Dada la ubicación de la casa de máquinas parcialmente expuesta (apartado 2.11), la topografía de la ladera (apartado 2.8) , las bermas construidas en la ladera hasta la cota 245 y la ubicación de los bloques identificados, se determinó que en caso de desprenderse alguno de estos bloques impactarían sobre el área de casa de máquinas con consecuencias desastrosas.

Incluso se realizó una maqueta a escala reproduciendo la topografía de la ladera con la ubicación de casa de máquinas con el objeto de observar como diferentes partículas se desplazaban al ocurrir un caído. Esta maqueta fue mostrada al Ing. Fernando Hiriart Balderrama en el año 1999 y 2000, asesor de la Dirección General de CFE en aquel entonces. Su intervención favoreció entonces la estabilización de los bloques en cuestión.

4. SOLUCIONES ADOPTADAS

Al tener identificados los bloques de mayor riesgo se decidió tratar de manera inmediata el área del denominado "bloque 1" considerado como el más crítico (apartado 3.2). En ese momento aún se encontraba en proceso la entrega-recepción de las obras de CNA a CFE, por lo que CFE solicitó a la CNA que aportara los recursos económicos mientras CFE se encargaba de la ejecución de los trabajos de estabilización.

Debido a la carencia de recursos económicos de CNA y lo complejo de las negociaciones entre CFE y CNA para la asignación de recursos, la ejecución de los trabajos del bloque 1 se llevó a cabo hasta el año 2001(Ref. 12).

La solución de la estabilización tuvo como criterio fundamental de diseño "Evitar bajo cualquier circunstancia la caída de alguno de los bloques durante la ejecución de los trabajos de estabilización o posterior a éstos".

Como se mostró en el apartado 3.1, se tienen documentados siete caídos de consideración de 1993 a 2012, que han puesto en evidencia lo crítico de la situación en el área de casa de máquinas. De esta manera los trabajos de estabilización del bloque 1 se realizaron en 2001 a cargo económico de CNA y los correspondientes al bloque 2 en el año 2010 por cuenta de CFE.

Para el año 2013 se tiene programado continuar con la campaña de estabilización en toda la ladera dependiendo de los recursos económicos que se asignen. Queda claro que la atención y mantenimiento permanente de toda la margen derecha serán parte de los trabajos del personal de generación mientras la central siga operando.

Cabe destacar que el valor de los principales activos, componentes de un turbogrupo es del orden de 2341 millones de pesos y parte de los transformadores de 271 millones de pesos de acuerdo con lo mostrado en la tabla 5 (Ref. 13). La inversión del equipo en riesgo es cuantiosa, independientemente del riesgo para el personal que labora en dicha central. En caso de un siniestro mayor, también debe considerarse la pérdida por

falta de oportunidad en la generación, aparte de la pérdida propia del equipo e infraestructura civil.

Tabla 5.- Valor de Activos Fijos de Turbogrupos y Transformadores

Concepto	(Turbogrupos)	Valor Neto (pesos)
Chumacera de carga		178,902,395
Chumacera guía		178,902,395
Estator		278,962,915
Flecha		229,734,165
Grúa Casa de Máquinas		120,691,256
Rodete		459,468,331
Rotor generador		262,553,732
Sistema de operación condensador síncrono		65,638,333
Sistema regulador de velocidad		98,457,499
Tableros Protección y Medición		99,651,978
Tapa turbina		114,867,082
Carcasa		104,359,730
Antidistribuidor		149,085,329
Total		2,341,275,140
Concepto	(Transformadores)	Valor Neto (pesos)
Transformador neutro		137,869,704
Transformadores servicios		133,053,566
Total		270,923,270

Enseguida se describen los trabajos específicos realizados tanto para el bloque 1 como para el bloque 2. Estos trabajos estuvieron a cargo de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de Comisión Federal de Electricidad y los mismos se reportan en los informes que se mencionan como referencias.

4.1 ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE 1

4.1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y TRABAJOS PRELIMINARES

“Para reducir los posibles riesgos de daños a la Central Hidroeléctrica, se han removido algunos fragmentos de roca inestable y se han estabilizado algunos lentes de suelo

residual superficial que fueron identificados en campañas pasadas de inspección de campo" (Ref. 14).

"Se tiene identificado un bloque susceptible de colapsar que se ubica en la elevación 545 ± 10 m.s.n.m. denominado bloque 1. En caso de ocurrir el desprendimiento de éste, se prevén daños severos a las instalaciones y se expone al personal que opera la Central Hidroeléctrica. Previamente se recomendó y propuso fijar el bloque de manera provisional por medio de redes flexibles y la estabilización definitiva consistía en colocar concreto hidráulico armado en la base del bloque, por medio de una trabe de concreto hidráulico con acero de refuerzo; esta trabe estaría apoyada en muros de concreto hidráulico desplantados en zonas firmes y estables del terreno. Finalmente, en cada uno de sus extremos de la trabe serían anclados al terreno.

Debido a la elasticidad (elongación) por la longitud de los tirantes o cabos que integrarán las redes flexibles que absorberán la masa volumétrica del bloque al moverse, se estima que la deformación de los tirantes o cabos rebasará la magnitud del movimiento esperado del bloque, a este respecto se ha solicitado llevar a cabo ensayos de carga-deformación del cable de polipropileno de 2,54 cm (1") que será usado para estabilizar temporalmente el bloque.

El primer resultado de carga-deformación que se aplicó a un tramo de 80 cm de longitud de cable de polipropileno de 2,54 cm (1") de diámetro se tuvo una deformación elástica con respecto a la longitud original del orden del 50% aplicando una carga de 2,2 t y del 100% de elasticidad hasta aplicar una carga máxima de 3,6 t hasta la ruptura. Se aplicaron cargas ascendentes de 200 kg. Cabe señalar que la falla o ruptura del cable por tensión fue inferior en un 35%, con respecto a la carga especificada por el fabricante (5.5 t)" (Ref. 14).

"Por los resultados esperados, se planteó otra u otras opciones de tratamiento que permitirá estabilizar el bloque inestable, la que se considera viable es la propuesta del Ing. Raúl Cuellar B., y se detalla a continuación" (Ref. 14):

"Apoyar el bloque en una columna de concreto lanzado, ésta se debe desplantar en terreno firme, sus dimensiones deberán tener por lo menos 2.5 m de largo por ancho. Además se considera necesario estabilizar con anclas la columna de concreto lanzado, el bloque inestable, otros bloques vecinos y empacar y rellenar con concreto lanzado

los fragmentos menores de rocas que sirven de apoyo al bloque inestable y grietas abiertas.

Además de lo anterior se están considerando varias acciones y medidas preventivas que permitan atenuar las vibraciones alrededor del bloque para reducir el riesgo de una posible falla.

La estabilización de los bloques, representan gran riesgo y alto grado de dificultad, las recomendaciones a aplicar, se describen en los siguientes incisos" (Ref. 14).

4.1.2 OBJETIVO

"Asegurar la inamovilidad permanente del bloque con tratamientos y/o soportes que permitan garantizar la integridad del personal de operación y de las instalaciones de la Central Hidroeléctrica, los trabajos previos y definitivos consisten en lo siguiente" (Ref. 14):

Cuantificación geotécnica del bloque.

Proporcionar opciones y recomendaciones de estabilización del bloque.

Llevar a cabo los trabajos de estabilización bajo un proceso estandarizado, de manera que se reduzcan los riesgos de falla durante los trabajos.

4.1.3 ALCANCE DE LOS TRABAJOS

"Se propone y recomienda asegurar el bloque inestable por medio de una columna moldeada con concreto lanzado de 2.5 m mínimo de largo por ancho, de altura necesaria que se requiera para apoyar la base inferior del bloque inestable. Se debe asegurar que la cimentación o desplante de la columna, quede apoyada en terreno firme.

Cualquier actividad que ocasione disturbios al terreno, como es el caso de la perforación, deberá definirse con medidores de vibraciones en el campo.

A pesar de los cuidados y precauciones que se tengan, no se descarta la posibilidad de que pueda desprenderse el bloque inestable. Sin embargo, es menester atender y fijar el bloque a la brevedad posible, pues su estabilización resulta prioritaria.

Para la estabilización definitiva de la columna de concreto, del bloque inestable, de otros bloques susceptibles de moverse y de varios fragmentos sueltos en el entorno, se prevé integrarlos y fijarlos con anclaje de fricción de 6 o de 9 m de longitud, colocando y soldando placas metálicas en el extremo exterior del ancla contra la roca.

Debido a que los arbustos impiden definir una geometría más precisa de los bloques, el tratamiento de estabilización deberá ajustarse a las condiciones reales del sitio" (Ref. 14).

4.1.4 CONDICIONES Y GEOMETRÍA DEL BLOQUE INESTABLE

"A partir de la inspección de campo, se puede describir que la geometría del bloque es de forma irregular (ligeramente rectangular), la parte baja del bloque está trabado y acuñado con bloques sueltos de menores dimensiones.

Para fines de cuantificación se consideraron las siguientes dimensiones, 4.50 m de ancho, de 7.00 m de alto y 2.25 m de espesor, con lo que se estima un volumen aproximado de 70 m³. Para una roca de formación ignimbrítica masiva se consideró una masa volumétrica de 2.5 t/ m³. Con lo anterior, la masa del bloque resulta del orden de 175 toneladas. Debido a que otros fragmentos sueltos de roca gravitan en el bloque inestable, se adicionó un factor de seguridad de 1,25 resultando una masa volumétrica con un peso de 220 toneladas (Ref. 14). Por las mínimas condiciones de sustentación que tiene en su base el bloque, ese podría deslizarse o bascular hacia aguas arriba" (Ref. 14).

4.1.5 FIJACIÓN DEL BLOQUE INESTABLE

La fijación se debe llevar a cabo como se indica a continuación:

Actividades previas

“Esta etapa se considera de mayor peligro o riesgo, por lo que debe realizarse con sumo cuidado, las actividades de estabilización estarán coordinadas en todo momento

con el personal de construcción y de seguridad de la Central Hidroeléctrica y manteniendo una comunicación constante por medio de radio portátiles.

Antes de iniciar con los trabajos de estabilización se debe contar en el sitio con el equipo necesario, materiales, implementos de seguridad de alta montaña y de recursos humanos.

En paralelo a lo anterior se debe evaluar la frecuencia natural de vibraciones que transmite el terreno” (Ref.14 y 16).

Se debe desmontar el terreno, en un radio mínimo de 30 m alrededor del bloque inestable, de lo anterior, se seleccionará el sitio de desplante de concreto lanzado.

Columna de concreto lanzado

“Los trabajos de colocación de concreto lanzado iniciará por la parte baja de la ladera (debajo del bloque) desde el sitio de desplante previamente seleccionado, se moldeará una columna concreto lanzado de 20 MPa (200 Kg/cm²), con dimensiones mínimas (2,5 m de largo por ancho) hasta alcanzar y apoyar la base inferior del bloque, procurando empacar las grietas entre las rocas o bien dejando boquillas de PVC para relleno posterior con mortero. Se debe prolongar la columna y arropar por lo menos la mitad del bloque con concreto lanzado.

En la parte externa de la columna de concreto lanzado se deben colocar dos parrillas de varilla de acero de grado estructural 1,25 cm (1/2 ") de diámetro, formando una retícula de 20 cm en dirección horizontal y vertical. Cada parrilla debe tener un recubrimiento de por lo menos 25 cm de concreto lanzado para tener un espesor final de la columna de 2,5 m de largo por ancho (se estima del orden de 600 Kg de varilla).

La columna de concreto lanzado se estima del orden de 20 m de altura, 16 m corresponden desde el desplante hasta la base inferior del bloque y 4 m arropando y empacando el bloque (se estima del orden de 180 m³ de concreto lanzado)” (Ref. 14).

Tratamiento de anclaje para fijar la columna de concreto

“De considerar necesario el constructor, se deben dejar preparativos de PVC en la cara exterior del armado con el fin de colocar anclas de fricción de 3.81 cm (1 ½ ") de diámetro por 9 m de longitud en barrenos horizontales de 7.6 cm (3") de diámetro ubicadas en el centro de la columna de concreto lanzado, espaciados verticalmente a cada 2 m (del orden de 11 anclas)” ver figura no. 9 (Ref. 14).

“Desde la cara expuesta del bloque (ladera) se deben colocar 5 anclas de fricción de 3.81 cm (1 ½ ") de diámetro por 9 m de longitud en barrenos horizontales de 7.6 cm (3") de diámetro ubicadas alrededor de la cara expuesta del bloque, que se estima tiene un área de 30 m², tentativamente en patrón de anclaje de 1.75 m horizontal vertical.

4.1.6 FIJACIÓN DE OTROS BLOQUES INESTABLES

Se tienen identificados por lo menos tres bloques de roca ignimbrítica a los que podrá mejorarse su condición de equilibrio a base de tratamiento de anclaje, que aplica para cada bloque, otro bloque deberá removerse de la orilla del cantil, cabe señalar que el tratamiento se deberá adecuar para cada caso o bloque en particular, a continuación se indica el tratamiento:

Tratamiento de anclaje para fijar cada bloque inestable

Desde la cara expuesta del bloque (ladera) se deben colocar 5 anclas de fricción de 3.81 cm (1 ½ ") de diámetro por 9 m de longitud en barrenos horizontales de 7.6 cm (3") de diámetro ubicadas alrededor de la cara expuesta del bloque, que se estima tiene un área del orden 80 a 100 m², tentativamente en patrón de anclaje de 2.50 m horizontal y vertical.

4.1.7 OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

“En todo el anclaje de fricción que se coloque en la columna de concreto lanzado y en los bloques inestables, se deberá instalar o soldar una placa soldada de 20 cm por lado

de 1.25 cm (1/2") de espesor en el extremo exterior de cada ancla que sirva de apoyo contra el concreto o la roca.

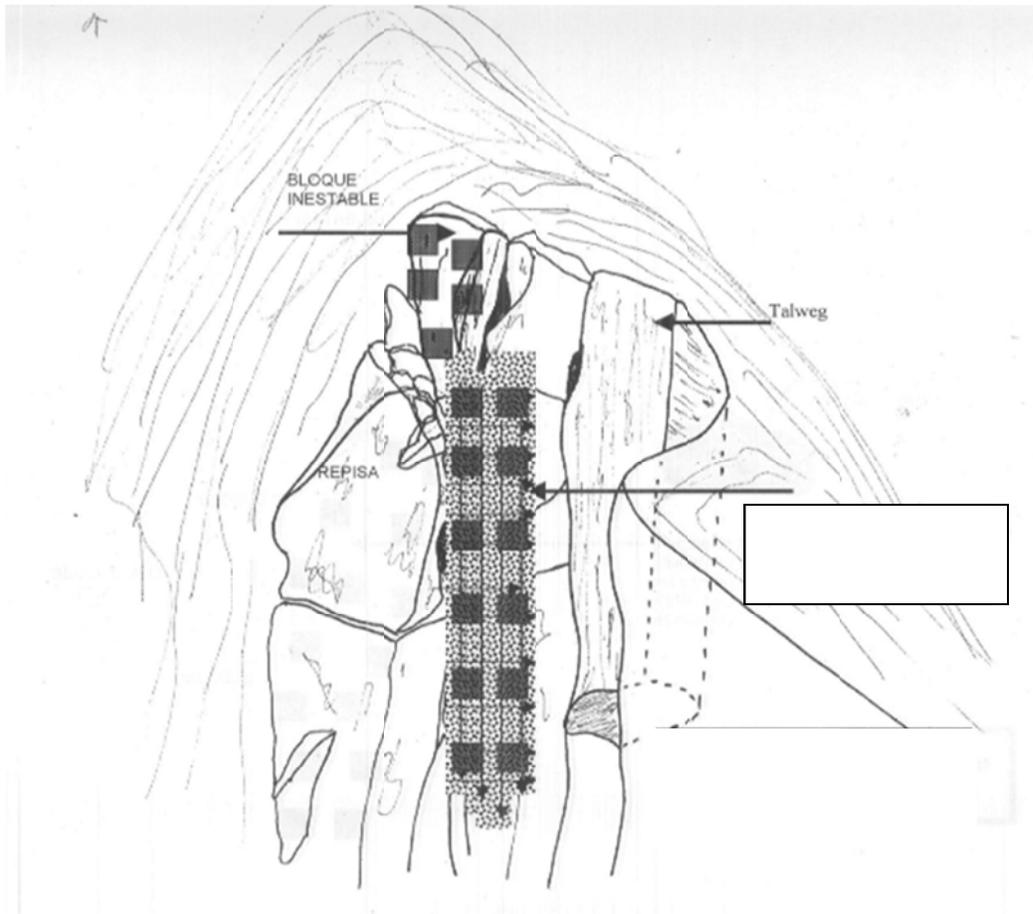


Figura 9.- Tratamiento de anclaje para fijar el bloque inestable

Se tiene previsto realizar un monitoreo de vibraciones con un oscilógrafo S-6, a fin de reducir las posibilidades del deslizamiento del bloque.

Previo a cualquier actividad también se prevé colocar una escala o testigo entre el terreno firme y el bloque, o medición de convergencia, para vigilar y observar cualquier movimiento horizontal o vertical durante los trabajos y tratamientos de estabilización” (Ref. 14).

De hecho, la fase preliminar de soporte temporal se resolvió utilizando una malla a base de cables de acero de 19 mm (3/4") la cual se fijó mediante anclas de acero de 3.81 cm (1^{1/2}") de diámetro colocadas en la parte posterior del talud que presentaba topografía y condiciones de apoyo adecuadas. Los barrenos fueron de 1.8 m de profundidad. La malla solo se tensó lo suficiente para colocarla contra el conjunto de bloques y evitar así el desprendimiento.

Asimismo, se propusieron mallas tipo Geobrigg en el domo granítico (Ref. 15) pero no fueron utilizadas, fundamentalmente, debido a su costo y capacidad real de retención. Por esta razón CFE-Generación ha propuesto iniciar un estudio para desarrollar retenidas metálicas de bajo costo a base de frenos y sufrideras para uso en centrales hidroeléctricas en operación (Ref. 16).

Actualmente, con la experiencia generada en la C.H. Zimapán, Hgo. (mallas Geobrigg), medición de caídos en la C.T. Punta Prieta BCS. y la próxima construcción de la C.H. Las Cruces, Nay. se tienen programadas pruebas prototipo para ensayar las barreras construidas con materiales convencionales.

"Durante el mes de mayo de 2001 se realizaron las primeras mediciones de vibraciones en la perforación de los barrenos para las anclas de fijación de la malla de acero. Éstas se realizaron mediante un monitor de vibraciones S-6, estableciéndose valores máximos permisibles de velocidad de partícula con 0.0423 in/s y frecuencias de 213 Hz, que corresponden a ráfagas de viento severas que ocurren después de las 13 horas. Las velocidades de partícula medidas durante el período de perforación no rebasaron vibraciones mayores a 0.005 in/s en ninguno de los geófonos instalados, por lo que se tuvo la certeza de no estar poniendo en riesgo la maniobra" (Ref. 17).

La columna de concreto se construyó finalmente con concreto colado en sitio de $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$, dadas las condiciones de acceso al sitio y las ventajas en el procedimiento constructivo. Ésta tuvo en su base 2.5 m x 2.5 m aproximadamente, integrada a la repisa de roca tratada con concreto dental, la altura del orden de 9 m con una sección en la parte superior de 3.5 x 3.5 m. Posterior al colado se instalaron 12 anclas de 9 m de longitud, de 3.81 cm de diámetro en barrenos de 7.6 cm de diámetro y un mortero de relleno de $f'c=180 \text{ kg/cm}^2$ de resistencia.



... malla de
... crítico; se
... sobre la
...



... seguridad en
... e; estas
... n previo
... cuarto de
... s.



uridad al
los cables
etaron al
.







zado;
ue 2

4.2 ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE 2

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DONDE SE UBICA EL BLOQUE 2

“La zona en donde se encuentra localizado el “Bloque 2” es en la parte más alta del denominado “Cantil Alto”, el cuál se ubica aguas abajo de la cortina entre los cadenamientos 0+700 y 0+800 con respecto a la salida del desfogue y desde la elevación del camino de acceso a la cortina ubicado en la cota 285 msnm, hasta la cima de la ladera derecha ubicada en la elevación 541msnm. Al nivel del río en esta zona se localizan las Obras de Generación de la central. Topográficamente el “Bloque 2” forma parte del terreno que define la cresta del cantil, siendo ésta un cambio de pendiente abrupto del terreno, formando un talud casi vertical (70° a 90°) y en algunos tramos taludes invertidos” (Ref. 18).

4.2.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA GENERAL DEL “CANTIL ALTO”

“En general, y derivado del marco tectónico regional, el sitio donde se encuentra la C.H. Huites presenta características de esfuerzos distensivos que, combinados con las fracturas por enfriamiento, dan como resultado un fallamiento en bloques que afecta a toda la columna estratigráfica de la zona, definiendo dos rumbos predominantes de fracturamiento: NW-SE (coincidente con el fallamiento regional) y NE-SW, que se manifiesta con fallas normales casi verticales y fallas inversas de inclinación similar.

El "Cantil Alto" presenta una secuencia estratigráfica con 3 litologías predominantes, desde la elevación del río y hasta la cota 385 msnm, predomina el domo de composición granítica, siendo este una roca sana con unas cuantas fracturas cerradas de corta extensión y orientación preferente al NW. De manera ascendente y aproximadamente entre las elevaciones 385 y 412msnm, se encuentra la unidad litológica clasificada como corneana u hornfels que es una formación metamórfica derivada de la intrusión del granito, de fracturamiento variable, color rojizo, de buena calidad.

En la parte alta de la unidad de roca Corneana se encuentra desde aproximadamente la elevación 412 msnm y hasta la parte más alta de la margen derecha, una secuencia ignimbrítica de composición fundamentalmente riolítica, que ocupa la parte más alta de los cerros dentro del vaso, su fracturamiento es casi vertical y aunado al fallamiento en bloques generalizado de la zona, favorece a la formación de cantiles que constituyen su expresión morfológica típica que junto al intemperismo, propician la formación gradual de bloques sueltos de diferentes tamaños.

En general se presenta como un macizo rocoso con pocas variaciones en cuanto a la gama de calidades, yendo desde partes de calidad regular a macizos sanos de buena calidad de roca, esto sin tomar en cuenta las zonas de fallamiento y alto intemperismo ya que existen pero en proporciones mínimas. Los bloques existentes en este cantil generalmente se muestran como masas de roca sana, compacta y resistente. Atravesando el contacto granito – corneana, desde la base y hasta aproximadamente la elevación 420 msnm, existe en este cantil, un dique de composición diabásica de calidad regular, muy intemperizable, que define y da paso a la formación de la cañada "El Nagual", este dique atraviesa toda la secuencia litológica mostrando la buena compactación y emplazamiento de las unidades, primordialmente del granito" (Ref. 18).

4.2.3 DEFINICIÓN GEOMÉTRICA Y CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL BLOQUE 2

"El "Bloque 2" es una masa de roca de la secuencia ignimbrítica, de forma irregular, la cual presenta en su conformación general una serie de discontinuidades que lo subdividen, puede considerarse que está formado por 2 partes principales:

- El bloque como tal, que corresponde al macizo principal, al cual se le denomina como bloque (A).
- Un pilar de roca mas alterada (B) sobre el cual se apoya el macizo principal.

La calidad de la roca estimada en el bloque (A), oscila con valores del RMR (rock mass rating) entre 70 y 75, lo que se traduce en una masa rocosa de buena calidad, el pilar (B) a compresión está más intemperizado y se encuentra cizallado por un par de fallas pseudo-verticales, lo que deriva en una calidad de roca con un RMR menor a 45 lo que lo ubica como una masa de roca de regular calidad. Las dimensiones del bloque 2, fueron estimadas, y se consideró en ese momento un bloque con 20 metros de altura, 6 metros de ancho y 3 metros de espesor, lo que indica un volumen de roca de 360 m³. Se estimó un peso general de la masa de 918 toneladas, el cual serviría para emitir recomendaciones de tratamientos de soporte funcionales. Dado que durante el proceso de ejecución de los trabajos de estabilización del bloque 2 y ya con el proyecto avanzado, se solicitó y generó un levantamiento topográfico llamado "Configuración topográfica de obras en la zona del domo, canal y bloque 2, en la C.H. Luis Donaldo Colosio. Choix, Sinaloa", con lo que fue posible afinar los datos emitidos y asegurar el anclaje definitivo además de visualizar de manera clara las condiciones en que se encontraba el bloque, ver. Con base en un levantamiento geológico – geotécnico realizado in situ, de las principales discontinuidades que forman al bloque, se trazó el contacto de este con la ladera, mostrando las características morfológicas del mismo con respecto al "Cantil Alto" y su conformación general hacia el interior del macizo rocoso dejando así un modelo tridimensional del mismo", ver figura 10.

"Las dimensiones generales del bloque, partiendo de dicho levantamiento, arrojaron que la masa sólida del bloque presenta variaciones en cuanto a su altura, dependiendo del punto de medición. El lado derecho (observando en dirección del río) tiene una altura de 8.5 m, del lado izquierdo tiene en promedio alrededor de 13 m, un ancho de 7.5 m y un espesor variable, de 3.5 m al lado izquierdo (observando en dirección del río) a 0.5 m al lado derecho, el pilar de roca por su parte tiene una altura promedio de 3.5 m, un ancho de 2.5 m y un espesor de 1.8 m, el peso total estimado del bloque según este modelo es de unas 650 t" (Ref. 18).

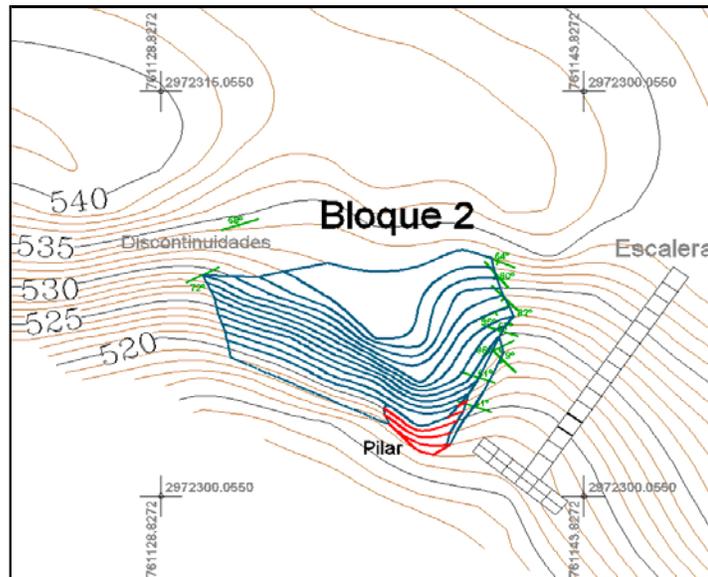


Figura 10.- Modelo tridimensional del bloque 2.

4.2.4 RECOMENDACIONES PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL BLOQUE Y PROPUESTA DE INSTRUMENTACIÓN

“A partir de las condiciones de la masa de roca inestable que se consideraron para el denominado “Bloque 2” y tomando en cuenta el riesgo medido en los análisis de trayectoria de caída que conlleva tener una masa de ese peso y condiciones de apoyo sobre las estructuras de generación de la central, se emitieron una serie de recomendaciones que estabilizarían por completo dicha masa, las cuales contemplan 2 etapas de trabajo.

4.2.4.1 ETAPA I (ESTABILIZACIÓN PROVISIONAL O TEMPORAL)

Esta actividad consistió en la colocación de una red o malla de cable de acero que se fijó al talud mediante un anclaje perimetral con los objetivos de cubrir y mantener estable al bloque 2 de manera que se redujeran los riesgos de una falla del bloque durante los trabajos de la estabilización definitiva” (Ref. 18).

“Para evaluar la capacidad de la red o malla de acero y los elementos de fijación (anclaje de fricción) bajo la consideración de un peso de bloque de 900 t se realizó lo siguiente:

- Para fines de diseño se consideró un factor de reducción, por cable, 80% y por tirante, 40%.
- Para cable de 19 mm (3/4") de diámetro resulta: $19,40 \text{ t} \times 70 \text{ piezas} \times 0,8 = 1086 \text{ t}$

Por las consideraciones anteriores, la capacidad total de la red o malla de cable de acero es del orden de 1086 t, resultando un factor de seguridad de 1.20 para la totalidad de cable.

Alrededor del bloque 2 se propuso colocar al menos 47 anclas del tipo de fricción de 38.1 mm (1 1/2") de diámetro colocadas en barrenos de 1.5 m de longitud, de 76.2 mm (3") de diámetro, ubicadas en roca sana, la parte externa del ancla se dejó con la longitud necesaria para lograr un dobléz en forma de aro que sirvió para amarrar los tirantes.

Para optimizar el funcionamiento del ancla, se dio una inclinación descendente del orden de 30°, respecto a la horizontal, en dirección hacia el bloque 2. Para garantizar el trabajo del cable se recomendó que por cada ancla colocada podrían instalarse 3 extremos tirantes de los cables.

Para el relleno y fijación del ancla de fricción en los barrenos, se recomendó un mortero grout y para definir la longitud de adherencia se consideró una resistencia a la compresión uniaxial de 300 kg/cm^2 .

Previo, durante y posterior a los tratamientos y con el objetivo de dar un seguimiento de verificación de todo el proceso del tratamiento se recomendó llevar a cabo un registro de control de calidad y supervisión de obra por parte de personal calificado en Mecánica de Rocas.

Se propuso que para el tensado temporal o provisional de los tirantes de la red de cables se realizará en dos etapas como se describe a continuación” (Ref. 18):

ETAPA A

Aplicar un mínimo de tensado en los cables, con apoyo en equipo manual como tirfor y tecles, para garantizar la inamovilidad del bloque.

ETAPA B

“Se recomendó aplicar un tensado controlado de 0.5 a 1 t por cable, empleando para ello un cilindro hidráulico con bomba hidráulica y equipo de apoyo como tecles y tirfor. El equipo de tensado debía estar calibrado. Estos cables debían protegerse con una membrana de epóxico- alquitrán” (Ref. 18).

4.2.4.2 ETAPA II (ESTABILIZACIÓN DEFINITIVA)

“La estabilización definitiva del bloque 2, consistió en la instalación de anclas de fricción sobre el propio bloque, para fijar totalmente la masa inestable.

Una vez terminada la estabilización temporal del bloque 2, se recomendó colocar sobre el bloque 2, 36 anclas de fricción formadas por piezas de varilla corrugada grado estructural 42 de 38.1 mm (1 ½”) de diámetro y mínimo de 9 m de longitud. En cada barreno ejecutado se instaló un ancla de fricción.

Para asegurar la inyección completa del barreno y con esto el trabajo del sistema de soporte, en la junta o separación del bloque 2 con el macizo rocoso, se recomendó colocar un tramo de tubo de PVC, la mezcla para inyección debió ser un mortero de tipo no contractivo.

Para efectuar el monitoreo de los movimientos que resultaran en el bloque debido a los procesos de tratamiento antes comentados, el personal técnico de Mecánica de Rocas en el sitio propuso la colocación de un sistema de convergencia – divergencia para la cuantificación de los desplazamientos, aunada a la utilización de testigos de yeso para evidenciar los posibles desplazamientos.

Para definir el diseño de los medidores de convergencia, se consideró que el principio general que rige a los medidores de desplazamiento divergentes y convergentes se

basa en los posibles movimientos de barras y/o placas de un cuerpo con libertad de movimiento con respecto a uno fijo.

Para el caso del bloque 2 este principio quedaba acorde, ya que en cualquiera de los procesos de estabilización era probable que se presentasen movimientos con respecto a la ladera, estos movimientos, podrían haber sido en cualquier dirección, preferencialmente se consideró que el movimiento se presentaría en la dirección de caída del bloque, que en este caso, sería en dirección perpendicular al plano de talud SW38° aproximadamente. Dado que el bloque 2 no es una unidad única de masa, sino es un conjunto de bloques unidos entre sí, se propuso que los medidores debían de tener referencias en cada una de las partes que lo conforman.

Para facilitar la colocación de estos instrumentos, se propuso que el sistema fuera conformado por varillas horizontales ancladas al terreno firme y varillas verticales desplantadas en los sub- bloques que conforman la masa.

Las barras horizontales que se colocaron son 3 y tienen un diámetro de 1.5", se encuentran empotradas una longitud equivalente a lo expuesto a fin de evitar deformaciones por flexión de la barra y están orientadas con el rumbo preferencial de caída del bloque. Éstas, llevan soldadas tres reglas graduadas de medición, distribuidas conforme a los medidores de convergencia que se colocaron.

Los medidores de convergencia - divergencia son ortogonales a las anclas y tienen una separación mínima con respecto a éstas, sus barras son de diámetro de 3/4" y están sostenidos sobre dados de concreto que los mantienen fijos. En la parte donde intersectan con las reglas, estos medidores cuentan con agujas de medición que son elementos esbeltos afilados para tener más detalle y precisión en las mediciones que se efectuaron.

Se colocaron en total 8 medidores de desplazamientos de convergencia – divergencia, en 3 líneas de medición distribuidos en el bloque de manera en que se tuvieran referencias de los movimientos que podrían tener cada una de las partes que conforman al bloque.

Una vez instalados estos instrumentos, se llevó a cabo un plan de monitoreo que partió de una lectura base en cada uno de ellos, con registro de lectura diaria y tratando de que estas fueran a la misma hora, con la finalidad de reducir la incertidumbre de las mediciones, integrando esta información en una gráfica de desplazamiento contra tiempo, de manera que durante los trabajos de estabilización se conoció el comportamiento del bloque y así permitió definir las recomendaciones necesarias para asegurar los procedimientos de estabilización que se efectuaron.

Adicionalmente, para tener referencia directa y pronta ante algún movimiento en el bloque, se colocaron estratégicamente testigos de yeso en las fracturas y diaclasas que existen en el bloque y en el pilar a compresión, esto con la finalidad de evidenciar el movimiento de alguna de sus partes, puesto que el implementar un sistema de medición de convergencia – divergencia en los costados del bloque implicaba barrenar en el mismo y se complicaba la toma de lecturas. Estos testigos se fecharon con el día que fueron colocados para conocer la evolución de los posibles desplazamientos relativos o totales de la masa rocosa con el tiempo, cabe señalar que esta instrumentación fue pieza clave para percibir el comportamiento de la masa, pues en caso de presentarse desplazamientos al momento de la barrenación, el movimiento se registraría inmediatamente en esta instrumentación, y podría evaluarse una posible condición crítica de riesgo.

Para llevar a cabo un control de calidad en los materiales que se utilizaron para la estabilización del bloque 2, se realizaron pruebas de laboratorio a muestras representativas de los materiales principales, como lo son el mortero para la fijación de las anclas, el cable para la red y el equipo para realizar el tensado.

En lo que respecta a la mezcla de inyección, se efectuaron pruebas para conocer la resistencia de los materiales empleados una vez que estos fraguaron, cabe señalar que la contratista empleó un grout de resistencia mayor (50 Mpa) a la proyectada, esto porque contaba con tal producto sin que esto implicara una modificación en el precio unitario de los trabajos por realizar.

De las pruebas realizadas en laboratorio, se encontró que la resistencia promedio que se propuso de proyecto se alcanza a los 2 días de fraguado, en las muestras

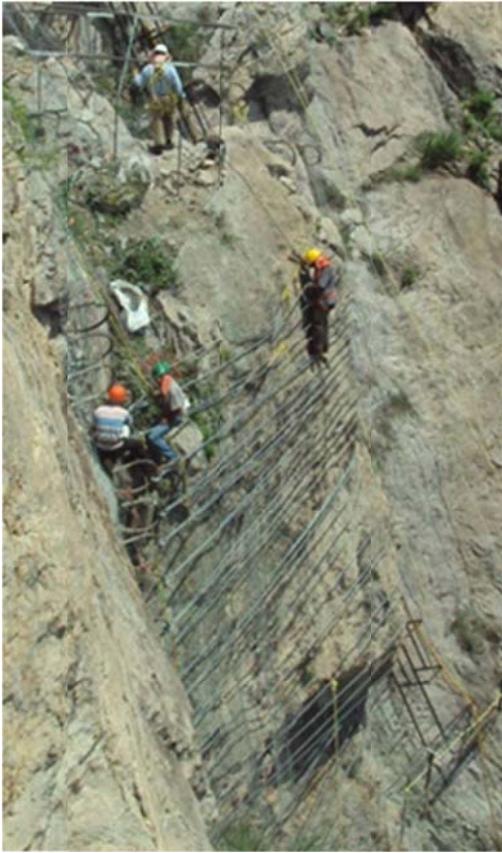
ensayadas se llevó a cabo el proporcionamiento sugerido por el fabricante, con el cual se genera la mayor resistencia del material. La relación agua/cemento considerada es de: 0,18, con un peso volumétrico promedio de 2.21 g/cm³ y dejando claro la condición de cuidar el batido de la mezcla; condición por la cual se emitieron las recomendaciones necesarias para asegurar el correcto funcionamiento de éste.

En lo que respecta al cable, los resultados de los ensayos de laboratorio, dieron una resistencia máxima a la tensión de 24 t para un diámetro de ¾ de pulgada con una elongación del orden de 3.25 cm. La resistencia especificada fue de 19.4 t, por lo que con este valor se avaló el uso de este material.

La bomba y cilindro de tiro para el tensado del cable en campo, se calibraron por parte del personal especializado en el laboratorio de Mecánica de Rocas” (Ref. 18).



galla
o se
que



a base de
cia; esta
portante
l.



a
s



a la
oreo
fue





eza del
medidas
d.

5. DISCUSIÓN

El proyecto Huites se viene estudiando prácticamente desde la mitad del siglo pasado (apartado 2). Se han hecho múltiples anteproyectos y proyectos a nivel factibilidad, sin embargo, al momento de desarrollar el proyecto ejecutivo se presentaron situaciones que hicieron modificar de manera sustancial la construcción definitiva, tal como se ha comentado en el apartado 2.6.

El período de construcción abarcó de 1992 a finales de 1995, cuando en un principio se tenía contemplado de 1992 a finales de 1994. Asimismo el incremento en el monto del proyecto en general fue del orden del 39 % de acuerdo con lo consignado en el apartado 2.6.1. Aunque el rubro de la obra civil para la central hidroeléctrica tuvo un incremento del 158 %. Llama la atención que la inauguración de la presa la realizó el entonces presidente del país, Lic. Carlos Salinas de Gortari el 17 de noviembre de 1994 y la Central Hidroeléctrica el Lic. Ernesto Zedillo Ponce de León en 1995.

Los años 1993 y 1994 se caracterizaron por ser años húmedos, específicamente durante la avenida extraordinaria de marzo/1993 ($2000\text{m}^3/\text{s}$) se inundó el recinto formado entre las ataguías de construcción, las cuales se construyeron de enero/1993 a julio/1993, con una elevación máxima del río de 158.95 m. Ese mismo año, del 12 al 16 de sept/1993 como consecuencia del huracán "Lidia" se presentó una avenida de $6500\text{m}^3/\text{s}$, que hizo que se tuviera que modificar la ataguía de aguas abajo. El 17 marzo de 1994 se llevó a cabo el cierre del tajo de desvío (primer cierre) utilizando a partir de entonces los ductos en el monolito 8 como desvíos y el 13 de noviembre de 1994 se tuvo otra avenida de $3300\text{m}^3/\text{s}$.

Para el desarrollo del proyecto se contó con la participación de consultores internacionales los cuales realizaron 15 visitas del 3 mayo 1992 a 22 sept 1995. Como resultado de las recomendaciones de estos asesores se modificó, entre otra cosas, el arreglo original del proyecto recorriendo el eje 90 m aguas abajo del sitio original, asimismo se reubicó la casa de máquinas del centro de la cortina a un costado del tajo de desvío en la margen derecha y se interrumpió la cortina de gravedad hasta el monolito 15 a partir del cual se incluyó el arco hasta empotrar con la margen derecha.

Estos cambios favorecieron una mejor posición geológica y mayor velocidad en el proceso constructivo tanto de la presa como de la central hidroeléctrica al tener dos frentes de trabajo sin interferencias.

Se ha manifestado que por lo menos hasta 1997, la presa Huites (sección gravedad) ocupa el tercer lugar en velocidad de colocación de concreto con $13356 \text{ m}^3/\text{día}$, tan solo detrás de Itaipú con $15813 \text{ m}^3/\text{día}$ y Grand Coulee con $14894 \text{ m}^3/\text{día}$. Aunque considerando el porcentaje de volumen total de presa, Huites es la de mayor colocación en el mundo.

También se debe señalar que el incremento en velocidad trajo aparejados problemas como el del manejo de la temperatura en la masa de concreto el cual requirió de un sistema de postenfriamiento, aparte de los cuidados propios en el manejo de los agregados y agua previo a la formación del concreto. Posterior a la culminación de los colados se tuvieron que realizar campañas intensivas de inyecciones en la cortina debido a la presencia excesiva de filtraciones.

La obra civil de las unidades generadoras inició el 5 de enero de 1993 en su nueva y definitiva ubicación. La identificación de los riesgos geológicos descritos en el apartado 2.9.3.3 ocurrió prácticamente al mismo tiempo, sin embargo, no se tomaron en cuenta las señales de atención, de tal suerte, que no se amacizó la corona del cantil previo a la construcción de la central. De hecho, se corrió un gran riesgo durante la etapa de construcción pues la cantidad de trabajadores y equipo en el sitio era elevado. Este riesgo, pasó así desapercibido y solo se puso atención parcial a caídos pero provenientes del domo granítico entre las elevaciones 150 y 300 m aproximadamente, los grandes bloques de las cotas 450 a 550 m no tuvieron atención.

El valor de los turbogrupos y transformadores es del orden de 4953 millones de pesos (apartado 4), aparte del principal riesgo que es la integridad del personal que labora en la central. A la fecha se han invertido del orden de 20 millones de pesos en la estabilización de los bloques en cuestión y falta considerar lo que se requiere para completar los tratamientos en el resto de la margen derecha.

Las barrancas de Urique y Batopilas y en general el sistema de montañas de "Las Barrancas del Cobre" presentan el mismo mecanismo de volteo de los bloques de

ignimbritas y tobas que coronan los cantiles. Esto es parte del atractivo turístico en la región, observar las formaciones peculiares que se forman en los cantiles y bloques volteados en el fondo de las barrancas. La casa de máquinas se encuentra parcialmente dentro del domo granítico, la bahía de montaje y mantenimiento dentro del domo y las unidades generadoras expuestas al pie del cantil (apartado 2.11). Para efectos de riesgo por caídos de roca, la central, específicamente el área donde se ubican las unidades generadoras, quedó en la peor ubicación, no al centro de la cortina ni dentro del domo granítico de margen derecha sino al pie del cantil. Hubiera bastado volcar los grandes bloques amacizando la zona previo a la construcción de la Central y no se tendría que convivir actualmente con la problemática descrita.

Con lo enunciado hasta aquí se puede establecer lo siguiente:

- Las características hidrológicas del río Fuerte no fueron valoradas del todo para el diseño de las ataguías.
- El proyecto ejecutivo de la presa y el aprovechamiento energético no contó con el alcance suficiente de estudios para su correcta ejecución desde un principio. Lo anterior resultó en incrementos en el tiempo de ejecución de la obra y costo de la misma. A la fecha continúa el riesgo sobre la central por caídos de roca y sigue costando su cuidado y prevención.
- Se puso en evidencia lo complejo de la gestión administrativa de la construcción cuando son varias y diferentes las partes participantes; entidades federales e inversionistas privados.
- En caso de un siniestro mayor se vislumbran dificultades al pretender aplicar el seguro pues los ajustadores de las empresas de reaseguro podrían argumentar alcance inadecuado en el alcance de los tratamientos de la ladera. De igual modo, La prima de los seguros subsecuentes se puede ver incrementada si las compañías aseguradoras consideran esta situación.

Al margen del tinte político que caracteriza a este tipo de proyectos, se propone a continuación un procedimiento simple para evitar o minimizar el tipo de situaciones descritas en este trabajo. Lo anterior como resultado de la experiencia y éxito parcial en otros proyectos de magnitud similar, tal como ha sido el P.H. "La Yesca" y el P.H. "El Cajón".

El Procedimiento se denomina **"VPU"** Verificación del Proyecto por el Usuario y consta de tres pasos que a continuación se describen:

1. Incorporar al usuario final desde la fase de diseño, con ingeniería propia o través de un tercero, para tener la visión no solo de corto plazo (constructor) sino mediano y largo plazo (operador de infraestructura) incluyendo las disciplinas civil, electromecánica, ambiental y social. Mediante listas de verificación se controlan los aspectos relevantes del proyecto.
2. Incorporar al usuario final durante el proceso constructivo, con ingeniería propia o través de un tercero, con los alcances expresados en el punto 1.
3. Contemplar de principio los diversos escenarios de exposición durante las fases de construcción, puesta en servicio, operación y disposición de la infraestructura del proyecto para la incorporación del seguro correspondiente. Esta actividad da luz sobre aspectos que frecuentemente pasan desapercibidos, ej. Manejo de incendios, rutas de escape, etc. Los cuales repercuten desde el propio diseño.

Los pasos 2 y 3 han sido incorporados de manera parcial en proyectos grandes de CFE, sin embargo, el paso 1 ha sido marginal y es fundamental para el logro de proyectos más exitosos.

Hablando específicamente de la estabilización de los bloques 1 y 2 se enfatiza aquí lo referente a la fase previa de fijación temporal (apartados 3 y 4).

Como se expuso anteriormente el riesgo sobre el equipo y personal es muy grande y por lo tanto debe garantizarse su integridad bajo cualquier circunstancia.

Dadas las condiciones geométricas de los bloques, su sanidad, la topografía de la ladera, las condiciones de resiliencia de la misma y considerando que un bloque de 150 t de masa a 300 m de altura (solo para ilustrar la energía involucrada) impactara la casa de máquinas se plantea el siguiente escenario.

El bloque podría primero impactar en el cuarto de control (los operadores laboran principalmente en este cuarto) en la cota 165 m y/o posteriormente atravesar la techumbre de casa de máquinas (losa acero) e impactar contra el nivel de excitadores en la cota 157.90 m, podría impactar en el excitador haciendo un efecto de martinete

contra todo el eje del turbogruppo, destrozando las chumaceras carga y guía así como el rotor y estator por lo menos. Se podría generar un incendio en el piso de excitadores por la presencia de los tableros de control e instrumentación así como los bancos de baterías quedando la central inutilizada, es decir, una gran catástrofe.

Por esta razón se decidió tomar todas las precauciones que se mencionaron en el apartado 4, mediciones de velocidad de partícula en los bloques durante los diversos trabajos realizados, medición directa de convergencia, retiro de personal en la central a la hora de realizar las maniobras, etc. El uso de las mallas de acero fue el "seguro" de la maniobra completa.

Hablando en sentido estricto, el considerar el peso completo del bloque o grupo de bloques para el diseño de la malla y anclaje definitivo podría considerarse conservador, pues primero tendría que haber un desplazamiento parcial del bloque y el peso por soportar solo es una parte del total del peso del bloque. Esto se discutió ampliamente y se decidió como criterio de diseño considerar el peso completo.

Todo lo anterior ilustra lo que en ingeniería se conoce como una "alternativa satisfactoria de solución" dada en condiciones reales y limitantes de un problema establecido. Al no poder aplicar la solución "óptima" que es cuando se pueden controlar factores determinantes antes de la situación real. En este caso, la solución óptima era voltear los bloques antes de la construcción de la central, al no haberse llevado a cabo esta maniobra, entonces se recurrió a la estabilización como se ha descrito en este trabajo.

De igual manera, este es un ejemplo de un diseño "robusto" de ingeniería en el sentido que Jesús Alberro Aramburu (q.e.p.d) lo señala (Ref. 19), es decir, tomando en cuenta escenarios reales y probables con las incertidumbres asociadas en el corto, mediano y largo plazo. De ahí, el sistema redundante de protección (mallas de acero, anclajes, pedestales de concreto, etc.) con prácticamente nulo mantenimiento dadas las condiciones de inaccesibilidad del sitio donde se ubican los bloques.

6. CONCLUSIONES

1. Se ha propuesto un procedimiento simple para minimizar el efecto negativo de cambios de proyecto y todas las consecuencias que traen estos cambios. El procedimiento se ha denominado "VPU" Verificación de Proyecto por Usuario y consiste fundamentalmente en incorporar la participación del usuario final en las fases de diseño y construcción incorporando la perspectiva del aseguramiento de la infraestructura. En el caso particular de la Comisión Federal de Electricidad, el usuario final es la Subdirección de Generación encargada de la operación de las centrales de generación. Actualmente se ha incorporado parcialmente la participación del usuario final en las fases del procedimiento constructivo e incorporación de la perspectiva del aseguramiento de la infraestructura, sin embargo, la participación en la fase de diseño es mínima. El suscrito es de la opinión que si se incorporara la participación tal y como se ha planteado, redundaría en proyectos mas apropiados. Se resolverían, entre otros, problemas recurrentes tales como caminos de acceso, infraestructura faltante o inadecuada, condiciones de trabajo inseguras o poco eficientes, operación de vertedores, desfuegos obstruidos, por citar algunos.
2. Se ha ilustrado a través de un caso real el concepto de diseño "robusto" en el cual se contemplan escenarios reales y probables con las incertidumbres asociadas a corto, mediano y largo plazo. Es frecuente que se soslaye la visión de largo plazo en diversos subsistemas de los megaproyectos. En este caso, se presentó lo referente a la estabilización de bloques de gran tamaño que amenazan la integridad de la central generadora Luis Donaldo Colosio Murrieta Huites, Sin.
3. Un país con escasos recursos económicos como el nuestro debe cuidar los mismos aun con más ahínco que los mismos países desarrollados.

Por esta razón, los megaproyectos con múltiples aprovechamientos deben estar perfectamente concebidos y articulados entre todos los actores y entidades participantes antes de iniciar el proceso constructivo. De ahí que las figuras de contratación "llave en mano" y obra pública financiada con el desarrollo de la ingeniería de detalle incluido deban tratarse con especial atención, así como desarrollar los proyectos ejecutivos con la suficiente antelación y profundidad en el caso de obra pública de carácter nacional e internacional.

7. G L O S A R I O

Actinolita	Mineral común en rocas metamórficas básicas de las facies de los esquistos verdes.
Acuicultura	Cría y cultivo de animales y plantas acuáticos.
Adendum	Conjunto de notas adicionales al final de un escrito.
Afanítico	Falto de cristales observables a simple vista.
Afluente	Corriente de agua secundaria, tributaria de un río mayor o principal.
Aglomerática	Masa de roca con características de aglomerado; de origen piroclástico con fragmentos redondeados "bombas" de más de 32 mm de diámetro.
Albiano-Cenomaniano	Período frontera entre el cretácico inferior (albiano) y cretácico) superior (cenomaniano).
Albita	Mineral extremo de la serie isomorfa de las plagioclasas, constituyente esencial de numerosas rocas eruptivas.

Anfibolita	Roca metamórfica regional derivada de lavas y tobas basálticas.
Apófisis	Cuerpo de forma diversa procedente de una masa intrusiva mayor.
Arenisca	Roca sedimentaria clástica de arenas coherentes de colores variables, se forman a partir del transporte de material por el viento o el agua fluvial o marina.
Ataguía	Dique provisional en un río o canal para impedir el paso del agua mientras se realiza una obra hidráulica.
Bancos de material	Depósitos de materiales aptos para la construcción de obras civiles.
Barrenos de exploración	Perforaciones realizadas en el subsuelo con el objeto de conocer la estratigrafía del mismo.
Basalto	Roca magmática efusiva de color oscuro cuyos minerales esenciales son la plagioclasa y piroxeno.
Boquilla	Sitio geográfico con características topográficas y geológicas, propicio para instalar una obra de contención de agua.

Bornita	Mineral de segregación magmática en rocas básicas, muy pesado y difícilmente exfoliable.
Brechoide	Textura característica de los conglomerados o brechas, los fragmentos suelen ser angulosos.
Buzamiento	Pendiente de un estrato o filón interestratificado.
Calcopirita	Mineral de la línea de los sulfuros no exfoliable de ambiente hidrotermal de elevada temperatura, característica de rocas ígneas más o menos metamorfoseadas.
Casa de máquinas	Nave industrial que aloja a las unidades turbogeneradoras, puede ser a cielo abierto o subterránea
Cataclástica	Textura típica de rocas tectonizadas presentando todavía granos de tamaño grande.
Central Hidroeléctrica	Planta industrial que genera electricidad mediante agua.
Chumacera de carga	Soporte mecánico del conjunto turbina- generador directamente acoplado a la fecha y que transmite la

carga a la cimentación.

Chumacera guía	Soporte mecánico de la flecha del conjunto turbina – generador, que sirve para evitar desviaciones de la misma.
Clorita	Mineral de la familia de los silicatos exclusivo de rocas metamórficas regionales ricas en aluminio y hierro.
Conglomerado	Roca sedimentaria clástica asociada con deposición en agua poco profunda y fuertemente agitada de guijarros de la misma o diferente naturaleza.
Consortio	Asociación de personas o entidades con un fin común para el cual aportan recursos y comparten riesgos y beneficios.
Corneana	Roca metamórfica no esquistosa, compuesta por un mosaico de granos equidimensionales sin orientación preferente; producto de metamorfismo de contacto, comúnmente con los bordes de granito y granodioritas.
Corona de la cortina	Parte más alta de una cortina, generalmente se refiere a la superficie de rodamiento.
Cortina de arco	Tipo de presa que se construye aprovechando las propiedades del arco, éstas pueden ser de una doble curvatura, generalmente se construyen de concreto simple o reforzado.
Cretácico	Período correspondiente a la era del mesozoico de 135

a 65 millones de años de antigüedad.

Cretácico inferior	Período correspondiente a la era del mesozoico; de 135 a 100 millones de años de antigüedad aproximadamente.
Cuarzo	Uno de los minerales más comunes de la corteza terrestre, cristalizado directamente del magma óxido de sílice, carente de exfoliación.
Desagüe de fondo	Obra hidráulica que se construye en una presa con el fin de controlar la velocidad de ascenso o descenso del nivel del agua en el embalse.
Desfogue	Estructura hidráulica para conducir el agua hacia el río una vez que ya ha sido turbinada.
Diabasa	Ver dolerita
Dique	Término geológico para designar un plutón o masa de magma discordante, éste se origina cuando el magma se abre camino a través de las rocas adyacentes.
Dolerita	Roca ígnea básica calcoalcalina, también conocida como diabasa.
Drenaje dendrítico	El que se presenta en una cuenca asemejando la forma de un árbol, resultado de la orientación azarosa de las corrientes.

Embalse	Almacenamiento de agua creado al construir la presa.
Epidota	Mineral constituyente común de varios tipos de roca, exfoliable, frecuente en rocas metamórficas regionales o de contacto de la familia de los silicatos.
Esquistos	Roca metamórfica de contacto, generalmente de color claro cuyos minerales esenciales son la calcita y la plagioclasa y comercialmente también se le denomina como mármol.
Estator	Parte fija de un generador eléctrico necesaria para formar un campo electromagnético.
Estilpnomelana	Mineral constituyente de rocas metamórficas, generalmente esquistos derivadas de pedernal.
Facies porfídicas	Conjunto de rocas porfídicas cristalizadas en las mismas condiciones de temperatura y presión.
Factor de planta	Generación total entre la potencia máxima por el período de generación.
Falla inversa	Falla producida por fuerzas de compresión, en la cual uno de los bloques se monta en el bloque adyacente al plano de falla, cuando el plano de falla es casi horizontal se presenta el mecanismo de subducción.
Falla normal	Falla producida por fuerzas de distensión en la cual el plano de falla presenta gran inclinación, a veces cerca de la vertical.

Fideicomiso	Disposición por la que el testador, o quien ejerza sus recursos, deja encomendado a la buena fe de un tercero para que en su caso y términos determinados, transmita a otra persona estos recursos.
Filitas	Roca metamórfica regional de colores claros y granos muy finos cuyos minerales esenciales son el cuarzo y mica.
Geomorfología	Parte de la geografía física que estudia y describe el relieve terrestre y su evolución.
Graben	Fosa tectónica, término geomorfológico.
Granito	Roca magmática intrusiva de colores claros de cristales de tamaños medio y fino, cuyos minerales esenciales son el cuarzo, feldespato potásico y la plagioclasa.
Grano diorita	Roca magmática intrusiva cuyos minerales esenciales son el cuarzo y la plagioclasa.
Granoblástica	Textura formada por minerales de dimensiones prácticamente iguales.
Grauvacas	Roca sedimentaria clástica de arenas coherentes de color oscuro, resultado de corrientes de turbidez

marinas, en aguas profundas.

GWh	Giga watt hora.- unidad de energía utilizada para designar la generación de una central.
Hematita	Mineral accesorio común en numerosas rocas eruptivas, óxido de hierro comúnmente presente con lavas.
Higoceno	Piso o época correspondiente a la era del cenozoico; de más de 23.5 millones de años de antigüedad, anterior al mioceno.
Hipidiomórfica	Textura formada por minerales de la misma forma asociados a minerales alotriomorfos completamente cristalizados que ocupan los espacios residuales.
Holocristalina	Textura de roca ígnea que en su totalidad está compuesta por cristales, ej. Granito.
Hora pico	Hora del día en la cual la demanda de energía es máxima.
Hornblenda	Mineral de importancia en la constitución de rocas metamórficas de la facies de las anfibolitas, presente también en rocas básicas como los basaltos.
Hornfels	Roca metamórfica que se forma por metamorfismo de contacto comúnmente con rocas plutónicas;

provenientes de rocas arcillosas o similares.

Horst	Compartimiento elevado entre fallas geológicas.
Ignimbrita	Roca piroclástica ácida de color claro, depósitos de tobas incandescentes probablemente rodadas y deslizadas a lo largo de pendientes.
Intrusivo granítico	Cuerpo de roca granítica que implica deformación de rocas adyacentes a gran temperatura y presión.
Jurásico	Período correspondiente a la era del mesozoico; de 205 a 135 millones de años de antigüedad.
Limnógrafo	Equipo mecánico o electrónico que sirve para graficar el nivel del espejo de agua en un río o embalse.
M.s.n.m.	Metros sobre nivel del mar.
Máficas	Rocas que contienen del 52 al 44 % de sílice.
Marmolizadas	Rocas sedimentarias calizas que han sufrido metamorfismo regional y de contacto.
Metaandesitas	Andesitas que presentan cierto grado metamorfismo

con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Metaarenisca

Areniscas que presentan cierto grado de metamorfismo con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Metacaliza

Roca caliza que presenta cierto grado de metamorfismo con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Metaconglomerados

Conglomerados que presentan cierto grado de metamorfismo con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Metamorfismo de contacto

Proceso que se caracteriza por generar rocas metamórficas a gran temperatura y relativamente baja presión, suelen crearse cristales de gran tamaño.

Metasedimentaria

Roca sedimentaria que presenta cierto grado de metamorfismo con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Metatraquitas

Traquitas que presentan cierto grado de metamorfismo con sustitución parcial de unos minerales por otros.

Mioceno

Piso o época correspondiente a la era del cenozoico; de 23.5 a 2 millones de años de antigüedad aproximadamente.

Mm3	Millones de metros cúbicos.
Monolitos	Columnas o dinteles contruidos en un solo bloque independiente que se puede ligar a otros similares.
MW	Mega watt.- unidad de potencia 10^6W utilizada para designar la potencia instalada en una central.
Name	Nivel de agua máximo extraordinario.
Namino	Nivel de agua mínimo de operación.
Namo	Nivel de agua máximo de operación.
Neotectónica	Actividad tectónica reciente en términos de tiempo geológico.
Obra de desvío	Estructura indispensable para la construcción de una presa; su función es transitar el río por un lugar diferente de su cauce natural.
Ofítica	Textura debida a cristales de plagioclasa cementados por cristales de piroxenos.
Oligoclasa andesina	Mineral de la línea de las plagioclasas presente en las rocas eruptivas tanto plutónicas como volcánicas, la composición es tanto más cálcica cuanto más básica

sea la roca que la contiene.

Paleoceno	Piso o época correspondiente a la era del cenozoico; posterior al cretácico, de 65 millones de antigüedad.
Pertíticos	Rasgos que introduce el mineral pertita, común en granitos, pórfidos y también en rocas metamórficas ácidas.
Pirita	Mineral común en rocas plutónicas, volcánicas, sedimentarias y metamórficas, muy pesado no exfoliable (sulfuro de fierro).
Piso de excitadores	Nivel de casa de máquinas donde se ubican los bancos de baterías, tiristores, y sistema de excitación, conversión corriente directa-alterna, este nivel se ubica arriba del piso de generadores.
Piso de generadores	Nivel de casa de máquinas donde se ubica el acceso al foso del generador eléctrico, este nivel se ubica arriba del paso de turbinas.
Piso de turbinas	Nivel de casa de máquinas donde se ubica el acceso a la turbina hidráulica.
Pizarras	Roca metamórfica de contacto de color gris oscuro brillante cuyos minerales esenciales son la moscovita y la biotita.

Plagioclasa	Mineral constituyente de rocas ígneas generado durante el proceso de enfriamiento del magma.
Plioceno	Piso o época correspondiente a la era del cenozoico; de más de 1.64 millones de años de antigüedad, posterior al mioceno.
Polimícticos	Término que se aplica a rocas sedimentarias, generalmente conglomerados con clastos de tamaño de gravas, diversos orígenes.
Porfídica	Textura debida a cristales de dimensiones mucho mayores que la de otros minerales.
Pórfido blástica	Textura recristalizada de los pórfidos con cierto grado de metamorfismo.
Presa	Estructura que funciona como obra de contención de agua para formar un embalse.
Presa derivadora	Obra de contención de agua que en su estructura incluye una escotadura, la cual, cuando el agua la alcanza, comienza a verter a un canal u otro depósito.
Propilitización	Alteración de rocas andesíticas procedentes por soluciones deutéricas calientes e hidratadas, ricas en bióxido de carbono.
Red geodésica	Conjunto de puntos de control topográfico utilizados para el correcto levantamiento de las dimensiones de

	un área de interés.
Resiliencia	Índice de resistencia al choque de un material; capacidad elástica de un material para absorber energía durante un choque.
Riodacítico	Roca ígnea efusiva con propiedades intermedias entre la riolita y la dacita.
Rmr (rock mass rating)	Es un sistema de clasificación geomecánica desarrollada por Bieniawski, con objeto de calificar un macizo rocoso de acuerdo con sus características de resistencia, fracturamiento y agua presente.
Rotor	Parte móvil rotatoria de un generador eléctrico necesaria para formar el campo electromagnético.
Sección de gravedad	En ingeniería de presas son las obras de contención cuya estabilidad depende fundamentalmente de su peso.
Sedimentos margosos	Depósitos marinos o lacustres de material clástico calcáreo.
Sericita	Mica producto del hidrotermalismo en un mineral de moscovita.
Serpentines	Tubos en línea espiral, helicoidal o acodado cierto número de veces, que se utiliza para calefacción o

enfriamiento.

Socavón	Cueva o túnel excavado en la ladera de un cerro o monte, con fines de exploración y/o explotación de materiales.
Tajo de desvío	Obra de desvío que consiste en un canal a cielo abierto.
Teclé	Polipasto simple o de pasos múltiples (del inglés tackle).
Tectónica de distensión	Mecanismo de movimiento de placas constituyentes de la corteza terrestre en el cual son fuerzas distensivas las responsables del movimiento.
Tectónica regional	Mecanismo de movimiento de placas constituyentes de la corteza terrestre a nivel regional.
Terciario	Correspondiente también a la era cenozoica de 65 a 1.64 millones de años de antigüedad.
Tirfor	Polipasto portátil, multiplicador de fuerza.
Tuberías a presión	Tuberías por las que se conduce el agua del embalse a la turbina hidráulica, generalmente son de acero y se

diseñan de acuerdo con la carga hidráulica y velocidad de turbina.

Turmanilización

Proceso de generación de turmalina, mineral accesorio común en rocas eruptivas y metamórficas, de la familia de los silicatos.

**Unidades
turbogeneradoras**

Arreglo de turbinas conectadas a generadores eléctricos para la producción de energía.

Vitrocristalina (toba)

Textura que presenta ambas texturas vítrea y cristalina debido a la velocidad de enfriamiento interrumpida del magma.

8. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- 1 . Comisión Nacional del Agua. Presa y Central Hidroeléctrica "Luis Donaldo Colosio Murrieta" (Huites). Memoria Técnica (1992-1995). Tomo 1. México, sept. 1997.
2. Comisión Nacional del Agua. Presa y Central Hidroeléctrica "Luis Donaldo Colosio Murrieta" (Huites). Memoria Técnica (1992-1995). Tomo 2. México, sept. 1997.
3. Leet L. y Judson S. Fundamentos de Geología Física.Ed. Limusa. México 1975.
4. CFE. (1982). Geología y geotecnia del proyecto Hidroeléctrico Huites, municipio de Choix, Sinaloa, mayo, archivo general, CFE, México.
5. CFE Reporte interno. Minuta del 9 de octubre de 1998.Inspección conjunta CNA-CFE.
6. CFE Reporte interno. Inspección por derrumbe sobre tuberías a presión C.H. LDCM. 14 de enero de 2005.
7. CFE Reporte interno. Inspección de caídos de rocas en los caminos de acceso C.H. LDCM. 8 de septiembre de 2008.
8. CFE Reporte interno. Caídos de roca en Subestación C.H. LDCM. 18 de septiembre de 2009.
9. CFE Reporte interno. Caídos de roca en Subestación C.H. LDCM. 23 de julio de 2010.

10. CFE Reporte interno. Caídos de roca en caminos de acceso. C.H. LDCM. 24 de junio de 2010.
11. CFE Archivo General. Planos del proyecto Huites, C.H. LDCM. Recopilación 9 de noviembre de 2012.
12. CFE Subdirección de Generación. Nota informativa al Ing. Arturo Hernández Álvarez C.H. LDCMHuites, Sin. 20 de junio de 2001.
13. CFE Subdirección de Generación. Informe interno Unidad de Administración de Finanzas. C.H. LDCM Huites, Sin. Activo Fijo por Centro de Costo. Noviembre de 2012.
14. CFE. "Luis Donaldo Colosio Murrieta" Presa Huites, Sin. Informe 01-16-SGM/R. Recomendaciones de Estabilización del Bloque de roca no. 1. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Subdirección Técnica. Febrero de 2001.
15. CFE. "Luis Donaldo Colosio Murrieta" Presa Huites, Sin. Informe 01-17-SGM/R. Retenidas o barreras metálicas de protección a instalaciones de CFE por caídos de roca del domo granítico. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Subdirección Técnica. Febrero de 2001.
16. Valerio Chimal Leopoldo. "Barreras dinámicas a base de materiales convencionales para el control de caídos de rocas" Tesis de licenciatura, Facultad de Ingeniería UNAM, dic/2102.
17. CFE. "Luis Donaldo Colosio Murrieta" Presa Huites, Sin. Informe 01-55-SGM/R. Resultados de las mediciones de vibraciones del terreno, ocasionadas por equipos de perforación neumática. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Subdirección Técnica. Mayo de 2001.
18. CFE. "Luis Donaldo Colosio Murrieta" Presa Huites, Sin. Informe 10-107-SGM/R. Estabilización del bloque 2. Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil. Subdirección Técnica. Febrero de 2011.
19. Alberro Aramburu Jesús. Comunicación personal. Instituto de Ingeniería UNAM. México D.F. 1987.

20. Mottana A., Crespi R., Liborio G. Guía de Minerales y Rocas. Ediciones Grijalbo. España. 1980.

21. Williams H., Turner F., Gilbert Ch. Petrografía. Compañía Editorial S.A. México D.F. 1968.

22. Huang W. Petrología. Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. México D.F. 1968.

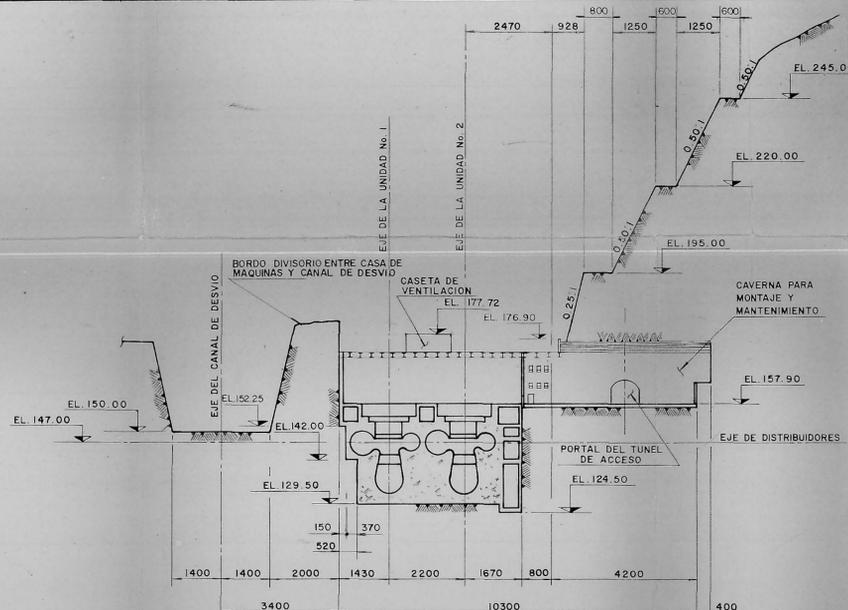
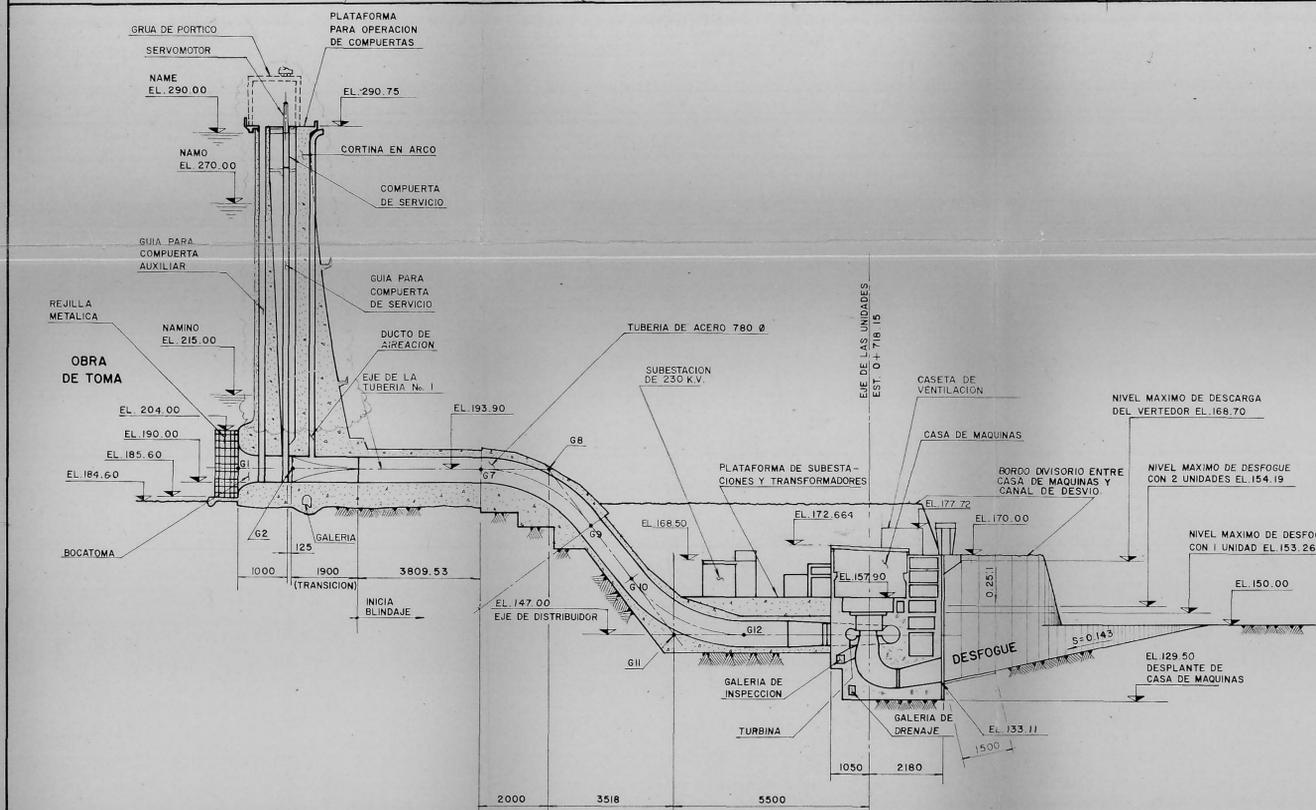
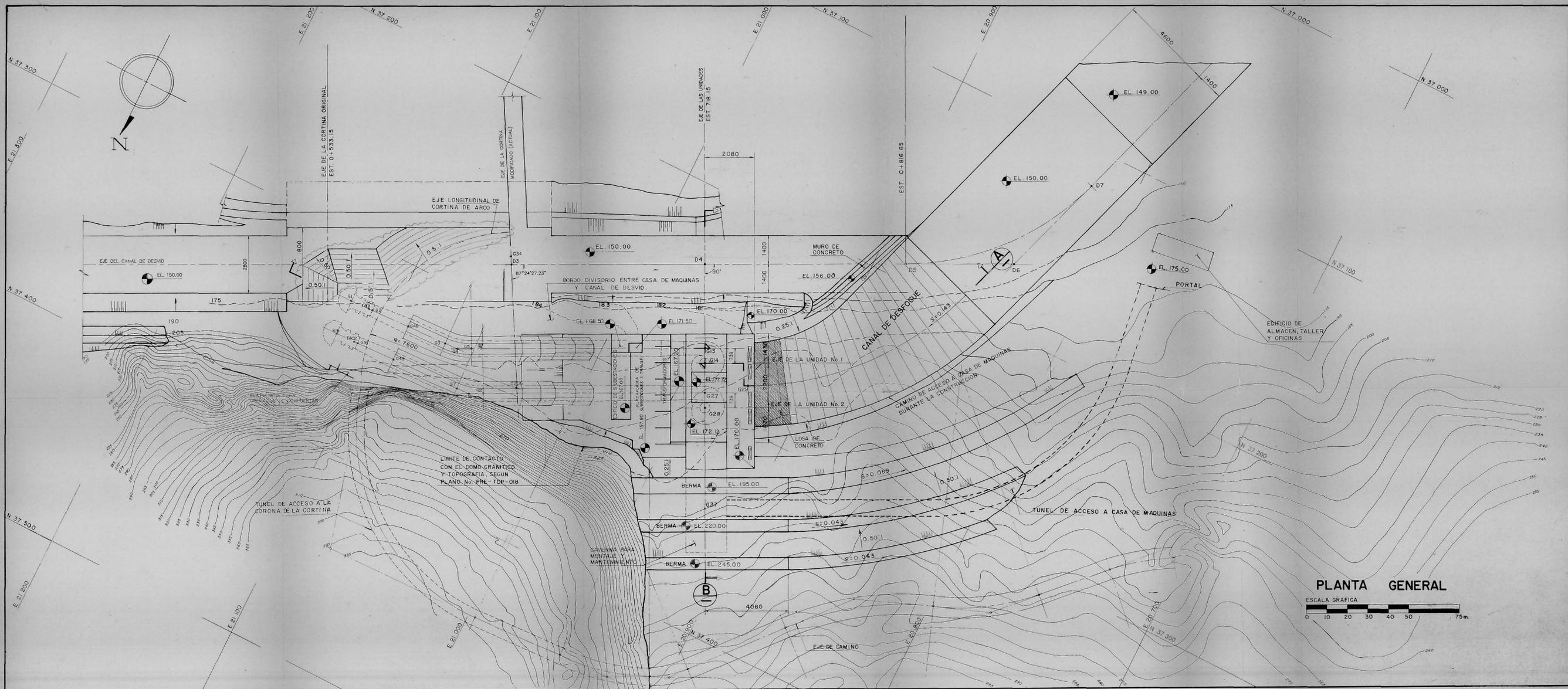
9. ANEXOS

- PLANTA GENERAL PROYECTO C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA Y PRESA HUITES.
- PLANO DE PLANTAS CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA
- PLANO DE CORTES CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO COLOSIO MURRIETA

PLANTA GENERAL PROYECTO C.H. LUIS DONALDO COLOSIO
MURRIETA Y PRESA HUITES

PLANO DE PLANTAS CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO
COLOSIO MURRIETA

PLANO DE CORTES CASA DE MÁQUINAS C.H. LUIS DONALDO
COLOSIO MURRIETA



NOTAS:

- 1- ACOTACIONES EN CENTIMETROS EN METROS
- 2- COORDENADAS, ELEVACIONES Y ESTACIONES DEL PROYECTO VER PLANO DE EJES NO. H-PG-005
- 3- PARA COORDENADAS DE LOS PUNTOS PRINCIPALES DEL PROYECTO VER PLANO DE EJES NO. H-PG-005
- 4- LAS ESTACIONES ESTAN REFERIDAS AL EJE DEL CANAL DE DESVIO

ESTE PLANO SUSTITUYE AL DE LA MISMA CLASIFICACION, DE FECHA 20-MAYO-93

DEFINIDA POR OTROS

PLANOS DE REFERENCIA	
No.	DESCRIPCION
H-PG-005	PLANO DE EJES
H-PG-006	TUBERIA DE PRESION

H CONSORCIO MEXICANO CONSTRUCTOR DE HUITES

COMISION NACIONAL DEL AGUA
DIRECCION DEL PROYECTO HUITES

Revisor: ING. A.T.B.
Aprobado: ING. G.M.O.

3	28 FEB 95	REVISION GENERAL	ING. A.T.B.	ING. G.M.O.
2	16 MAY 94	REVISION GENERAL	ING. A.T.B.	ING. G.M.O.
1	15 EN 94	REVISION GENERAL	ING. A.T.B.	ING. G.M.O.
FECHA	MODIFICACIONES	EJECUTE	REVISO	APROBO

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
SUBDIRECCION DE CONSTRUCCION
COORDINACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES SIN.

CONJUNTO: PLANOS GENERALES
ESCALA: 1:750
FECHA DE EMISION: 3-AG-93
REVISION DE C.F.E.: 3-AG-93
REVISION DE C.F.E.: 3-AG-93
REVISION DE C.F.E.: 3-AG-93

REVISOR: ING. A.T.B.
APROBADO: ING. G.M.O.

CLASIFICACION: H-PG-001
34.10/4B-14-91332

10027