GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES, MPIO. DE CHOIX, SINALOA

Leovigildo Cepeda Dávila, *
Jorge Hernández Samayoa, *
José Luis Valencia Cruz *
y Jaime R. Vallarino Guzmán*

* Unidad de Estudios de Ingeniería Civil. Comisión Federal de Electricidad.

RESUMEN

La Presa de Huites generará 888 GWH de energía al año, abrirá al riego 46,400 hectáreas y mejorará el rendimiento de las 242,000 que forman el sistema de las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez.
La columna estratigráfica del área está constituida por filitas, esquistos y anfibolitas atribuidas al Paleozoico, meta–volcánicos del Jurásico, calizas del Jurásico–Cretácico sin metamorfosear o con diversos grados de metamorfismo, metasedimentos detríticos del Cretácico Tardío, granitos y granodioritas del Cretácico Tardío–Paleoceno que afectaron a las rocas anteriores, areniscas y conglomerados rojos, secuencia ignimbrítica, areniscas y conglomerados abigarrados del Terciario y, finalmente, basaltos, diques y diquestratos doleríticos y andesíticos, así como depósitos de talud y aluvión del Cuaternario. En el área de la boquilla afloran el granito, el hornfels o corneana (meta–volcánicos y meta–sedimentos detríticos), las ignimbritas, las doleritas y los depósitos eluviales y aluviales.

Tectónicamente, el sitio 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. Se han definido dos rumbos predominantes de fracturamiento: NW–SE (coincidente con el fallamiento regional) y NE–SW, que suele manifestarse como fallas normales casi verticales y fallas inversas de inclinación similar.
Geotécnicamente, es posible la construcción de la Presa de Huites, con cualquiera de las dos soluciones propuestas por Ingeniería Civil: cortina de materiales graduados y cortina de concreto. El sitio escogido para la boquilla, aún siendo una zona afallada, no representa mayor riesgo estructural para las filtraciones o la estabilidad de las obras y lo mismo se puede decir con respecto al vaso.

ABSTRACT

The Huites dam will generate 888 GWH per year, it will open 464 km^2 to irrigation and improve the efficiency of the 2,420 km^2 that constitutes the Miguel Hidalgo and Josefa Ortiz de Domínguez dam system.
The stratigraphic column is made up of phyllites, schists and amphibolites of possible Paleozoic age, Jurassic metavolcanics, metamorphosed and nonmetamorphosed Jurassic–Cretaceous limestone, Late Cretaceus detritic metasediments, Late Cretaceous–Paleocene granites and granodiorites that affected the rocks previously mentioned, tertiary red sandstones and conglomerates, ignimbrite sequence and variegated sandstones and conglomerates, and Quaternary basalts, dolerite and andesite sills and dikes, piedmont sediments and alluvium. Granite, hornfels (metavolcanics and metadetrital sediments), ignimbrites, dolerites, eluvial and alluvial deposits are exposed in the dam site.
Tectonically, the site shows evidence of distensive stresses that combined with the joints, results in a block faulting that affects the whole stratigraphic column. Two prevailing fracture patterns have been defined: NW–SE (in accordance with regional faulting) and NE–SW, that usually shows as subvertical normal faults and inverse faults with similar inclination.
From the geotechnical point of view, the Huites dam is feasible with any of the two proposed schemes: a zoned–earth fill dam or a concrete gravity dam. Even though the site is faulted it does not represents high structural risk for the stability of dam itself and the slopes; it is considered that the risk of piping through the discontinuities is minimal.

INTRODUCCION

El Proyecto Hidroeléctrico Huites se encuentra localizado en la parte noreste del Estado de Sinaloa, cerca de los límites con los estados de Chihuahua y Sonora (Figura 1).

El objetivo de este proyecto es conocer las condiciones geotécnicas a que estará sujeta la construcción de una presa sobre el Río Fuerte, y que generará 888 GWH de energía al año. A la vez abrirá al riego 46,400 hectáreas y mejorará el rendimiento de las 242,000 que forman el sistema de las presas Miguel Hidalgo y Josefa Ortiz de Domínguez, sin olvidar los demás beneficios interrelacionados que lleva una presa a la región.

Desde 1960 se iniciaron los estudios del sitio por la Comisión Federal de Electricidad. Los informes de García Herrera y Díaz Cabral (1962) y Ramírez Gutiérrez y García Herrera (1963) constituyen el resultado de los estudios efectuados en aquella época, lo que definió la geología general del sitio y fue el inicio de las exploraciones subterráneas en el área de la boquilla.

A partir de entonces hubo actividad esporádica en el proyecto, hasta mayo de 1979, fecha en que se inició una exploración exhaustiva y cuyos primeros resultados se consignan en los trabajos de García y Barragán y colaboradores (1979 y 1980), Maya González y colaboradores (1980), y Hernández Samayoa (1981), así como en el informe final de Cepeda Dávila *et al* (1982).
Los trabajos de exploración consistieron en estudios de geología regional en el vaso y estudios de geología superficial detallada del área de la boquilla, acompañados de geología del subsuelo, para lo cual se contó con la perforación de 32 sondeos y la excavación de 11 socavones que hicieron un total de 3,126 y 2,055 m, respectivamente; se contó también con apoyo geofísico (alrededor de 20,000 m de líneas levantadas), utilizándose métodos de prospección geoeléctrica con arreglo tetrapolar Schlumberger, prospección sísmica de refracción y microsísmica; para bancos de materiales se emplearon métodos geológicos superficiales, sísmica de refracción y excavaciones someras.
Con esta información general, Electronsult (ELC) procedió a realizar el primer diseño de las alternativas para la presa y la evaluación de las mismas.
Las soluciones propuestas fueron:

- Cortina de concreto en arco.
- Cortina de materiales graduados.

Después de su evaluación económica y geotécnica preliminar se escogió la segunda como la más conveniente, y en junio de 1981 ELC presentó el anteproyecto final del aprovechamiento de Huites en base a una solución con cortina de material graduado y NAMO a 283 msnm.

GEOLOGIA

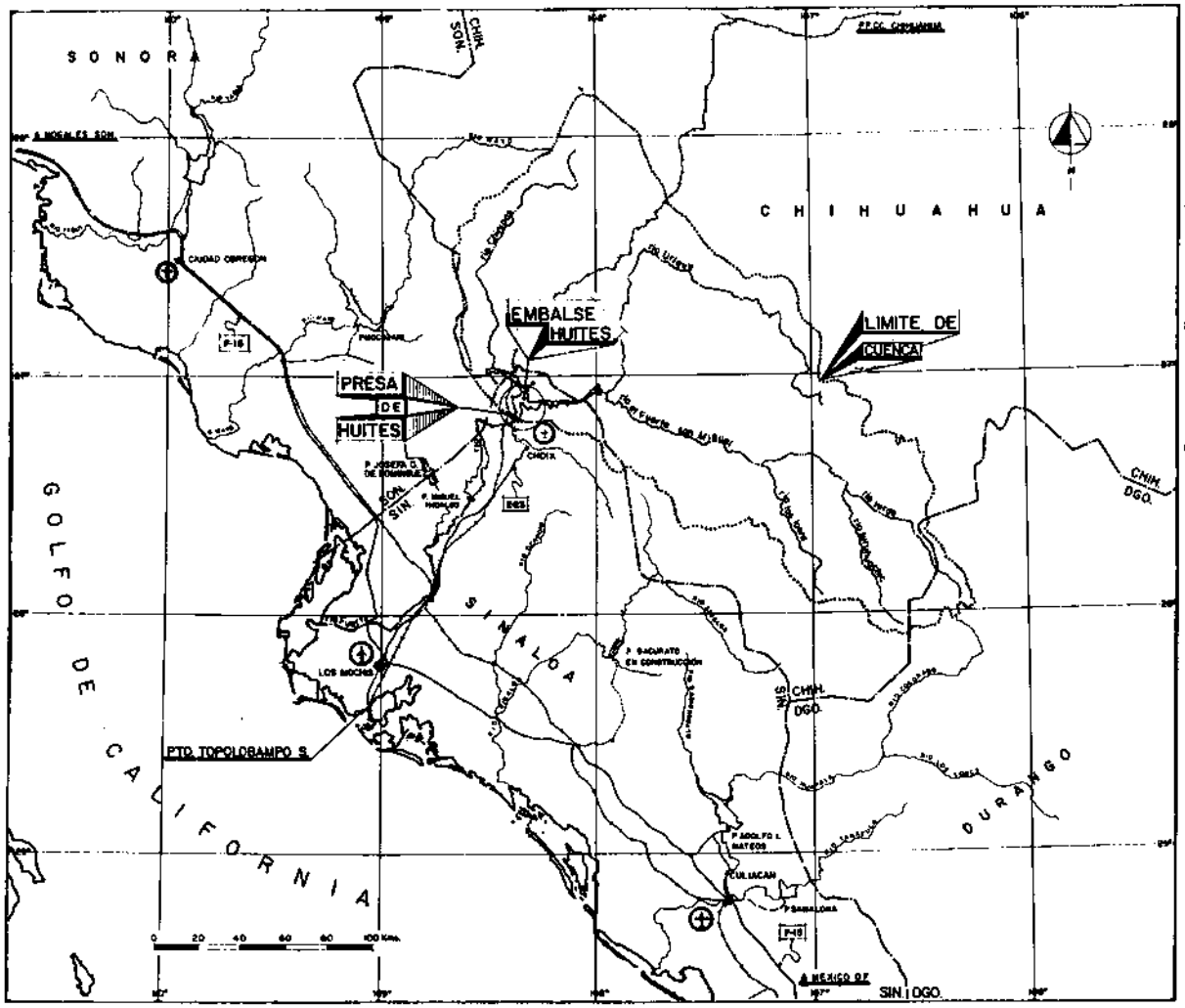
Marco Estratigráfico Regional

Entre los escasos trabajos de geología regional que incluyen el área estudiada son dignos de mención los realizados por King (1939), Clark (1976) y el Instituto de Geología de la U.N.A.M. (Rodríguez–Torres y Córdoba, 1977) quienes reconocieron y dieron nombre a las diferentes unidades que caracterizan al Estado de Sinaloa y partes de los de Sonora y Chihuahua.

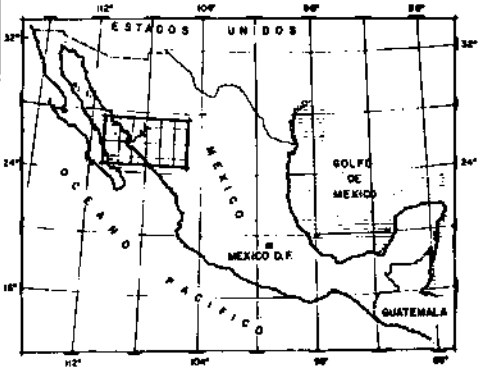
a) *Precámbrico y Paleozoico.*– Jacques–Ayala (1975) señala que en el Estado de Sinaloa existen rocas metamórficas constituidas por gneises de moscovita y biotita, cuyas edades radiométricas indican que son del Paleozoico pero, citando a Fredrikson (1974), considera que han sufrido un fenómeno de diaftóresis y tal vez pudieran situarse hasta en el Precámbrico. Otras muestras similares tienen edades radiométricas que oscilan entre el Cretácico Superior y Mioceno y que señalarían el último evento del metamorfismo pero que quizá se formaron en el Paleozoico.

En las áreas de San José de Gracia y Culiacán, Malpica Cruz (1972) determinó, por la presencia de fósiles, que los sedimentos clásticos carbonatados marinos asociados a rocas metamórficas de bajo grado tienen una edad comprendida entre el Misisípico Superior y Pensilvánico Inferior.
Al S y SW de la Presa Miguel Hidalgo, al norte de El Fuerte, en la carretera que va de este poblado a Choix y en el camino El Fuerte–Chinobampo afloran rocas agrupadas por Rodríguez–Torres y Córdoba (*op. cit.*) en lo que denominaron "Unidad Paleozoica, Sedimentaria"; consisten en esquistos, pizarras, cuarcitas, calizas recristalizadas, pedernal y otras rocas arcillo–arenosas que afloran formando lomeríos bajos y redondeados, es decir, se trata de una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Paleozoico que presentan varios tipos de metamorfismo regional de bajo grado.

b) *Mesozoico.*– En el Estado de Sonora, King (*op. cit.*) describe la Formación Barranca del Triásico Superior–Jurásico, constituida por areniscas con lutitas y calizas marinas que varían hacia el este a rocas clásticas con materia carbonosa.



LOCALIZACION



CARRETERA FEDERAL
CARRETERA ESTATAL
CARRETERA MUNICIPAL
FERROCARRIL
AEROPUERTO NACIONAL
AEROPUERTO LOCAL
PISTA DE ATERRIZAJE

FIGURA I PLANO DE LOCALIZACION

En el Estado de Sinaloa Rodríguez Torres y Córdoba (*op, cit.*) han descrito una "Unidad Mesozoica, Metamórfica" caracterizada por una secuencia de rocas volcánicas básicas a ácidas interestratificadas con sus piroclásticos y afectadas por metamorfismo de contacto, dando como resultado corneanas de albita–epidota que se pueden observar en el camino que va de Hornillos a La Calera y el de Chinobampo a El Frijol. No se pudo determinar su edad exacta, pero por relaciones del campo dichos autores piensan que estaría comprendida entre el Permo-Triásico y Cretácico Temprano.

En el área de Pericos, Sinaloa, Bonneau (1971) describe una secuencia de calizas fosilíferas, cuya fauna (*Chondrodonta* sp., *Sphaerucaprina* sp., *Orthoptychus* sp. y *Nerinea* sp.) permite asignarla al Albiano–Cenomaniano, debajo de la cual se observan grauvacas y andesitas, estas últimas con metamorfismo de contacto débil que las transformó en corneanas de albita–epidota–actinolita, por lo que se podrían correlacionar con la parte superior de la Unidad Mesozoica Metamórfica.

King (*op. cit.*) ha definido las formaciones El Palmar y Potrero a las que su contenido faunístico permite asignarlas al Albiano. La primera consiste de areniscas, conglomerados, calizas con *Phylloceras* sp. y lutitas, y la segunda está constituida por litologías muy variadas que incluyen conglomerados, aglomerados, calizas, lutitas, areniscas, margas, derrames y mantos andesíticos. Las relaciones estratigráficas entre ambas formaciones no son claras por que cuando aparecen juntas están afectadas por cabalgaduras.

Rodríguez–Torres y Córdoba (*op. cit.*) reconocen una "Unidad Cretácica" en el Estado de Sinaloa, que consiste básicamente en rocas calcáreas que afloran al oriente de El Fuerte, en el valle del Río Choix, al este de la población del mismo nombre y al norte del Río Reforma, en los límites entre Sinaloa y Chihuahua. Cerca de sus contactos con el granito laramídico del área se presenta fallada, brechada y recristalizada, o bien, transformada a skarns o tactitas. En las áreas mineras de Lluvia de Oro y La Reforma se han identificado fósiles del Jurásico y Cretácico en estas rocas y, en las cercanías de El Fuerte, Roldán Quintana (1971) encontró fósiles del Cretácico.

Hacia fines del Cretácico King (*op. cit.*) señala el inicio de un periodo de actividad volcánica que se continuaría, en forma intermitente, hasta el Terciario Superior y cuyos productos descansan en forma discordante sobre las rocas sedimentarias anteriormente mencionadas. Está compuesto por derrames andesíticos con intercalaciones de areniscas, conglomerados y lutitas que, en las zonas próximas a los cuerpos intrusivos laramídicos, presenta metamorfismo de contacto.

c) *Cenozoico.*— En esta era continúa el vulcanismo iniciado en el Cretácico Superior. La composición de las rocas es heterogénea, por lo que Rodríguez–Torres y Córdoba (*op. cit.*) pudieron distinguir varias unidades:

Terciaria Inferior Básica, constituida por derrames y tobas andesíticas; 2. Terciaria Inferior Acida, por riolitas, tobas y areniscas; 3. Terciaria Media Vulcanoclástica, por rocas híbridas; 4. Terciaria Media Volcánica, por riolitas, traquitas y sus respectivas tobas; 5. Terciaria Superior Acida, consistente en lavas y piroclásticos riolíticos; 6. Terciaria Clástica, constituida por limos, areniscas, areniscas tobáceas y conglomerados; 7. Terciaria Superior Básica, por brechas y derrames basálticos, y 8. Unidad Terciaria Pliocénica Paleodeltáica, caracterizada por sedimentos clásticos gruesos a finos depositados en deltas.

De las mencionadas unidades las dos primeras presentan alteraciones hidrotermales, mineralizaciones y deformaciones por esfuerzos de compresión provocadas por la acción de cuerpos intrusivos incluidos dentro de la "Unidad Intrusiva Acida". Esta se halla constituida por rocas de composición ácida e intermedia, de naturaleza granítica, granodiorítica y monzonítica que afloran en un área de considerable extensión formando parte del batolito de Sonora, Sinaloa.

El intrusivo tiene un alargamiento nor–noroeste, cubriendo un área de 2,000 km^2, infiriéndose también las áreas en donde se encuentra cubierto por derrames basálticos y rocas sedimentarias.
Por lo común, esta roca contiene xenolitos de rocas intermedias a básicas y está cortada por diques pegmatíticos, aplíticos y doleríticos.

La edad del intrusivo del área, obtenida por el método K–Ar, varía entre 75 y 56 millones de años. La primera fue reportada por De Cserna *et. al.* (1962) en un tronco cuarzomonzonítico localizado al sur de la Presa Miguel Hidalgo. Damon (1975) obtuvo este lapso para rocas colectadas en el área de Choix. En consecuencia, la edad del batolito para esta región es laramídica y oscila entre Cretácico Superior y Paleoceno.

Posteriormente al emplazamiento del Intrusivo Aci-

do, se produjo una serie de intrusiones hipabisales, primero de composición riolítica y asociadas con el vulcanismo ignimbrítico, y depués de composición doleŕitica y basáltico–andesítica, relacionadas con el vulcanismo basáltico.

En resumen, se puede decir que la actividad volcánica cenozoica principia con rocas de composición andesítica, seguida por un periodo erosivo con actividad volcánica ácida; posteriormente, por otro periodo erosivo con eyecciones de rocas básicas.

En la Hoja Huites, editada por el Instituto de Geología de la UNAM (1977) se distinguen dos unidades cuaternarias denominadas por Rodríguez–Torres y Córdoba (*op. cit.*) como "Unidad Cuaternaria Pleistocena, Clástica" y "Unidad Cuaternaria Reciente, Llanuras de Inundación". La primera consiste en depósitos conglomeráticos de talud y abanicos aluviales, así como gravas que se localizan en ambas márgenes del Río Fuerte constituyendo terrazas bien formadas. En la segunda, se tiene limos y arcillas areno–limosas, mientras que las gravas aparecen en los lechos de los canales fluviales y esporádicamente en las llanuras de inundación.

Estratigrafía del Embalse (Figuras 2A y B)

El estudio geológico del embalse se llevó a cabo en forma preliminar desde la boquilla de Huites, por ambas márgenes del Río Fuerte, hasta unos 2 km antes dc su confluencia con el Río Urique, precisamente en el área donde se ubicará el P.H. Tubares o Urique. También se cubrió la porción inferior del Río Chínipas, desde 5 km antes de su confluencia con el Río Septentrión (área del Puente de Palo Dulce del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico) hasta su unión con el Río Fuerte, incluyendo además los cursos inferiores de tres de los afluentes del Río Chínipas (Río Septentrión y arroyos El Palmar y Las Juntas).
La región incluye varias unidades litológicas que mencionadas en orden de abundancia decreciente, son las siguientes: granitos, ignimbritas riolíticas, corneana (metavolcánicas y metareniscas), calizas y metacalizas, areniscas y conglomerados de origen mixto, basaltos y diques doleríticos, anfibolitas y esquistos. De éstas, sólo las tres primeras, los basaltos y diques afloran en el área de la boquilla.
A continuación se presenta la columna estratigráfica para el embalse de Huites (Fig. 3):

PERIODO	EPOCA	LITOLOGIA	SIMBOLOGIA EMPLEADA
CUATERNARIO	Reciente	Depósito de talud y aluvión	Qa
	Reciente–Pleistoceno	Basaltos y diques doleríticos y andesíticos	Qb
	Plioceno	Areniscas y conglomerados abigarrados, conglomerados graníticos y brechas rojizas.	Tpac
	Mioceno y Oligoceno	Ignimbritas riolíticas y riodacíticas	Tmt
TERCIARIO	Oligoceno	Areniscas y conglomerados rojos	Toac
	Paleoceno y Cretácico Tardío	Granito, granodioritas y tonalitas (Batolito de Sonora–Sinaloa)	Ksgr
CRETACICO	Cretácico Temprano	Meta–areniscas y meta–conglomerados verdes (Hornfels)	Kima
		Calizas parcialmente transformadas a mármoles y skarns con horizontes de meta–tobas y meta–areniscas	Kimc
JURASICO		Meta–andesitas y meta–traquitas (Hornfels)	Jmv
PELEOZOICO (?)		Anfibolitas	Pmet

Figura 3.– Columna estratigráfica de la región del vaso de Huites

a) *Anfibolitas.*— Estas rocas tienen afloramientos muy restringidos, localizándose el mayor de ellos en una faja de 3 km de longitud por 0.5 km de anchura, comprendida entre las estaciones Los Pozos y Luis Covarrubias del Ferrocarril Chihuahua—Pacífico.

Se trata de rocas de color gris verdoso oscuro a verde grisáceo y crema, con esquistosidad bien desarrollada permitiendo que, en lo que a compacidad se refiere, se desarrollen porciones compactas o deleznables; asimismo, presentan abundantes vetillas de cuarzo.
Las anfibolitas tienen la típica textura lepidoblástica y están constituidas esencialmente, como su nombre lo indica, por cristales de hornblenda y plagioclasas cuya composición varía de oligoclasa a albita, lo que las coloca en la Facies Anfibolita de Albita—Epidota. Como minerales accesorios contienen biotita, cuarzo, esfena, apatita y magnetita y como secundarios clorita, epidota y sericita.
La unidad se encuentra como un colgante o flotado encima del granito y afectada por apófisis de éste, por lo que le es anterior, si bien 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, pues al microscopio no fue posible observar algún rasgo textural o mineralógico que permitiera despejar la indeterminación.
Las rocas metamórficas regionales más cercanas que se pueden correlacionar con este afloramiento constituyen una faja en forma de medio círculo de 3 km de radio, alrededor de las márgenes SW y S de la Presa Miguel Hidalgo, compuesta de pizarras, filitas y esquistos de bajo grado, a las que Rodríguez Torres y Córdoba (1977) asignan a su "Unidad Paleozoica Sedimentaria". Al no contar con más datos regionales, las anfibolitas y esquistos se pueden asignar tentativamente al Paleozoico, pero también podrían corresponder al Complejo Sonobari del Precámbrico, de De Cserna y Kent (1961).

b) *Meta—andesitas, meta—dacitas y meta—traquitas.*— En el embalse los límites de sus afloramientos con las rocas adyacentes son bastante confusos pero con frecuencia se observan fragmentos de ellas en las meta—areniscas y meta—conglomerados, que por tal razón, les son posteriores.

Son rocas 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, a veces con cuarzo o feldespato alcalino y trazas de máficos alterados a clorita o hematita; otros minerales de alteración son las arcillas.
Al microscopio la textura es porfídica en matriz microlítica y amigdaloidal. Los fenocristales son de piroxenos cloritizados. Como minerales accesorios, además de piroxenos, se observan esfena y magnetita. Abundantes son los minerales de alteración, la típica asociación clorita—epidota—actinolita de la Facies Corneana de Albita—Epidota, que señalan un metamorfismo de contacto de baja intensidad. Además, las vesículas están rellenas de clorita.
Solano—Rico y colegas (1980) señalan la presencia de estas rocas en el área del prospecto minero de Santa Anita al noreste de Choix, en la margen izquierda del Río Fuerte (26° 53' N y 1 08° 09' W) y las agrupan en una unidad informal a la que denominan "Unidad Río Fuerte".
Lozano—Chávez (1980) describe esta unidad como constituida por tobas andesíticas y traquiandesíticas verdes oscuras, de grano fino a medio, con escasos horizontes delgados de tobas verdes claras; presenta cambios de facies a andesitas y aglomerados o brechas andesíticas en las áreas de Santo Tomás y Brasiles y muestra un metamorfismo regional débil. Su espesor medido es de 120 m en esas áreas, pero en otras regiones es de por lo menos 1,000 m; su parte inferior está invadida por el intrusivo granítico. Dicho autor correlaciona estas rocas con la Unidad Metavolcánica Mesozoica de Clark (1976), y por hallarse debajo de las calizas jurásico—cretácicas deben haberse formado cuando menos durante el Jurásico Temprano, o tal vez, en el Triásico.

c) *Calizas.*— 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 rocas grises claras u oscuras que intemperizan en tonos pardos claros y ocres; su aspecto es masivo y moderadamente fracturado, aunque las fracturas verticales llegan a sobrepasar los 25 m de longitud; han sufrido los efectos de metamorfismo de contacto provocado por la intrusión granítica laramídica y en su mayor parte están marmorizadas.

En el área de la Mina La Reforma, Jacques—Ayala (1975) distingue dos tipos de rocas calcáreas metamorfoseadas: mármoles y tactitas (skarns). Los mármoles son blancos, intemperizan en gris oscuro y están compuestos fundamentalmente por calcita de grano grueso, a veces con granate grosularia; su composición señala una caliza original bastante pura o ligeramente arcillosa. Las tactitas son ver-

des, en ocasiones con bandas de diferentes tomos de este color y su grano es fino; están formadas por diópsido, pistachita, brucita y calcita, a veces con granate y escapolita, lo que las coloca en la Facies Corneana de Piroxeno, característica de altas temperaturas (mayores de 600° C); esta mineralogía sugiere que la roca original era una caliza o dolomía impura. El rumbo general de los estratos gruesos de calizas en esta área es N 60° W, con inclinaciones entre 20° y 40° al NE.

y Cu, se encuentran alojados en el contacto de estas rocas calcáreas y las corneanas (meta–dacitas y meta–andesitas) que presentan un grado más bajo de metamorfismo; a estas últimas, el autor mencionado las asigna al Terciario Inferior Acido de Rodríguez–Torres y Córdoba (*op. cit.*).

Estos autores basándose en los trabajos de Burrows (1907, 1908) y King (1939), señalan la presencia de *Belemnites* y *Rhynchonella lacunosa* (Castillo y Aguilera), fósiles del Jurásico, en el distrito minero de Lluvia de Oro, pero también otros fósiles del Cretácico Inferior en la Mina la Reforma, localizada en ese distrito. Por tanto, la edad de las calizas es del Jurásico–Cretácico.

Lozano–Chávez (*op. cit.*) y Solano–Rico y colegas (*op. cit.*) consideran dos periodos de depósito de las rocas calcáreas del área de la Mina Santa Anita, separadas por un cuerpo de grauvacas y subgrauvacas feldespáticas (Unidad Lo de Castro) de 5 a 50 m de espesor y tobas ácidas con horizontes de areniscas feldespáticas (miembro inferior de la Unidad Santa Anita).

La Unidad Santo Tomás consiste en calizas masivas, localmente arcillosas, con un espesor promedio de 65 m, que afloran en el área del prospecto minero del mismo nombre.

La Unidad Santa Anita, que es donde se encuentran emplazados los cuerpos mineralizados de zinc, con plomo, cobre y un poco de plata, consiste en rocas calcáreas interestratificadas con tobas ácidas y areniscas que afloran en el cerro de Santa Anita, con un espesor de 190 m.

d) *Meta–areniscas y meta–conglomerados verdes.*– De acuerdo con Lozano–Chávez (*op. cit.*) su mejor exposición se encuentra en el área Brasiles, a 5 km al norponiente de Santa Anita, razón por la cual se le ha denominado informalmente como Unidad Brasiles.

Consiste en grauvacas y subgrauvacas líticas de grano fino a medio, de color verde olivo, con horizontes de conglomerados polimícticos hacia su base. Toda la unidad muestra una intensa propilitización con desarrollo de epidota, clorita y pirita diseminada, que le imparten su color característico. Su espesor no se ha medido con exactitud por estar en gran parte erosionada, pero se considera que es 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 laramídico, su edad correspondería a la cima del Cretácico Inferior.

e) *Corneana u hornfels.*– Las rocas volcánicas, piroclásticas y sedimentarias detríticas anteriores fueron transformadas a corneana u hornfels por la acción metamórfica del batolito granítico que predomina en el área. Cuando no fue posible distinguirlas megascópicamente, se les agrupó con este nombre. Las rocas calcáreas se transformaron a mármoles y skarns o tactitas, como ya se estableció.

Es una unidad de colores gris oscuro o verdoso, pardo y rojizo, de aspecto brechoide, porfídico o afanítico, con fracturamiento variable. Su composición es también variable.

Hacia su base, la corneana posee una estructura brechoide, con fragmentos de calizas, areniscas, andesitas, dacitas y riodacitas; su matriz es de grano fino a mediano con alteración moderada a intensa y consiste en clorita, epidota, calcita, arcillas y hematita.

En su porción media se observa una estructura más compacta, poco fracturada, con textura porfídica en matriz afanítica y silicificación frecuente, lo que confiere a la roca mayor solidez. En sus escasas fracturas los planos están completamente hematizados, llegándose a manifestar algo de pirita.

La porción superior tiene un color gris verdoso, de textura arenosa o piroclástica, en ocasiones ligeramente brechoide. Los fragmentos de roca están muy argilitizados y cloritizados, haciéndose difícil la distinción entre esta porción y la intermedia, es decir, se trata de un cambio transicional muy sutil.

La corneana presenta varios tipos de alteración: hematización y argilitización que le dan a la roca menos resistencia, propilitización que no la afecta y silicificación y turmalinización que la vuelven más dura y resistente al intemperismo.

Los estudios al microscopio polarizante señalan que las rocas originales fueron una secuencia volcanosedimentaria, consistente en andesitas, dacitas, riodacitas, areniscas y brechas polimícticas que, posteriormente, fueron modificadas por los efectos metamórficos de contacto generados por la intrusión del granito.

f) *Granito.*— Esta unidad pertenece al evento magmático conocido como Batolito de Sonora—Sinaloa, el cual marca en el noroeste del país el final de la Revolución Laramide. Aflora en gran parte del norte de Sinaloa, siendo especialmente abundante en el vaso de Huites, 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, presentando un buen grado de compacidad en sus partes más profundas, mientras que en superficie se desarrolla un fracturamiento en dos sentidos que forman un ángulo casi recto y 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.
Sus minerales primarios son los feldespatos potásicos y plagioclasas sódicas en proporciones variables, cuarzo, biotita, hornblenda, esfena, magnetita, apatita y zircón. Los minerales de alteración son principalmente arcillas que afectan en parte a todos los feldespatos, clorita que afecta a micas y anfíboles, y hematita, como oxidación de los máficos; se observan a veces también vetillas de cuarzo, calcita y rodonita.
La alteración más importante en el granito es la argilitización que da por resultado que la roca se vuelva deleznable; la propilitización se encuentra diseminada; la turmalina aparece en manchones y vetillas y la hematita confiere a la roca una coloración rojiza.
Yáñez (1976) señala la determinación de edades a dos muestras de granodiorita en el área de La Reforma y Choix, que varían entre 55.8 y 58.6 m.a., la que las coloca dentro del Paleoceno. Estas determinaciones coinciden con las realizadas para C.F.E. en los Laboratorios Geochron de Cambridge, Mass. (E.U.A.) a dos muestras provenientes del proyecto. La primera consiste en un granito cataclástico de biotita, colectada en la margen derecha, 50 m aguas abajo del socavón 4 (JV—81—37) y la segunda en una granodiorita de biotita, también en la margen derecha, 1 km al NE de la boquilla (JV—81—38). Las edades respectivas fueron de 63.8 ± 2.5 y 57.5 ± 2.2 m.a. (Fig. 4).

g) *Areniscas y conglomerados rojos.*— Hacia la porción NNW del vaso, en el área de la confluencia de los ríos Chínipas y Septentrión y, además, área limítrofe de los Estados de Sinaloa, Sonora y Chihuahua, se encontró una roca sedimentaria de color pardo rojizo que varía desde bien estratificada hasta masiva, de unos 200 m de espesor, con poco fracturamiento y fallamiento en bloques. Estas rocas se hallan debajo de la secuencia ignimbrítica, por lo que son anteriores a ella.

Los componentes detríticos varían de subangulosos a subredondeados, lo que indica que hubo un cierto transporte. El porcentaje de fragmentos de rocas es mayor que el de plagioclasas, no contiene cuarzo, o bien éste es escaso, presentando buena clasificación ("sorting").
Al microscopio se determinó que los fragmentos de rocas son andesitas y traquitas, con vidrio de la misma composición y granitos, y ocupan un 45°/o de la roca, mientras que las plagioclasas (oligoclasa y andesina) ocupan alrededor del 20°/o; como minerales accesorios se determinaron magnetita (10°/o) y augita (5°/o) y la matriz consiste en un 20°/o de material arcilloso y hematita.

Todas estas rocas fueron clasificadas como conglomerados y areniscas (grauvacas líticas) rojos, debido a la oxidación por hematita. Los primeros son masivos y ocupan la parte basal, mientras que las areniscas están bien estratificadas, con rumbos sensiblemente NW e inclinaciones variables entre 20 y 40° al NE.
Es posible que los tres tipos de fragmentos descritos provengan de la denudación de la Formación San Blas de De Cserna y Kent (1961) que aflora en el área del mismo nombre y que ha sido atribuida al Oligoceno Inferior. Por tanto, tentativamente quedaría en el Oligoceno, antes de la erupción de la secuencia ignimbrítica.

h) *Secuencia ignimbrítica.*— Esta secuencia, de composición fundamentalmente riolítica, conforma la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, donde su espesor se mide en 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.
La edad de estas rocas, correlacionables a la Unidad Terciaria Superior Acida, de Rodríguez Torres y Córdoba (*op. cit.*), es posiblemente similar a la encontrada por Mc Dowell y Clabaugh (1972) y Mc Dowell y Keizer (1973), empleando el método de K—Ar, en unidades del sureste de Sinaloa y partes adyacentes de Durango, y que se originaron en un lapso que va de los 34 a los 21 millones de años (Oligoceno—Mioceno). Bagby *et. al.* (1976) dataron una toba colectada 10 km al SE de La Bufa,

Chih., en las cercanías de Batopilas, obteniendo 36 m.a., es decir, Oligoceno Temprano.
Maya González y colegas (1980) describen esta unidad litológica con todo detalle. En la figura 5 se resumen las características de los miembros que la componen.

i) *Conglomerados y areniscas abigarrados.*— Afloran en ambas márgenes del Río Septentrión, desde unos 3 km antes de vaciar sus aguas en el Chínipas y en el área de Tubares; en esta última están intercalados con cuerpos ignimbríticos. Se trata de areniscas (grauvacas líticas) y conglomerados polimícticos abigarrados, predominando los tonos pardo rojizo, rosa, gris, verde y crema. Además de numerosos fragmentos de andesitas, traquitas, riolitas y granitos, contienen también areniscas e ignimbritas, lo que señala una edad posterior a la de estas últimas, o al menos a la de las primeras manifestaciones del vulcanismo ignimbrítico, pero anterior a la de los basaltos y doleritas, ya que no contienen fragmentos de éstos. Por tanto, se les asigna al Terciario Superior (Plioceno).

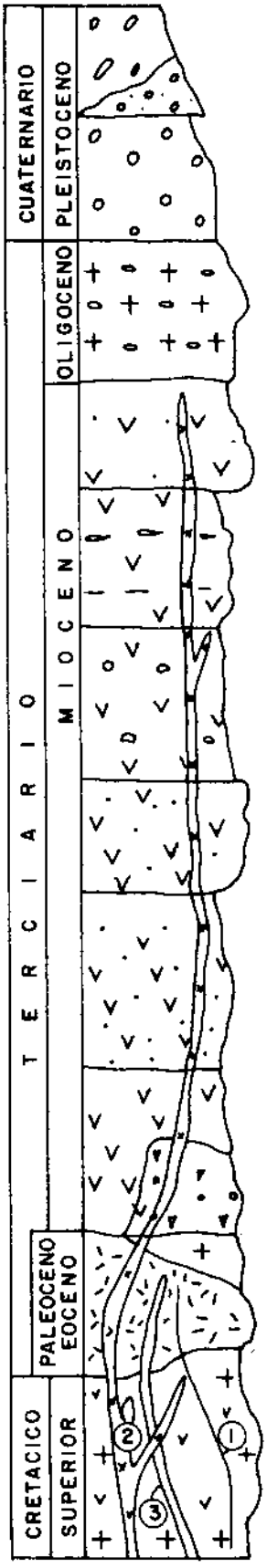
Tanto megascópicamente como al microscopio, estas rocas son diferentes en aspecto a los conglomerados y areniscas rojos y señalan un periodo importante de erosión de las ignimbritas.
Correlacionable con esta unidad es el conglomerado granítico sobre el cual está asentada La Villa de Choix, Sin.; se trata de una roca de fragmentos subangulosos de granito crema, de diámetros variables (5 a 50 cm), unidos por una matriz arcillosa de color rojizo. El conjunto es masivo y presenta paleocanales rellenos de cantos rodados y grava con arena sin compactar o poco consolidados. Descansa discordantemente sobre la corneana y contiene fragmentos de ignimbritas en la matriz, razón por la cual se le asignó al Terciario Superior. Su espesor observado fue de 15 m.
Al norte del conglomerado, a unos 3 km de Choix, aparece una brecha rojiza sin estratificación pero con graduación de los fragmentos de corneana e ignimbritas que la constituyen y cuyos diámetros disminuyen hacia la base. Está medianamente compactada y predominan los fragmentos sobre la matriz areno—arcillosa que los engloba. Se considera contemporánea a la unidad anterior y su espesor observado fue de 12 m.

Esta unidad es correlacionable con la Formación Báucarit del Estado de Sonora y oeste de Chihuahua, que fue descrita por King (*op. cit.*). Está constituida por conglomerados y areniscas y se ubica dentro del Terciario Superior.

j) *Diques de dolerita o diabasa y basaltos.*— El último evento magmático dentro del área es el correspondiente a la intrusión de diques básicos, constituidos esencialmente por doleritas y diabasas. El término "diabasa" se emplea aquí en el sentido original, esto es, el de dolerita alterada. Estas rocas se emplazaron preferentemente a rumbo de fallas y fracturas, sellándolas y, 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, hipidomórfica, a veces ofítica. La composición de las mesetas de basalto, que empiezan a aparecer un kilómetro agua abajo del eje de la boquilla, es esencialmente la misma, por lo que se considera que estos diques son sus conductos alimentadores.
Estas rocas fueron asignadas por Rodríguez—Torres y Córdoba (*op. cit.*) a su "Unidad Terciaria Superior Básica" pero cabe aclarar que una muestra colectada en las cercanías de Agua Caliente de Baca (13 km al NW de Choix) dio una edad de 700,000 años, empleando el método K—Ar (Damon, 1975), por lo que sería en realidad cuaternaria.

k) *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 localiza 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 cm. Algunas veces las gravas y arenas que se localizan en ambas 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 de preferencia en el lecho del río.



Depósito de talud y aluvión.

Conglomerado formado por líticos de todas las unidades anteriores, bien redondeados, incluidos dentro de una matriz arcillo–arenosa. Descansa discordantemente sobre el granito.

Basalto de olivino de color gris, vesicular y amigdaloidal; textura porfídica con matriz pilotaxítica. Descansa discordantemente en una superficie de erosión del granito.

Ignimbrita vítreo–cristalina, de composición riolítica, de color blanco, compacta, de textura piroclástica y eutaxítica con abundantes líticos de riolitas y andesitas oxidadas (T–5).

Toba piroconsolidada. De composición riolítica, color gris rosáceo, muy fracturada y textura piroclástica, esferulítica y eutaxítica. Con cuarzo, sanidino, biotita, magnetita y hematita. En una matriz esferulítica de feldespato alcalino y cuarzo (T–4).

Ignimbrita lítica de composición riolítica, porosa, de color rosa, compacta. Dureza media. Se le observan cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas, algunos líticos subangulosos de riolita y andesita (T–3).

Ignimbrita cristalina, color rosa, compacta. Dureza media. Se le observan cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas. Algunos líticos subangulosos de riolita y andesita (T–2).

Ignimbrita vítreo–cristalina. Color rosa claro, compacta y textura piroclástica con orientación eutaxítica, constituida por vidrio, cuarzo, sanidino y oligoclasa esencialmente, en una matriz criptocristalina. Algunos líticos de pómez, riolita y andesita (T–1).

Brecha de color rojizo, líticos de 5 a 25 cm de diámetro de composición dacítica, andesítica y granítica; parcialmente silicificada. De aspecto masivo en la parte inferior y estratificada en la superior.

Granito de biotita y hornblenda, color blanco con tintes verdosos, de grano medio a grueso, textura holocristalina, dura y compacta, poco fracturada; se encuentra intrusionando a la corneana formando un halo de metamorfismo de contacto.

Corneana de color gris azuloso u oscuro; compacta, textura porfídica, matriz afanítica, silicificada. Presenta en la base y en la cima horizontes brechoides, con residuos de la roca original intensamente alterados por soluciones hidrotermales.

1) Aplita en vetillas.
2) Diabasa en diques y mantos.
3) Turmalina en venas.

Figura 5.– Columna litológica.

Geología Estructural y Tectónica Regional

El área presenta un fuerte control estructural con marcada orientación preferencial NW–SE, con ligeras variaciones N–S y, contrastando con la anterior, las de orientación NE–SW.

Lo anterior se verifica tanto para los fallamientos como para el fracturamiento y diaclasado, mismos 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 grosso modo por las grandes fallas normales de rumbo NW–SE observables en el plano regional (Fig. 2).

Designadas del SW al NE se trata de un graben, un horst y una zona de fallas escalonadas. Existe una cuarta estructura más (graben) al NE del área pero quedó fuera de la región verificada, por lo que no se la describirá.

El graben de la porción SW concuerda fundamentalmente con una zona baja en la que abundan los derrames basálticos cuaternarios. Hacia su parte meridional afloran el conglomerado granítico, sobre el que se asienta Choix, y la brecha rojiza, mismos que podrían ser el resultado de un basculamiento gradual hacia el NE de un bloque más pequeño, limitado al SW por la falla que afecta al Río Choix. Este mismo bloque presenta sólo pequeños remanentes de tobas y corneanas, las que vuelven a aflorar, dentro del graben, hasta la porción norte, siguiendo una alineación marcada que las separa de los basaltos. Es preciso señalar que la margen nororiental de esta estructura afectó al bloque que constituye la boquilla de la presa de Huites.

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

El primer bloque de fallas escalonadas contiguo al horst adquirió la mayor importancia en este estudio, al localizarse en él tres zonas de cierta inestabilidad de las rocas, debido al fracturamiento en bloques en el caso del granito o a los planos de estratificación en el de los horizontes de areniscas y conglomerados rojos.

De estas tres zonas, sólo dos podrían afectar directamente al embalse de la presa. La primera se encuentra en el área del Río Chínipas en donde los derrumbes son frecuentes, debido a que se conjuntan varios factores: el rumbo de las capas de areniscas y conglomerados es paralelo al cauce del río, el buzamiento (25 a 55°) y la alternancia de estratos de grano fino y grano grueso provocan planos de deslizamiento cuando se saturan de humedad; de hecho, los derrumbes son más frecuentes en temporadas de lluvias. La segunda zona se localiza en la parte central del bloque, interesa principalmente al granito, el cual muestra un fracturamiento muy intenso, siguiendo sus planos de crucero, y a las calizas tornándolas cavernosas, teniendo por tanto una permeabilidad muy alta.

El segundo bloque de fallas escalonadas constituye el área donde está asentada la población La Reforma y se caracteriza por una gran complejidad estructural que provocó afloramiento igualmente complejos de roca con contactos normalmente fallados. Aquí se encuentra también una zona de roca que muestra signos de inestabilidad dentro del embalse. En este caso, se trata de las rocas meta–sedimentarias, cuya composición arcillo–limosa alternada con areno–conglomerática presenta tendencia a desintegrarse en forma de pequeñas lajas que brindan planos de deslizamiento si se humedecen.

Las grandes estructuras que se observan en el extremo norte del Estado de Sinaloa son fallas y fracturas de importantes dimensiones que corren burdamente paralelas a la línea de la costa, es decir NW–SE, y que persisten a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental, la cual tiene la misma orientación. Según Bonneau (1971), el plegamiento principal de las rocas preexistentes al Batolito de Sinaloa ocurrió hacia fines del Cenomaniano o principios del Turoniano.

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 volcanismo hayan sido las grandes fracturas de orientación NW–SE, que ya existían durante esa época. En efecto, Atwater (1970) y Demant y Robin (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 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. Este fenómeno corresponde aproximadamente al Terciario Medio, el cual señala la fase postgeosinclinal. Según Bonneau (*op. cit.*), desde fines del Terciario hasta

hoy la region está sufriendo una tectónica de distensión que se relaciona con la formación del Golfo de California.
Por último, el volcanismo riolítico reciente y el volcanismo 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 a los sistemas antes descritos, 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, en las partes altas de la Sierra Madre Occidental.

De acuerdo con los datos aportados por la Carta Sísmica de la República Mexicana en 1969, el área del proyecto se localiza dentro de una Zona Penesísmica, donde los sismos son poco frecuentes, lo cual muestra que la dinámica actual se encuentra en una fase distensiva, que provoca la expansión del fondo oceánico del Golfo de California, con el consecuente movimiento de separación de la Península de Baja California del Continente.

Geología Histórica

En base a las relaciones de la secuencia litoestratigráfica del norte de Sinaloa, es posible reconstruir su historia geológica a partir del Paleozoico, tiempo en el que se verificaron ligeras pulsaciones epirogénicas, produciendo movimientos regresivos con ligeras alternancias transgresivas, depositándose rocas arcillo–arenosas, algunas veces conglomeráticas y con intercalaciones de rocas carbonatadas y lavas máficas, las cuales fueron afectadas posteriormente por metamorfismo regional y de contacto.
Una discordancia erosional en donde rocas mesozoicas (posiblemente asignables al Triásico) descansan sobre rocas paleozoicas señala el inicio del Mesozoico. La naturaleza de estas rocas es volcánica y su composición es variable, de básica a ácida. De acuerdo con Rodríguez y Córdoba (1977): "Se ha inferido que su ambiente es continental por la ausencia de estructuras en almohadillas". Posteriormente, durante el Jurásico, se sucedieron "movimientos regresivos y transgresivos, teniéndose como resultado alternancia de rocas volcánicas y sedimentos calcáreos".

En el Cretácico los mares transgreden invadiendo grandes porciones del Continente, dando lugar a la formación de rocas carbonatadas principalmente; es posible que la extensión de las áreas que ocuparon los mares haya sido grande, ya que son abundantes los cantos rodados de caliza en las formaciones del Terciario Superior.

En el Cretácico Tardío, México se había reducido a una especie de "Cordillera Pacífica", en donde las intrusiones batolíticas de la parte noroccidental eran una prolongación de los grandes cuerpos graníticos californianos, y las manifestaciones volcánicas de tipo "arco insular" calcoalcalino (Sonora–Sinaloa) están relacionadas con los movimientos de subducción de la Placa Farallón debajo de la Placa Americana (Atwater, 1970; Demant y Robin, 1975).
La fase temprana del Terciario se caracteriza por su actividad volcánica; esta región constituía una unidad positiva acentuada por su carácter emergente, el cual prevalece hasta nuestros días.

De esta manera y como disminuyó notablemente la actividad volcánica, la región quedó sometida a los efectos de la erosión y del intemperismo, lo que dio lugar a depósitos de tipo continental en forma de areniscas tobáceas, tobas, aglomerados, areniscas y limos en zonas que constituían depresiones, como consecuencia de la actividad tectónica que estaba por finalizar. Tal tipo de depósitos se observan en cuencas generalmente extensas, sin aparente conexión y bien distribuidos, pudiéndose observar semejanzas en sus litologías.
Dentro de los horizontes mencionados se pueden observar numerosos estratos, generalmente delgados, formados por arenas, limos y arcillas en donde se desarrollaron polígonos de desecación, lo cual indica variaciones ambientales tanto respecto al depósito como a las condiciones climáticas.
El volcanismo intenso culminó durante el Terciario Temprano, pero hay ligeras manifestaciones de este fenómeno en el Terciario Medio; más tarde se produjeron derrames aislados de lavas que descansan discordantemente sobre los depósitos continentales, produciendo un potente espesor de ignimbritas riolíticas, con derrames y tobas asociados. Se les atribuye una edad miocénica por correlación estratigráfica.

GEOTECNIA

Exploración para la solución de cortina de materiales graduados

En el área de la boquilla se observa una columna estratigráfica más sencilla, constituida por corneana, granito, ignimbrita riolítica y diques dolerítico, aplíticos y ácidos (Figura 4).
Para el aspecto geotécnico del proyecto, la corneana es de fundamental importancia, porque en esta roca quedarán alojados gran parte de los túneles de desvío y también de los vertedores. Aunque está muy fracturada en superficie, a profundidad mejo-

ra su calidad y se comporta como impermeable, debido a que está menos fracturada y ha sufrido silicificación y turmalinización por efectos del batolito. Localmente presenta propilitización, que no cambia sus propiedades mecánicas, y argilitización que la afecta desfavorablemente.
La cortina quedará desplantada en corneana y granito. Esta última roca, aunque alterada al grado de disgregarse en superficie, a pocos metros de profundidad está sana, es dura, maciza y compacta.
La casa de máquinas quedará emplazada en la es-

Sobre una superficie de erosión formada por corca, de color rosa y composición fudamentalmente riolitica. Sus afloramientos son espectaculares por formar escarpes que alcanzan hasta 200 metros. La obra de toma para la casa de máquinas deberá labrarse en esta roca.

tructura llamada informalmente "domo granítico". La exploración realizada por medio de barrenación y excavación subterránea confirman plenamente la calidad inmejorable de esta roca.

Depósito de talud y aluvión
Conglomerado formado por líticos de todas las unidades anteriores, bien redondeados, incluidos dentro de una matriz arcillo–arenosa. Descansa discordantemente sobre el granito.
Basalto de olivino de color gris, vesicular y amigdaloidal; textura porfídica con matriz pilotaxítica. Descansa discordantemente en una superficie de erosión del granito.
Ignimbrita vítreo–cristalina, de composición riolítica, de color blanco, compacta, de textura piroclástica y eutaxítica con abundantes líticos de riolitas y andesitas oxidadas (T–5).
Toba piroconsolidada. De composición riolítica, color gris rosáceo, muy fracturada y textura piroclástica, esferulítica y eutaxítica. Con cuarzo, sanidino, biotita, magnetita y hematita. En una matriz esferulítica de feldespato alcalino y cuarzo (T–4).
Ignimbrita lítica de composición riolítica, porosa, de color rosa, compacta. Dureza media. Se le observan cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas, algunos líticos subangulosos de riolita y andesita (T–3).
Ignimbrita cristalina, color rosa, compacta. Dureza media. Se le observan cuarzo, feldespato alcalino y plagioclasas. Algunos líticos subangulosos de riolita y andesita (T–2).
Ignimbrita vítreo–cristalina. Color rosa claro, compacta y textura piroclástica con orientación eutaxítica, constituida por vidrio, cuarzo, sanidino y oligoclasa esencialmente, en una matriz criptocristalina. Algunos líticos de pómez, riolita y andesita (T–1).
Brecha de color rojizo, líticos de 5 a 25 cm de diámetro de composición dacítica, andesítica y granítica; parcialmente silicificada. De aspecto masivo en la parte inferior y estratificada en la superior.
Granito de biotita y hornblenda, color blanco con tintes verdosos, de grano medio a grueso, textura holocristalina, dura y compacta, poco fracturada; se encuentra intrusionando a la corneana formando un halo de metamorfismo de contacto.

Corneana de color gris azuloso u oscuro; compacta, textura porfídica, matriz afanítica, silicificada. Presenta en la base y en la cima horizontes brechoides, con residuos de la roca original intensamente alterados por soluciones hidrotermales.

El basalto es la roca más joven del área. Por intemperismo ha dado lugar a una superficie de arcillas que se espera poder utilizar para construir el núcleo impermeable de la cortina.
Tectónicamente el sitio presenta características de esfuerzos distensivos, que combinados con las fracturas por enfriamiento, dan como resultado un fallamiento en bloques o escalonado que afecta a toda la columna estratigráfica. Se han definido dos rumbos predominantes de fracturamiento: NW–SE y NE–SW, que suelen manifestarse con fallas normales casi verticales y fallas inversas de inclinación similar.
Los resultados obtenidos con las exploraciones geológicas superficiales y subterráneas fueron los siguientes Figura 6

a) Por la margen derecha de la boquilla el empotramiento quedará totalmente en granito, que es una roca sana con unas cuantas fracturas cerradas de corta extensión y orientación preferente al NW.

b) El empotramiento izquierdo de la cortina estará en granito hacia la base, corneana en su porción intermedia e ignimbrita hacia la parte superior. El contacto ignimbrita–corneana es discordante, con orientación casi E–W e inclinación al norte sin presentar mayor efecto tectónico o de alteración. La ignimbrita es de buena calidad y la corneana está poco fracturada; el rumbo preferencial de las fracturas es NW con inclinaciones que varían de 70° al SW y 85° al NE.

El contacto corneana–granito está afallado, con rumbo N 10° W y echado de 46° al NE; se presenta en superficie como una fractura rellena por salbanda rojiza de 10 a 15 cm de espesor y en forma similar en el Socavón No. 3.

La corneana presenta cierto grado de hematización sobre todo en las proximidades del contacto; las fracturas más notorias son paralelas a la falla y algunas están rellenas de calcita y óxidos de hierro. Es notable el fracturamiento preferencial hacia el NNW y en segundo lugar hacia el N y NE.
Para verificar las características de esta falla y evaluar el riesgo potencial que presenta por cruzar prácticamente en la base del eje de la cortina, se desarrolló el Socavón No. 17 con 23.93 m de longitud y dejó expuesta esta estructura por 14.50 m.

Se pudo comprobar que la falla tiene un rumbo N 10° W y echado de 60° NE. La zona de falla tiene un espesor variable entre 0.30 y 2.50 m y es evidente la presencia de material cataclástico.

c) El espesor del aluvión en la base de la cortina varía entre 11 y 19 m, cubriendo a 10.75 m de granito intemperizado que más abajo mejora su calidad considerablemente, tal y como se observa en superficie. Sin embargo, en el barreno No. 20 se cortaron 95 m de corneana antes de alcanzar el contacto afallado con el granito.
d) Los vertedores de excedencia quedarán alojados en la margen izquierda, contándose con dos alternativas para situar el portal de entrada (Fig. 8).

El Socavón No. 7 sirvió para explorar la Alternativa 1, tiene 184 m de desarrollo y, con excepción de un dique de diabasa y algunas apófisis de granito, está totalmente labrado en corneana. Esta roca está alterada, al grado de ser deleznable en los primeros 27 m del socavón. Más adelante se ve sana pero está muy fracturada, con ligero predominio de las fracturas con orientación al NW. No obstante, no se han presentado problemas de sustentación en la reducida sección del socavón.
Se desarrolló el Socavón No. 11 para explorar la Alternativa No. 2 de entrada de vertedores, con un total de 110.46 m y cuatro cruceros. Se encapilló en ignimbrita, al pie de un cantil muy firme, circunstancia que aunada a la menor longitud para los túneles, está a favor de esta alternativa para la obra definitiva.
La salida de vertedores es común para ambas alternativas. Se exploró por medio del Socavón No. 9, labrado en granito hasta los 202.10 m, en donde aparece en contacto afallado con la corneana, con una orientación al N 10° W y echado de 45° NE.
Hay dos direcciones preferenciales del fracturamiento en el granito, una casi a rumbo del socavón y otra normal a éste. Algunas fracturas están rellenas de clorita, arcilla y óxidos de hierro y otras están cerradas; algunas zonas de filtración se derivan de la proximidad del socavón con la superficie. La corneana presenta el fracturamiento normal del área, pero se ve firme.

Los barrenos realizados a lo largo del eje de vertedores, alternativas 1 y 2, confirman los resultados obtenidos con los socavones.
La alternativa 3 de vertedores en el Puerto de las Cruces se exploró mediante sismología y geoeléctrica, y teniendo como base el apoyo topográfico. Fue posible determinar esta alternativa como poco atractiva, debido a la elevación a la que se encuentra este canal vertedor y a su relación con el perfil topográfico del lugar, además de que la roca sana se localiza hasta los 15 m de profundidad.

e) También los túneles de desvío quedarán en la margen izquierda. Se ha investigado la condición del eje por medio del Barreno 11 que llegó a 90.15 m de profundidad en corneana. El Barreno No. 13 cortó 64.75 m de granito cerca del portal de salida. No cambiaron las condiciones expresadas para ambos tipos de rocas (Fig. 9).

Además, para verificar las condiciones de la roca en su portal de entrada se desarrolló el Socavón No. 15, que tuvo una longitud de 98.83 m en corneana y se ve bastante alterada y fracturada hasta los 50 m de profundidad, aunque luego mejora su calidad.

f) El Socavón No. 4, en la margen derecha, ha servido para probar que el bloque de granito en donde estará alojada la casa de máquinas es de calidad inmejorable, lo cual ha sido confirmado por la perforación adicional de un barreno vertical de 85 m a partir del crucero occidental o No. 1 de dicho socavón. El crucero oriental o No. 2 sirvió para verificar el contacto fallado entre granito/ignimbrita e ignimbrita/corneana.

El barreno 32 sirvió para comprobar la calidad del granito bajo 15.2 m de talud en el futuro túnel de desfogue. Los efectos del intemperismo se manifiestan por 12 m para continuar hasta 60.7 m de granito de buena calidad.

g) Las condiciones de la roca en donde quedará ubicada la obra de toma para generación se exploró por medio del Socavón No. 6 que tiene una longitud de 159.38 m, pudiéndose observar durante los primeros cincuenta y un metros que la roca está bastante fracturada.

El crucero 1 de este socavón tiene una longitud de 56.88 m y su objetivo fue definir en el subsuelo los contactos ignimbrita/corneana e ignimbrita/grani-

to. Ambos se presentaron afallados.

h) El Socavón No. 13, con una longitud de 422.14 m, forma parte del camino de acceso a la corona y entrada de vertedores. Su portal de entrada está en la corneana, encontrándose el contacto con la ignimbrita a los 100.5 m de desarrollo. Se trata de un contacto erosional, normal y parcialmente sellado. La corneana está sana y poco fracturada, con algo de propilitización y argilitización sin que esto afecte la estabilidad de la obra, no obstante su sección de 4 x 4 m. La ignimbrita está muy sana y es resistente al golpe.

La primera sección del socavón tiene una longitud de 206.00 m y la roca es el miembro T_1 de la ignimbrita; al final de esta parte el socavón se amplía por cuatro metros más hacia la derecha y sale a la primera cañada, en la cual pasa una falla inversa de poco desplazamiento emplazada por un dique de diabasa. Se puede observar la zona cataclástica propia de la falla y un intenso fracturamiento, acompañada de una marcada propilitización en la roca.
La segunda sección del socavón es de 67.58 m y está desarrollada en un bloque de ajuste entre dos fallas, razón por la cual la ignimbrita se halla muy fracturada pero sin que se hubieran presentado problemas de estabilidad. A la salida de este tramo se observa un dique emplazado en una falla normal. La cañada que se ha formado por erosión diferencial mide 18.45 m.
La tercera sección del socavón mide 113.29 m y está desarrollada en un bloque muy estable de ignimbrita.

i) El camino del Socavón No. 3 al Socavón No. 15 se construyó para tener un acceso permanente en la margen izquierda aún en época de lluvias. Con este camino fue posible comprobar algunos datos estructurales como son la presencia de fallas, zonas de alteración y diques.
j) Los estudios realizados hasta la fecha indican que no será difícil conseguir volumen y calidad adecuada para gravas y material para enrocamiento. Por el contrario, la arcilla para el núcleo impermeable es escasa y de mala calidad. De cualquier manera, se tiene confianza en mejorar su calidad mediante el tratamiento adecuado (Figura 10).
k) El apoyo geofísico se realizó para confirmar las propiedades mecánicas de las rocas que alojarán las obras civiles. Fue muy útil para delimitar espesores y continuidad en los bancos de gravas y arenas.

Se emplearon métodos de prospección geoeléctrica con arreglo tetrapolar Schlumberger, prospección sísmica de refracción y microsísmica, cuyos resultados no tuvieron divergencias notorias con las interpretaciones hechas por geología.
En la margen izquierda de la boquilla la prospección geoeléctrica permitió definir una zona de encape con espesores de 1 a 5 metros y resistividades de 60 a 1,920 ohms–m, una segunda zona con resistividades de 74 a 900 ohms–m, desde la superficie o por abajo de la primera zona y, por fin un basamento de espesor indefinido y con resistividades de 230 a 1,470 ohms–m.

También con sísmica de refracción se reconocieron tres zonas: una con velocidades de 236 a 640 m/seg, otra comprendida entre 2,154 y 2,824 m/seg, y una tercera zona con velocidades superiores a 3,000 m/seg.
Para la margen derecha de la boquilla también se definieron tres zonas: una con resistividades de 20 a 500 ohms–m y espesores de 1 a 11 m, una zona intermedia de 60 a 720 ohms–m y, finalmente, una zona de espesor ilimitado, con resistividades de 72 a 950 ohms–m; con sísmica de refracción se determinaron valores de 380 a 900 m/s, 2,550 a 3,204 m/s y 2,700 a 5,000 m/s para las mismas zonas.
En el área de la casa de máquinas hay una zona de encape, con espesores de 0.25 a 9 m cuyas resitividades varían de 78 a 850 ohms–m.
En el área del portal de entrada de vertedores, Alternativa 1, se definió una zona con resistividades y velocidades bajas que se interpretó como una zona débil y de alta permeabilidad en la corneana, correspondiente a lo observado en geología.
En el área de salida, por el contrario, las velocidades y valores de resistividad indican que el granito es de buena calidad. Hay pequeñas áreas con valores bajos que se han interpretado como un aumento en el contenido de minerales conductores, y no por falla en la calidad mecánica de la roca.
También se realizó el levantamiento microsísmico de todos los socavones y se hizo la determinación de los módulos elásticos. Los resultados obtenidos sobre la calidad de la roca coincidieron fielmente con los levantamientos geológico–estructurales realizados.
Con la información obtenida se pudo concluir que geotécnicamente sí es posible la construcción de la presa de Huites, con una cortina de materiales graduados y el sitio escogido para la boquilla, aún siendo una zona fallada, no representa mayor riesgo estructural para las filtraciones o estabilidad de las obras.
Asimismo, las exploraciones realizadas en el vaso no han reflejado hasta la fecha mayor riesgo que

se traduzca en derrumbes o fugas de agua.

Exploración Adicional para la Solución de Cortina de Concreto

A fines de septiembre de 1981 se iniciaron los trabajos de exploración para evaluar geotécnicamente la solución de cortina de concreto. Estas obras consistieron en prolongar unos 20 m el Socavón No. 17, llegando a tener un desarrollo total de 43.51 m y dejando expuesto el contacto tectónico granito–corneana por 32.51 m. Se observó en este desarrollo que la zona de falla redujo su espesor y las rocas siempre fueron compactas y poco fracturadas (Figuras 11 y 12).
Se hicieron diez barrenos adicionales en la zona correspondiente a los canales vertedores, ocho de los cuales con el fin de investigar el espesor del talud y de la zona intemperizada del granito y los dos más cercanos a la cortina, además, para conocer las características del granito y de la corneana en esa área, y revisar el contacto entre ambas rocas.
Con los primeros ocho barrenos (29, 31, 33, 35, 37, 39, 41 y 43), así como con el Barreno 13, perforado anteriormente, se determinó una capa de intemperismo que varía entre 5 y 22 m, con un promedio de 11.06 m. El talud sólo se cortó con el Barreno 29 y su espesor fue de 13 m; en el Barreno 37 se cortaron inicialmente 4.30 m del material de la plantilla de los cimientos de la caseta de aforo de la S.A.R.H. Todos los demás barrenos se iniciaron en granito intemperizado, a excepción de los dos restantes (45 y 47) que lo hicieron en corneana.
Debajo de la capa de intemperismo se tiene granito sano y de buena calidad. En lo que respecta a los barrenos 45 y 47, se pudo ver que tanto la corneana como el granito, aún en la zona del contacto tectónico, presentan condiciones inmejorables en lo relativo a recuperación, RQD e impermeabilidad; dicho contacto está muy bien soldado y las pruebas Lugeón realizadas en ese punto indicaron 0.00 U.L.
Sólo una pequeña parte del cimacio del vertedor quedará empotrada en corneana e ignimbrita, más del 90% de la cortina y de los canales vertedores estarán en granito de buena calidad, siendo válidas las mismas conclusiones geotécnicas obtenidas para la alternativa de materiales graduados.
Para corroborar los resultados anteriores, se utilizó sísmica de refracción de la nueva alternativa de vertedores y canal de desvío, no obteniéndose mayor divergencia.

En lo que respecta a las obras de desvío, emplazadas en la margen derecha, un 80% se realizarán en granito y el resto en corneana, ambas de buena calidad.

Se considera que en el canal de desvío no habrá problemas importantes durante su construcción, debido a que las cotas en que quedará localizado (150 a 146 m) se tienen rocas sanas, con velocidades sísmicas que varían entre 3,111 y 5,333 m/seg. La única zona que puede presentar algún riesgo potencial está localizada a 100 m de su inicio y es debido a la presencia de una falla.
La casa de máquinas no representa ningún problema geotécnico. Será de concreto y estará localizada a cielo abierto al pie de la cortina. Una consideración que habrá que tomar en cuenta es el peso total de esta obra y su funcionamiento, con el objeto de remover el material de acarreo necesario para tener la plantilla de cimentación conveniente.

Solución con Cortina de Materiales Graduados

a) Cortina de materiales graduados con un volumen total de 12.9 millones de m^3, ubicada algo aguas arriba de la boquilla de Huites, con nivel de la corona de 300 msnm, altura máxima 165 m y ancho al nivel superior de 450 m. La cortina con sus obras propias de tratamiento de las cimentaciones interesan una superficie de 107,000 m^2 en el cauce y a ambas márgenes con un sistema de galerías de inyecciones y drenaje.
b) Embalse caracterizado por:

NAMO	283 msnm
NAMINO (para hidroelectricidad)	225 msnm
NAMINEX (para uso total de agua)	215 msnm
NAME	295 msnm
Capacidad total al NAMO	3,933 millones de m^3
Capacidad al NAMINE	500 millones de m^3
Capacidad útil	5,710 millones de m^3

La cuenca cerrada por la presa tiene 26,020 km^2.
El espejo líquido tiene una superficie al NAMO de 90.6 km^2 y una longitud máxima de 67 km, aproximadamente.

c) Obras de desvío: 3 túneles de 800 m de longitud, ubicados en la margen izquierda, con diámetros de 15 m, sin revestimiento, avenida de diseño de 14,500 m^3/seg (recurrencia 50 años); ataguía de materiales graduados con corona a la cota 213 m incorporada a la cortina principal.
d) Obras de excedencia: 3 túneles vertedores para la Alternativa 1 ubicados en la margen izquierda e independientes de la cortina y de las otras obras, longitud de 1,020 m, incluyendo las transiciones, diámetro revestido de 18.2 m; capacidad de descarga de 21,900 m^3/seg que corres-

ponde a un pico entrante de 33,500 m^3/seg (recurrencia 10,000 años). La Alternativa 2 tiene características semejantes, excepto que su longitud es de 680 m.

Cada túnel estará controlado por 3 compuertas radiales de 12.0 por 16.5 m, con cimacio fijo al nivel 270.0 m.
La Alternativa 3 considera un canal abierto de 2,027.5 m en el lugar denominado "Puerto dc las Cruces".

e) La toma para riego servirá también para el control del primer llenado del embalse y estará constituida por un túnel independiente en la margen izquierda, controlado por compuertas planas de 2.40 por 3.50 m; el nivel de la bocatoma estará a 215.0 m para aprovechar todo el volumen útil del vaso. La capacidad de descarga será de 215 m^3/seg al nivel mínimo y de 450 m^3/seg al nivel máximo.
f) Las obras de generación estarán en la margen derecha, y constarán de cuatro conducciones de 5.5 m de diámetro, tuberías de presión inclinadas y casa de máquinas en subterráneo equipada con 4 unidades con potencia de 83 MW al salto mínimo y 130 MW al salto de diseño. La potencia nominal total instalada será de 520 MW. El agua turbinada se descargará al pie de la cortina

aguas abajo por medio de un túnel de desfogue.

g) El patio de la llave al nivel 170.0 m estará colocado en la planicie al lado derecho del túnel de acceso a la casa de máquinas y del portal de desfogue. Tendrá 2 líneas de 220 KV de salida hacia la red Sonora—Sinaloa con una longitud de 90 km.

Las obras adicionales estarán constituidas por caminos de acceso, edificios varios y trabajos eventuales de arreglo para la protección de los puentes y plataformas lindantes del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico, que bordea y cruza el embalse en los ríos Chínipas y Septentrión, afluentes del Río Fuerte.

Solución con Cortina de Concreto

a) Cortina de concreto de gravedad maciza con un volumen total de 2'087,000 m^3, con nivel de la corona a 282 msnm, altura máxima de 152 m, y longitud total de la corona de 384 m. La cortina incorpora de la margen derecha a la izquierda, la estructura de desvío, las tomas para riego y generación y el cimacio del vertedor. Las obras de tratamiento de las cimentaciones incluyen las pantallas de inyecciones y drenaje, las inyecciones de consolidación y trabajos especiales de tratamiento del contacto entre granito y corneana.
b) Embalse caracterizado por:

NAMO	270 m de altitud
NAMINO (para hidroelectricidad)	215 m de altitud
NAMINE (para riego)	215 m de altitud
NAME	280 m de altitud
Capacidad total al NAMO	2,910 millones de m^3
Capacidad al NAMINE	500 millones de m^3
Capacidad útil	2,410 millones de m^3

La cuenca cerrada por la presa tiene 26,020 km^2.
El embalse tiene una superficie al NAMO de 70.7 km^2 y una longitud máxima de unos 50 km.

c) Obras de desvío con canal al exterior excavado en la ladera derecha, de 45 m de ancho y 700 m de longitud, volumen total de excavación 1'115,000 m^3, estructura de desvío, que puede ser desbordada en primera etapa, incorporada en la cortina, con cuatro aberturas de 6.25 m de ancho y 13 m de alto; ataguías de material graduado con corona a la cota 182 m (aguas arriba) y 162 m (aguas abajo); las dimensiones de estas obras están programadas para descargar hasta la avenida cincuentenaria sin mayores trastornos.

d) Obras de excedencia con cimacio del vertedor a la cota 257 m, ubicado en la parte izquierda de la cortina, controlado por 6 compuertas radiales de 15 m de ancho por 15.50 m de alto. Las aguas se descargarán en tres canales independientes de 34 m de anchura y longitudes variables entre 400 y 500 m aproximadamente, que terminan con un salto de esquí. El vertedor descargará la avenida de frecuencia decamilenaria con un NAME a 280 m de altitud; las avenidas con tiempo de retorno de 25 años se podrán descargar operando sólo 4 compuertas.
e) Obras de generación con obras de toma (una por

unidad) incorporadas en la cortina; tuberías de presión de 6.20 m de diámetro y casa de máquinas al pie de la cortina, equipada con 3 unidades Francis, con potencia nominal de 175 MW (100 MW con carga mínima); la potencia nominal total instalada será de 525 MW; la subestación estará al nivel 170, ubicada en el techo de la casa de máquinas, con dos líneas de 220 KV de salida hacia la red Sonora—Sinaloa de 90 Km de longitud.
f) Obras de riego consistentes en una obra de toma incorporada a la cortina y tubería de presión controlada por dos válvulas en el área de monta-

je de la casa de máquinas.

g) Obras adicionales constituidas por caminos y túneles de acceso, un puente que cruzará el Río Fuerte aguas abajo de la boquilla, varios edificios y además, trabajos eventuales para la protección de las cimentaciones de los puentes Chínipas y Septentrión del Ferrocarril Chihuahua al Pacífico.

El estudio de esta última alternativa, llevada a cabo por ELC en colaboración con C.F.E. y S.A.R.H., demostró que resulta sensiblemente más económica que la solución con cortina de materiales graduados (29%/o de diferencia en el costo directo de construcción), y es más práctica porque reduce el área de la obra civil.

REFERENCIAS

ATWATER, T. (1970). Implications of Plate Tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of Western North–America; Geol. Soc. Am. Bull, 81, pp. 3513–3536.

BAGBY, W.C., K.L. CAMERON, M.E. CAMERON y J.B. GILL (1976). Petrology of Tertiary ash–flow tuffs and related volcanics from Barranca de Batopilas, Creel region of Sierra Madre Occidental, Chihuahua, Mexico (abstract). Geol. Soc. America Rocky Mtn. Sec. Mtg. Prgm, Albuquerque, New Mexico.

BONNEAU, M. (1971). Una nueva área cretácica fosilífera en el Estado de Sinaloa, Bol. Soc. Geol. Mex., v. 32, n. 2, pp. 159–167.

CEPEDA DAVILA, L., S. ULLOA ARREDONDO y J. VALLARINO GUZMAN (1980). Geología del P.H. Huites, Mpio. de Choix, Sin. (Inédito) Archivo de C.F.E.

CEPEDA DAVILA, L., J. HERNANDEZ SAMAYOA, J.L VALENCIA CRUZ y J. VALLARINO GUZMAN (1982). Geología y Geotecnia del P.H. Huites, Sin. (Inédito) Archivo de C.F.E.

CLARK, K.F. (1976). Geologic Section Across the Sierra Madre Occidental, Chihuahua to Topolobampo, Mexico, New Mexico Geol. Soc. sp. Publ. No. 6.

DAMON, P.E. (1975). The age and origin of porphyry copper and genetically related mineral deposits in Mexico (abs); Ariz. Geol. Soc. Porphyry Copper Symposium, Tucson, Ariz.

DE CSERNA, Z. y B.H. KENT (1961). Mapa geológico de reconocimiento y secciones estructurales de la región de San Blas y El Fuerte, Estados de Sinaloa y Sonora, México; Inst. Geología Mex., Bol. 64 pp. 71–84.

DE CSERNA, Z., E. SCHMITTER, P.E. DAMON, D.E. LIVINGSTONE y J.L. KULP (1962). Edades isotópicas de rocas metamórficas del centro y sur de Guerrero y de una monzonita cuarcífera del norte de Sinaloa, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 64, pte. 5, pp. 71–84.

DEMANT, A. y C. ROBIN (1975). Las fases del vulcanismo en México: una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico. Revista del Instituto de Geología, UNAM, 75 (1) pp. 70–82.

ELC (Electroconsult, 1981a) P.H. Huites, Solución con cortina de materiales graduados (Inédito) Archivo de C.F.E.

ELC (Electroconsult, 1981b). P.H. Huites, Solución con cortina de gravedad (Inédito) Archivo de C.F.E.

FREDERIKSON, G. (1974). Geology of the Mazatlan area Sinaloa, Western Mexico. Tesis Doctoral Universidad de Texas, Austin.

GARCIA HERRERA, C., y E. DIAZ CABRAL (1962). Informe geológico preliminar de la Boquilla de Huites sobre el Río Fuerte, Sin. Informe No. 1 (Inédito) Archivo de C.F.E.

GARCIA y BARRAGAN, J.C. y Personal Técnico (1979). Geología del P.H. Huites, Sinaloa (Inédito) Archivo de C.F.E.

GARCIA y BARRAGAN, J.C. y J. Ma. CHAVEZ AGUIRRE (1980). Geología del P.H. Huites, Sistema del Río Fuerte, Sin. Memoria III Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia, C.F.E., 2o. Tomo, pp. 30–39, 4 pl.

HERNANDEZ SAMAYOA, J.R. (1981). Geología y Geotecnia del P.H. Huites, Mpio. de Choix, Sin. Tesis Profesional, Fac. de Ing. UNAM (Inédito).

INSTITUTO DE GEOLOGIA, UNAM (1977) Hoja Huites.

JACQUES–AYALA, C. (1975). Estudio geológico de la Mina La Reforma, Mpio. de Urique, Chih. Tesis Profesional, Fac. de Ing. UNAM (Inédito).

KING, R.E. (1939). Geological Reconnaisance in Northern Sierra Madre Occidental of Mexico, Geol. Soc. America, v. 50, No. 11.

LÓZANO CHAVEZ, G. (1980). Estudio geológico del yacimiento Santa Anita. Choix, Sin. Tesis Profesional I.P.N. (Inédita).

MacDOWELL, F.W. y CLABAUGH, S.E. (1972). Edades potasio–argón de rocas volcánicas en la Sierra Madre Occidental, al noroeste de Mazatlán, 2a. Conv. Nac. Memoria, Soc. Geol. Mexicana (Resumen) pp. 182–185.

MacDOWELL, F.W. y KEISER, R.P. (1973). Mid Tertiary volcanism in the Sierra Madre Occidental near Durango, Mexico (abs); Geol. Soc. America, Ann. Mtg. Progm., Dallas, p. 731.

MALPICA CRUZ, R. (1972). Rocas marinas del Paleozoico Tardío en el área de San José de Gracia, Sin. Soc. Geol. Mexicana, Conv. Nal. Memoria.

MAYA GONZALEZ, R., L. GONZALEZ JIMENEZ y R. VILLEGAS LESSO (1980). Aspectos geotécnicos del P.H. Huites, Río Fuerte, Sin. Memoria IIIa. Reunión Nacional de Geotecnia y Geotermia, C.F.E. 2o. Tomo, pp. 114–119, 6 pl.

RAMIREZ GUTIERREZ, M. y C. GARCIA HERRERA (1963). Geología de la Boquilla de Huites. Localización, exploración y resultados (Inédito) Archivo de C.F.E.

RODRIGUEZ TORRES, R. y D.A. CORDOBA (1977). Atlas Geológico y Evaluación Geológica Minera de Sinaloa, México, UNAM. Inst. de Geología y Secretaría del Desarrollo Económico del Estado de Sinaloa.

ROLDAN–QUINTANA, J. (1971). Algunas observaciones acerca de las rocas volcánicas cenozoicas del Estado de Sinaloa, Inst. Geol. Mex., 12 p.

SOLANO RICO, B., G. LOZANO CHAVEZ y H. SERRANO (1980). Descripción geológico–estratigráfica del área Santa Anita, Mpio. de Choix, Sin., Soc. Geol. Mex., Resúmenes de la V Conv. Geol. Nal. México, D.F.

YAÑEZ, M. (1976). Geocronometría del batolito de Sinaloa. Tesis Profesional. Inst. Pol. Nacional. México.