

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



GEOLOGIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO

HUITES, SISTEMA DEL RIO FUERTE SINALOA.

TESIS PROFESIONAL

RAUL VILLEGAS LESSO

MEXICO, D. F.

1980



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



REPÚBLICA NACIONAL

AYUNTAMIENTO

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-105

Al Pasante señor VILLEGAS LESSO RAUL
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Dr. José Ma. Chávez Aguirre, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO GEOLOGO.

"GEOLOGIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO MUITES,
SISTEMA DEL RIO FUERTE, SINALOA".

- I.- Generalidades
 - II.- Geología regional
 - III.- Geología del área de la boquilla.
 - IV.- Aspectos geotécnicos
 - V.- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares, en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 4 de enero de 1980

EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Escobar

JJE:MAV:adb.

**GEOLOGIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUITES.
SISTEMA DEL RIO FUERTE SINALOA.**

INDICE

CAP.	PAG.
I. - GENERALIDADES.....	1
Introducción.....	1
1.1. Objetivos del Estudio.....	2
1.2. Antecedentes.....	3
1.3. Método de Trabajo.....	5
1.4. Localización y Vías de comunicación.....	7
1.5. Clima y vegetación.....	7
1.6. Condiciones Socioeconómicas.....	9
1.6. a). Cultura.....	9
1.6. b). Economía.....	10
GEOMORFOLOGIA.....	11
1.7. Provincias Fisioográficas.....	11
1.8. Hidrografía.....	11
II. - GEOLOGIA REGIONAL.....	14
Introducción.....	14
11.1. Litoestratigrafía.....	15
11.2. Tectónica.....	24

	PAG.
III. - GEOLOGIA DEL AREA DE LA BOQUILLA.....	27
Introducción.....	27
III.1. Litoestratigrafía.....	28
III.2. Estructuras.....	38
IV. - ASPECTOS GEOTECNICOS.....	45
Introducción.....	45
IV.1. Obras subterráneas (socavones).....	46
IV.2. Portal de entrada a vertedores.....	49
IV.3. Portal de salida de vertedores.....	52
IV.4. Materiales de construcción.....	53
V. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
APENDICE PETROGRAFICO.....	60
BIBLIOGRAFIA...	64

FIGURAS

	Entre págs.
1. - Plano de localización.....	7 y 8
2. - Provincias fisiográficas.....	11 y 12
3. - Columna litológica.....	28 y 29
4. - Geología de la boquilla.....	28 y 29
5. - Socavón 9.....	47 y 48
6. - Socavón 3.....	47 y 48
7. - Socavón 4.....	48 y 49
8. - Planta y secciones del portal de entrada de vertedores.....	49 y 50
9. - Plano de localización de bancos de materiales.....	54 y 55

FOTOGRAFÍAS

1. - Estrechamiento del Río Fuerte visto de aguas abajo hacia aguas arriba.....	2
2. - En la extrema derecha domo granítico; en medio la cor- neana con el aglomerado rojizo basal y sobre aquella la- secuencia ignimbrítica.....	29
3. - Domo granítico de la margen derecha del estrechamien- to a la altura del eje de la cortina y dentro del cual esta- rá instalada la Casa de Máquinas.....	30

4. - Vista general de la margen izquierda mostrando la secuencia lignimbrítica y bajo ésta, cubierta por - la vegetación la corneana	33
5. - Detalle de la anterior.	34

I. - GENERALIDADES.

Introducción.

En vista de las crecientes necesidades del país de contar cada vez con mayores fuentes de energía eléctrica se localizó la boquilla de Huites, en el NE de Sinaloa, con el fin de iniciar los estudios geológicos necesarios para la construcción de una presa que tendrá múltiples funciones como son la de generar energía eléctrica, riego, control de avenidas y piscicultura.

La energía eléctrica generada por este proyecto servirá para el desarrollo industrial de la zona con lo cual se crearán empleos que harán que los habitantes del área alcancen un nivel de vida más decoroso.

Por otro lado la agricultura tendrá un gran desarrollo puesto que gran parte de las tierras cultivables únicamente en época de lluvias serán incorporadas al riego mediante un buen sistema de canales que seguramente será proyectado; con esto se beneficiará a una buena parte de habitantes del área.

La piscicultura, aunada a la atracción que puede despertar una obra de tal magnitud, provocará que el turismo, que ahora es casi nulo, aumente en gran cantidad hacia esta área y con ello el comercio de la región también se verá beneficiado.

En resumen, esta obra directa o indirectamente generará nuevas fuentes de trabajo que ayudarán a reducir de manera importante el desempleo de la región.



Foto 1.- Estrechamiento del Rio Fuerte, este de aguas abajo, hacia aguas arriba.

1.1.- Objetivos de estudio

El objetivo principal del estudio es determinar la información geológica necesaria para poder hacer las recomendaciones que sean pertinentes en la construcción de la obra civil.

Para ello se hicieron levantamientos geológicos generales en el --
área del vaso de Huites. Cuando se trata de áreas donde quedarán empla-
zadas obras civiles, los levantamientos geológicos fueron a detalle, ha--
ciendo énfasis en las fracturas y fallas, zonas de alteración, etc.

De acuerdo a las necesidades del proyecto, se abrirán socavones-
y se ampliarán los ya existentes; esto, unido al programa de barrenación-
que se llevará a cabo, nos ayudará a conocer las condiciones físicas y geo-
lógicas del subsuelo.

Además se localizaron bancos de grava y arena, los cuales se en-
cuentran aguas abajo del área del proyecto, formando playones en ambas-
márgenes del río, cuyos volúmenes parece ser que serán suficientes para
la alternativa de materiales graduados. Los bancos de arcilla para el cora-
zón impermeable se obtendrán de la descomposición del basalto que forma
mesetas en las cercanías de la boquilla y el enrocamiento se podrá obte-
ner dentro de la misma boquilla de la presa.

1.2. - Antecedentes.

En 1960 Palacios Nieto presentó un informe relacionado con el P.H.
Huites, en el cual se dieron las primeras recomendaciones para estudiar-
más detalladamente el área. En el mismo año la Empresa Estudios y Pro-
yectos, S. A., efectuó un trabajo para aprovechar los recursos del Río --
Fuerte, incluyendo el proyecto de construcción de una presa de regulación
y para generar energía eléctrica, en la boquilla de Huites.

Más tarde, García Herrera y Díaz Cabral (1962) hicieron un levantamiento con el fin de conocer las condiciones geológicas de la boquilla. - El estudio incluía un levantamiento geológico a semidetalle recomendándose la realización de algunas obras de exploración (socavones y perforaciones). También se localizaron bancos de materiales.

En el mismo año, Lesser Jones efectuó una visita de inspección a la boquilla de Huites coincidiendo en las recomendaciones del informe anterior, en el sentido de ampliar las exploraciones geológicas, profundizando los barrenos ya existentes y ampliando los socavones que se labraron - en el eje de la boquilla. A finales de 1963 Ramírez Gutiérrez y García Herrera presentaron un informe geológico que resume las actividades en la boquilla de Huites durante mayo de 1962. El estudio se realizó en base a la geología superficial y obras directas de exploración (barrenos y socavones) en el eje de la boquilla y en algunas zonas consideradas importantes de las cercanías del mismo. En este informe ya se toma en cuenta la localización de posibles bancos de material.

En 1966 nuevamente se hicieron consideraciones técnicas y económicas acerca del P.H. Huites, por parte del Departamento de Planeación y Estudios. Las conclusiones a que se llegaron fueron que se disponía de información técnica correcta pero el costo de la opción menos cara era demasiado elevado.

En septiembre de 1970 se hizo otra visita de inspección por parte -

de Razo Montiel y Constance, dando como resultado un informe breve.

Finalmente en mayo de 1979 se reiniciaron los estudios preliminares de la boquilla de Huítes para realizar un levantamiento geológico detallado, así como el reconocimiento general del área que será el embalse de la presa.

1.3. - Método de Trabajo.

Topografía. - En algunos casos para los levantamientos geológicos se usaron planos topográficos escalas 1: 1000, 1: 10 000 y 1: 20 000, elaborados para la C. F. E. por Aerotécnica de México, S. A. en 1967, siendo la exactitud de estos levantamientos aceptable para los fines que se perseguían.

Se levantaron también brechas para estudios geofísicos en ambas márgenes y se efectuó una nivelación diferencial desde los bancos de nivel situados en la boquilla hasta el puente de Chínipas en Palo Dulce.

Para el levantamiento a detalle del eje de la cortina se usó un aparato DISTOMAT, de alta precisión, el cual también fue utilizado para tomar algunos puntos sobre los contactos geológicos granito-corneana y corneana-secuencia Ignimbrítica.

Geología. - Para la geología a detalle en el portal de entrada de vertederos se situó una cuadrícula que fue levantada con tránsito cubriendo un área de 450 m x 250 m (0.1125 Km²) aproximadamente; esta retícula

tiene una orientación de S42E para las líneas más largas y de S48W para las más cortas, siendo el espaciamiento entre estacas de 25 m, exceptuando algunos casos en donde la topografía del terreno no lo permitía.

Se llevó a cabo un estudio geológico a detalle en el área donde quedará emplazado el portal de entrada de vertedores. En este levantamiento, al igual que en todos los aplicados a la geotecnia, se trata de conocer lo más ampliamente posible las condiciones físicas de la roca, por lo que se puso interés en el reconocimiento de fallas, fracturas, superficies de deslizamiento, crucero, exfoliación, diaclasas, zonas de contacto, etc. También se observaron otras características de la litología expuestas en el área como son el contenido de arcillas, óxidos u otros compuestos que, en determinado momento, pudieran afectar la solidez de la roca bajo condiciones de tensión, compresión y alta humedad. Además se identificaron las unidades litológicas del área, se interpretó la secuencia histórica de eventos geológicos y se hizo una descripción megascópica de las rocas en sus diferentes facies.

Se hicieron varios reconocimientos en las cercanías de la boquilla, para lo cual se usaron planos topográficos con escalas 1: 1000 y 1: 20 000. La finalidad de estos reconocimientos fue mapear rasgos estructurales mayores (fracturas, fallas), así como delimitar zonas de alteración y litología.

Para el reconocimiento de bancos de material se usaron fotografías aéreas de escala 1: 55 000, aproximadamente.

1.4. - Localización y Vías de Comunicación.

La boquilla del P. H. Huites está localizada en el extremo norte del Estado de Sinaloa, en el Municipio de Cholix, muy cerca de los límites con Sonora y Chihuahua. Este proyecto forma parte del programa de aprovechamiento del caudal del Río Fuerte. Con respecto al poblado de Cholix, la boquilla está situada a 16 Km. al NW 16°, siendo sus coordenadas 26°50'32" latitud Norte y 108°22'12" Longitud Oeste (Figura 1°)

Para llegar al sitio de la boquilla se cuenta con la carretera estatal No. 23 que va de los Mochis a Cholix pasando por San Blas y El Fuerte y -- cuya longitud es de 128 Km. De Cholix a la boquilla de Huites se puede llegar por un camino de terracería de 18.6 Km. de longitud, el cual es transitable en cualquier época del año.

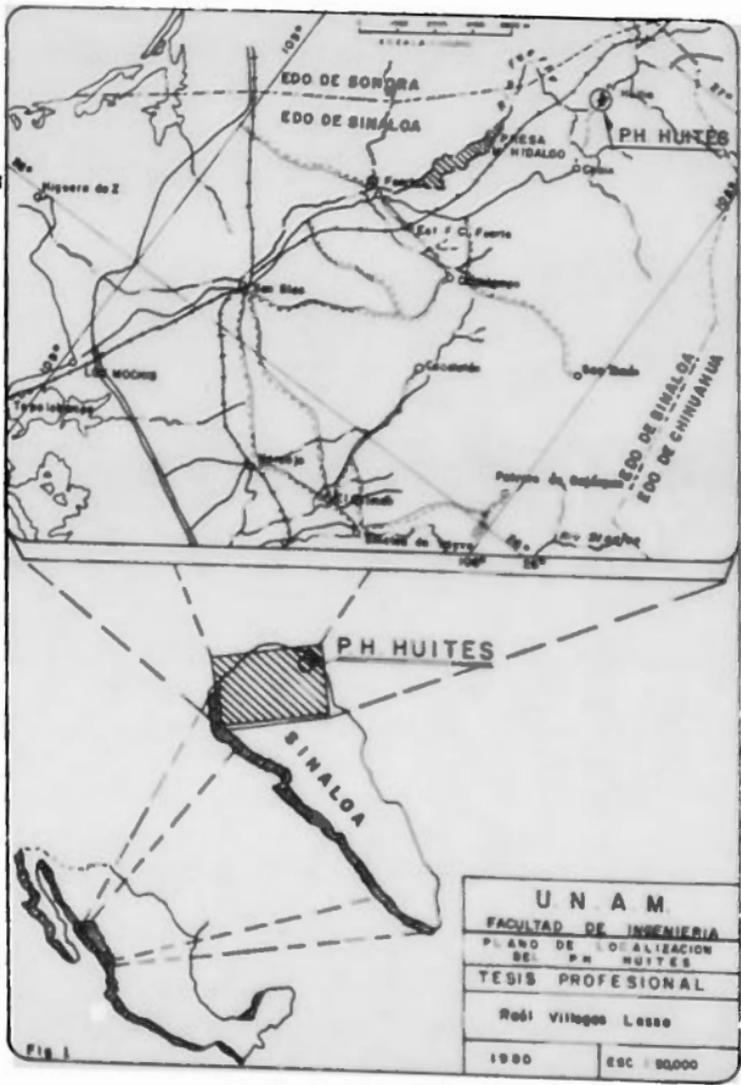
Cholix cuenta también con una pista corta de terracería donde aterrizan avionetas. Existe además una base permanente de la Procuraduría General de la República que da servicio y combustible (turbosina) a cualquier tipo de helicóptero. La población cuenta con servicio telegráfico de buena calidad. Desgraciadamente no hay comunicación telefónica.

1.5. - Clima y Vegetación.

El clima en el área del proyecto presenta pocos cambios durante el año, siendo los más significativos durante el invierno. Generalmente es cálido extremo según la clasificación de Koppen modificada por García (1964). La temporada de lluvias en el área de estudio tiene lugar en los --

° Huites es el nombre del proyecto y Huitis es el rancho.

7
1



meses de julio, agosto y septiembre, con precipitación media anual de -- 568 mm, registrada en la Estación Climatológica de El Fuerte, durante - el periodo de 1926-1962 (Rodríguez Torres, R. 1977). Además durante - el invierno tienen lugar las equinoccias que son temporadas de 10 a 15 días de lluvia.

Según la superficie que cubren, los tipos climáticos predominantes son los siguientes:

En la Planicie Costera, el clima es semi-árido y extremo, muy cálido, con temperatura media anual de 23°C, la máxima absoluta de --- 43°C, en julio y la mínima de 0°C en el mes de enero, con régimen de -- lluvias en verano.

En las estribaciones de la Sierra Madre Occidental los climas que predominan varían entre el semi-árido, seco y árido-subhúmedo, con -- temperatura media anual de 22°C y la temperatura del mes más frío de -- 0°C, régimen de lluvias en verano, un porcentaje de lluvia invernal entre 5% y 10% del total anual.

La vegetación es de tipo semi-árido, presentándose de acuerdo a - la altitud sobre el nivel del mar.

Por ejemplo, en las zonas bajas, entre 50 y 1 200 m sobre el nivel del mar, prevalece la vegetación del tipo de las gramíneas-pastizales y - gran variedad de zacates según Hernández (1963), como son el zacate lle-

bre (Cathastecum erectum), grama (Boutelouarothrockii), aceitilla (B. --
artatidoides), zacate cepillo (B. gracilis), zacate temprano (Setaria ---
macrostachya), zacatón (Sporobolus wrightii), zacatón alcalina (S. airol--
des); cactáceas como biznagas (Mamillopsis sp.), lechuguilla (Agave le-
chuguilla), pitahayo (Lemaireocereus sp.), uña de gato (Acacia greggii),
candelilla (Euphorbia antisiphilitica). En las partes altas, la flora está -
compuesta por matorrales espinosos y arbustos de 2 a 6 m de altura, con
hulzache (Acacia farnesiana), mezquite (Prosopis juliflora), guayacán ---
(Guaicauum coulteri), palo blanco (Ipomoea arborescens), manto (Lysiloma
divericata), pochote (Ceiba acuminata), guamúchil (Phithecollobium dulce),
nanche (Byrsonima crassifolia), y huanacaste (Euterolobium cyclocarpum).

En las partes más altas de las Sierra Madre Occidental la vegeta--
ción está constituida por pifonares (Pinus cembroides), pino (Pinus sp), en
cinos (Quercus gamellii), y cedro rojo (Cedrela odorata). En las márgenes
de los ríos con frecuencia se encuentran álamos (Populus tremoloides), y -
fresnos (Praxinum sp.).

1.6. - Condiciones Socioeconómicas.

1.6. a). - Cultura.

El Estado de Sinaloa tiene 1,400 000 habitantes, de los cuales el --
55.4% habitan en congregaciones rurales y el 44.6% en comunidades urba--
nas. El 55.3% de la población cuenta con servicios de salubridad. El alto -
índice de natalidad en el estado (4.5% anual) contrasta con el bajo índice de

mortalidad.

El 56% del total de asentamientos con más de 500 habitantes cuenta con servicios de agua potable y electrificación.

Todas las poblaciones del estado cuentan con escuelas primarias - en donde se imparte la enseñanza hasta el tercer grado. En el período --- 1970-1971 un 79% del total de la población en edad escolar recibió este tipo de educación.

La educación media y a nivel de preparatoria está restringida a los poblados mas importantes como Culiacán, Mochis, Guasave, Choix, etc. - La educación superior está a cargo de la Universidad Autónoma de Sinaloa y del Instituto Tecnológico de Culiacán, ambos en Culiacán.

En algunos sitios como Bacorehuis y Sibirigua, existen comunidades indígenas pertenecientes al grupo étnico de los Cahitas.

1.6. b). - Economía.

La economía de la región es eminentemente agrícola, aunque en algunos poblados de la Sierra Madre Occidental como son San José de Gracia y Chicorato, predomina la ganadería. Por lo que respecta a la minería, en la actualidad empieza a tener influencia en la economía de la región.

GEOMORFOLOGIA .

1.7. - Provincias Fisioográficas.

El P. H. Hultes, se localiza en el extremo norte del Estado de Sinaloa. Fisioográficamente esta región forma parte de las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, la cual se subdivide en la llamada Provincia de Sierras Sepultadas (según Raisz, 1959), que a su vez se divide en: a) Sierras de Pie de Monte y b) Planicie Costera. El P.H. Hultes queda situado dentro de la Subprovincia de Sierras de Pie de Monte (Figura 2).

Rodríguez Torres y Córdoba A. (1977), describen la unidad de Sierras de Pie de Monte como sigue: "Localizadas entre las Altas Mesetas Riolíticas y la Planicie Costera; consisten de montañas parcialmente sepultadas. Estas montañas hacia el oriente adquieren mayores elevaciones."

En la Subprovincia de Sierras de Pie de Monte los ríos han labrado sus cauces siguiendo un sistema de fallas de rumbo N-NW. Las formas rocosas de esta faja son jóvenes, puesto que es fácil reconocer sobre las lavas los centros de los focos eruptivos así como sus formas bien conservadas".

1.8. - Hidrografía.

En el Norte y Noroeste de Sinaloa los cursos de los ríos generalmente se encuentran controlados por grandes estructuras, como el Río Fuerte -



Fig. 2

ENHENA DE LOCALIZACION



LEYENDA



UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
DE LA
REPUBLICA MEXICANA
TESIS PROFESIONAL

Raúl Villegas Lasso

980

que nace en la Sierra Madre Occidental en el Estado de Chihuahua, desarrollándose la mayor parte de su cauce en el Estado de Sinaloa. Los principales afluentes del Río Fuerte son los ríos Chínipas, Septentrión, Urique, Reforma y Choix; éste tiene la misma orientación general NE-SW de todos los ríos que nacen en la vertiente occidental de la Sierra Madre Occidental.

El Río Fuerte nace en la Sierra de Tephuanes en el Estado de Chihuahua con el nombre del Río San Miguel, con este nombre cruza parte del Estado de Chihuahua. Al llegar al Estado de Sinaloa y al unírsele los ríos de Batopilas y de Urique, recibe el nombre de Río Fuerte y sigue una dirección NE-SW, pasa por El Fuerte y San Blas y como a 5 Km. de esta última población cambia bruscamente su curso hacia el poniente y continúa en la misma dirección hasta desembocar en el Golfo de California.

El Río Fuerte se puede considerar en una etapa de juventud, dentro del ciclo geomorfológico, en las partes superior y media de su curso y, en una etapa de madurez en la parte inferior, dentro de la Llanura Costera.

Este río ha tenido movimientos laterales dejando meandros, lagunas de herradura y albardones naturales, cambios continuos que facilitaron la formación de amplios deltas en sus desembocaduras y que actualmente constituyen un sistema estuarino.

El caudal del Río Fuerte es almacenado en la Presa Miguel Hidalgo localizada al NE de El Fuerte. De esta presa y por medio de un bien traza-

do sistema de canales, la Comisión del Río Fuerte ha logrado que gran --
parte de las tierras del Valle de los Mochis se beneficie. Sin embargo, --
aún quedan extensiones importantes de tierra sin abrirse al cultivo por fal
ta de nuevas redes de canales.

El drenaje de la zona de estudio es dendrítico, es decir, los tribu-
tarios forman arborescencias que descienden hacia el río principal.

II. - GEOLOGIA REGIONAL.

Introducción.

A continuación se hace una descripción general de las características más sobresalientes de la geología de la región donde queda comprendido el P. H. Huites.

En la parte norte del Estado de Sinaloa se encuentra aflorando una roca granítica del Terciario Temprano, la cual forma parte del Batolito -- de Sonora-Sinaloa, que ocupa grandes extensiones en la región.

Este intrusivo se encuentra afectando tanto a rocas sedimentarias - como volcánicas, dando lugar a zonas de metamorfismo de contacto, áreas alteradas hidrotermalmente y zonas de intenso fracturamiento y fallamiento.

Según datos de estudios geológicos de la región de que se dispone hasta la fecha, se observa que las rocas más antiguas del área son calcáreas, - generalmente recristalizadas, cuya edad es del Cretácico Inferior. Encima se encuentran rocas volcánicas de diferentes edades: Las cretácicas (andesitas, dacitas y sus correspondientes piroclásticos) fueron afectadas por el -- granito, mientras que las ignimbritas riolíticas, atribuidas al Plioceno, no.

Finalmente se observan cuerpos hipabisales de diabasa y mesetas de basalto, cuya edad varía entre el Plioceno y Pleistoceno.

II.1. - Litoestratigrafía.

El Instituto de Geología de la U.N.A.M. editó en 1977 la Hoja Huixtla, que abarca aproximadamente un radio de 30 Km alrededor de Cholix, - en la cual se describen las unidades litológicas de la región, que serán -- mencionadas a continuación:

a). - "Unidad Paleozoica, Sedimentaria". - Se llama así a una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Paleozoico, cuyo metamorfismo varía de bajo a nulo, correspondiendo el grado más intenso a los límites entre las facies de esquistos verdes y anfibolita de almandino. En general la unidad se caracteriza por rocas esquistosas, pizarra, cuarcita, caliza recristalizada, pedernal y otras rocas arcillo-arenosas. La morfología característica de los afloramientos de estas rocas es la de lomeríos bajos y redondeados. Afloran en el SW y S de la Presa Miguel Hidalgo, como una faja que forma un semicírculo de 3 Km. de radio por 8 Km. de diámetro. -- Existen buenos afloramientos al norte de El Fuerte, sobre el camino a la presa mencionada, así como sobre la carretera que va de esa población a Cholix y también en el camino El Fuerte - Tetaroba-Chinobampo.

La tectónica de fallamiento en bloques muy estrechos no permite -- apreciar estructuras amplias. Además, la unidad está intrusionada por numerosos diques, mantos y algunos troncos de tamaño considerable y está -- cubierta en discordancia por rocas clásticas del Terciario ("Unidad Terciaria Clástica") y por rocas volcánicas ("Unidad Terciaria Superior").

b). - "Unidad Mezozoica, Metamórfica". - Está constituida por una secuencia de rocas metavolcánicas básicas, intermedias y ácidas interestratificadas con sus piroclásticos. Su expresión morfológica es similar -- a la de la unidad anterior. Se pueden observar muy buenos afloramientos - en el camino que va de Hornillos a Calera, y también en el camino entre - Chinobampo y el Frijol.

La litología de esta unidad está constituida por rocas volcánicas básicas, intermedias y ácidas con piroclásticos, afectadas por procesos de - metamorfismo regional y posteriormente de contacto.

La edad de estas rocas puede variar de Permotriásico a Cretácico Temprano.

c). - "Unidad Cretácica". - Son rocas esencialmente calcáreas pero - de litología variable y su edad oscila entre el Paleozoico Tardío y el Jurásico o Cretácico. Forman las partes más altas de la zona de lomeríos.*

Se han localizado afloramientos en el Valle del Río Choix, al este - de la población del mismo nombre y al norte del Río Reforma, en el límite entre Sinaloa y Chihuahua.

La caliza está fuertemente sfalada y localmente brechada, posible- mente debido a la deformación mecánica que produjo el granito. Toda la cali za es de grano muy fino, de color gris, masiva y sin ninguna estructura vi- sible.

* Inexplicablemente, Rodríguez Torres y Córdoba (Op.Cit.) no diferenciaron las diferentes calizas del área, incluyéndolas todas en el cretácico.

Rocas Volcánicas y Sedimentarias Cenozoicas.

d). - "Unidad Terciaria Inferior, Básica". - Es la más antigua de la secuencia de rocas volcánicas del Terciario, descansa discordantemente sobre rocas metamórficas e intrusivas y consiste principalmente de lava andesítica y arenisca tobácea oxidada. Las rocas que forman esta unidad generalmente se presentan muy alteradas por procesos hidrotermales y en algunas localidades se encuentran mineralizadas. Sus afloramientos están bien expuestos en la parte alta del Valle del Río Choix.

e). - "Unidad Terciaria Inferior, Volcánica". - Consiste de lavas y tobas andesíticas, arenisca tobácea oxidada, basalto, dacita, riolita y sus respectivas tobas y aglomerados; también esta unidad se encuentra afectada por procesos hidrotermales y cuerpos intrusivos. Su morfología característica es de bloques escarpados con inclinaciones en diversas direcciones y en algunas partes, es común encontrarla sumamente erosionada. Su edad es del Cretácico Tardío-Terciario Temprano. Su espesor varía de 75 m a 100 m. Aflora al E del rancho Casas Viejas, en la Sierra de los Cedros.

f). - "Unidad Terciaria Inferior, Ácida". - Está constituida por lavas, tobas e ignimbritas de composición ácida, aunque también es común observar rocas de composición intermedia, interestratificadas con las netamente ácidas; esta unidad es común encontrarla alterada por procesos hidrotermales y cortada por numerosos diques de composición andesítica a riolítica. -

La morfología y el tamaño relativamente amplio de sus afloramientos hacen pensar que para llegar a tener las características actuales, debió haber pasado por un período muy largo de intensa erosión, favorecida tal vez por movimientos tectónicos de bastante importancia. Actualmente estas rocas se encuentran cubriendo las partes altas de los cerros casi siempre formando escarpes y cañadas de profundidad considerable.

Aflora desde el sitio del P.H. Hultes, formando las partes más altas, hasta la Sierra de los Cedros, siguiendo una dirección $53^{\circ}E$, con una longitud de 32 Km. aproximadamente.

La Ignimbrita que se encuentra en las cercanías de Choix es una toba lífrica color gris rosado con fragmentos de pumicita color gris verdoso.

Se estima un espesor mínimo aproximado de 750 m. Su edad es Terciario inferior-Terciario medio.

g). - "Unidad Terciaria Media, Volcanoclastica. Consiste de las siguientes unidades: arenisca, arenisca tobácea, conglomerado, aglomerado, tobas y lavas ácidas interestratificadas

Los fragmentos en los conglomerados son de rocas volcánicas principalmente y en menor cantidad de rocas intrusivas

La morfología de esta unidad es muy irregular coexistiendo el relieve anguloso con valles bien desarrollados, especialmente hacia la Planicie Costera.

Descansa en discordancia angular con la "Unidad Terciaria Inferior Acida".

Aflora a 35 km al S 45°E del poblado de Choix.

h). - "Unidad Terciaria Superior. Acida". - Son rocas eminentemente ácidas, con poca inclinación y horizontales. Consisten de lavas y rocas - piroclásticas de composición riolítica, siendo la parte más importante de ellas las Ignimbritas que constituyen la parte principal y más alta de la - Sierra Madre Occidental, cubriendo extensas áreas, principalmente la zona de mesetas.

Se han obtenido datos radiométricos de rocas de esta unidad que indican 13 millones de años, por lo que probablemente representan el intervalo comprendido entre la parte superior del Terciario Medio y la inferior - del Terciario Superior.

Aflora a 25 km al E del poblado de Choix.

i). - "Unidad Terciaria Clástica". - Está formada por conglomerado, arenisca y arenisca tobácea con diastratificación, estratificación graduada, clásticos orientados y canales de relleno por lo que se piensa que han sido transportados y depositados en agua, sin haber cesado totalmente la actividad volcánica y controlada esta sedimentación por fallas normales.

Los afloramientos se presentan en tres áreas diferentes rellenando fosas formadas por bloques rectangulares de granito afallado. Sobre una de

estas áreas está asentada la Villa de Choix; otra zona aflora en la parte baja del Valle del Río Choix; la tercera se encuentra al norte del mismo río en donde las rocas sedimentarias están fuertemente falladas y la estructura es muy compleja.

La edad es probablemente Terciario Medio y quizás Superior.

)). - "Unidad Terciaria Superior, Básica". - Cubriendo discordantemente a las unidades volcánicas y volcanoclásticas anteriores se presentan rocas de composición básica: consisten de lavas y brechas basálticas y en algunos lugares están constituidas por derrames de composición andesítica a latítica, a diferencia de las unidades anteriores: en ésta sí es posible observar aparatos volcánicos debido principalmente a que son rocas muy jóvenes.

El basalto al norte del Lago Mahone probablemente representa un pequeño volcán de tipo escudo. La gran área del basalto que cubre aproximadamente 10 Km^2 al sur del Río Fuerte y oeste del Río Choix también parece haber sido un volcán de tipo escudo; en algunos lugares es posible ver la morfología característica de los conos de ceniza, como a 4 kilómetros al nor-noroeste de Agua Caliente y a 2 o 3 Km al norte del puente del ferrocarril sobre el Río Fuerte.

Algunos basaltos están datados como cuaternarios, pero también hay algunos un poco más viejos, como es el caso de los que están interdigitados con clásticos continentales.

En el área de la boquilla y sus alrededores se tienen diques y mantos de dolerita, los cuales intrusionan a toda la litología y son de composición mineralógica equivalente al basalto, solo que estos son de origen hipabisal.

Resumiendo, la actividad volcánica cenozoica principia con rocas de composición andesítica, seguida por un período de actividad volcánica ácida; más tarde viene un período erosivo, con actividad volcánica explosiva, fundamentalmente ácida y por último otro período erosivo y eyección de rocas básicas.

Sedimentos aluviales.

k). - "Unidad Cuaternaria, Pleistocena, Clástica". - Se designa así a los depósitos conglomeráticos, de talud y abancos aluviales, constituidos por peñascos, matatenas y gujarros de composición variable. Morfológicamente se presentan como lomeríos de suave relieve.

En el valle del Río Fuerte aflora la "Formación Testa" como grava litificada.

Las gravas expuestas a ambos lados del Río Fuerte y que constituyen terrazas bien conformadas se conocen como "Formación Vado" y cubren discordantemente a las formaciones "Maunc" y "Testa".

l). - "Unidad Cuaternaria, Reciente, Planuras de Inundación".

Con este nombre se conocen los depósitos sedimentarios aportados-

por los ríos y sus afluentes en la zona aluvial, albardones y canales fluviales.

En la llanura de inundación fluvial se tiene a los sedimentos finos, - limo y arcilla, con frecuencia micáceos y ricos en materia orgánica. Los sedimentos arenosos y areno limosos se localizan en albardones y las gravas en el lecho de los canales fluviales y esporádicamente en la llanura de inundación.

Rocas Intrusivas.

m). - "Unidad Intrusiva Ácida"

Con este nombre se designa a las rocas de composición ácida a intermedia que consisten principalmente de granito, granodiorita y monzonita como facies o asociación petrológica principal del batolito que aflora en Sonora y Sinaloa, siendo estas rocas intrusivas las que presentan mayor área de afloramiento.

Una vista de conjunto de todos los afloramientos de esta unidad permite ver que el intrusivo en los alrededores de Chioix alcanza dimensiones batolíticas con un alargamiento nor-noroeste y cubre un área aproximada de 2000 Km², incluyendo las partes inferidas cubiertas por una delgada sección de derrames basálticos y rocas sedimentarias clásticas.

En general la unidad representa un gran batolito o un conjunto de batolitos relacionados, sepultados en parte por sedimentos de la planicie cos

tera y hacia el este por el grueso paquete de Ingnimbritas que forman la Sierra Madre Occidental.

En relación a la edad del batolito, se han publicado varias dataciones; por ejemplo, de Caerna et al. (1962) dataron un tronco granítico localizado al sur de la Presa Miguel Hidalgo. La edad de la intrusión fue determinada por el método K-Ar, sobre biotita, dando una edad de $+ 75$ millones de años. Anderson et al (1969) indican que esta unidad se emplazó en una gran parte del Oeste de México durante el Cretácico Tardío y Terciario Temprano. Se han determinado edades de estas intrusiones graníticas por el método de U-Pb, a partir del zircón, a lo largo de la costa de Sonora desde la Bahía de Kino hasta San Luis Río Colorado. Se obtuvieron edades desde 82 ± 3 a 100 ± 3 millones de años. Sin embargo, un dato no publicado de edad por Potasio-Argón del "Batolito de Sinaloa" en el sur del estado, dio una edad de solo 40 millones de años.

n). - "Unidad Intrusiva, Básica"

Se llama así a un conjunto de rocas intrusivas que forman cuerpos menores y diques de composición andesítica.

A 6 Km E-SE de Agua Caliente aflora un gabro de olivino fuertemente intemperizado y alterado.

Estos intrusivos son los más jóvenes que existen en el área ya que cortan a las rocas volcánicas del Terciario.

En las rocas volcánicas a las que intrusiona solo se nota la silicificación y en ocasiones se encuentran xenolitos de dichas rocas dentro del intrusivo.

De acuerdo a un criterio regional en cuanto se refiere a la posición cronológica de estas rocas, se consideran que son del Terciario Tardío, ya que afectan al granito y a toda la secuencia de rocas volcánicas, incluidas las Ignimbritas del Terciario Medio.

11.2. - Tectónica.

Las grandes estructuras que se observan en el extremo norte del Estado de Sinaloa son fallas y fracturas de importantes dimensiones que burdamente corren paralelas a la línea de costa, o sea NW-SE.

La relación genética que pudiera existir entre estas grandes fallas y la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Continental Americana, es motivo todavía de controversias.

Lo que ha quedado bien establecido es que estos alineamientos persisten a todo lo largo de la Sierra Madre Occidental, la cual tiene la misma orientación. Según Bonneau (1971) el plegamiento principal de rocas preexistentes al Batolito de Sinaloa ocurrió hacia fines del Cenozoico 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. Las zonas de debilidad que sirvieron de conducto a este volcanismo es probable que --

hayan sido las grandes fracturas de orientación NW-SE, que ya existían durante esa época. En efecto Atwater (1970) y Demant (1975) coinciden en -- afirmar que "las manifestaciones volcánicas de tipo "arco insular" calcoalcalino (Sonora-Sinaloa) están relacionadas con los movimientos de hundimiento (subducción) de la Placa de Farallón debajo de la Placa Americana". las cuales invariablemente son paralelas a las 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 post-geosinclinal. Según Bonneau (op. cit.), desde fines del Terciario hasta hoy la región está sufriendo una tectónica de extensión 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 al sistema antes descrito, aunque poco numerosas, juegan 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 de 1969 el área del proyecto se encuentra dentro de la Zona Peninsular, donde los sismos son poco frecuentes, lo cual viene a corroborar 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.

III. - GEOLOGIA DEL AREA DE LA BOQUILLA.

Introducción.

El área de la boquilla de Huiztes está constituida principalmente por tres tipos de roca, con algunas variaciones en su constitución. La roca más antigua corresponde a una brecha proveniente de una serie volcánico-sedimentaria que se conoce en gran parte del Estado de Sonora y en el norte de Sinaloa, de edad Jurásico Superior-Cretácico Superior y constituida por alternancias de andesitas o tobas andesíticas y calizas en estratos de medianos a gruesos, la cual se ha incluido dentro de la corneana; esta serie fue intrusada en el Terciario Inferior por un cuerpo granítico de grandes dimensiones que forma parte del batolito de Sonora y Sinaloa del borde Oeste de la Sierra Madre Occidental. Por intemperismo esta roca granítica generalmente adopta formas arredondadas como en el caso del domo granítico localizado en la margen derecha a la altura del cje de la cortina.

Encima de la brecha se encuentra una roca metamórfica clasificada como corneana que es el resultado de la intrusión del granito en una roca volcánica, aparentemente de composición diabólica y cuya edad es también del Cretácico Superior.

Posterior al emplazamiento del granito ocurre el depósito de piroclastos dando como resultado una secuencia ignimbrítica constituida de varios miembros, todos ellos de composición riolítica.

El último evento está representado por el emplazamiento de diques doleríticos.

A continuación se hace una descripción en orden cronológico de cada unidad: (ver figuras 3 y 4).

III.1. - Litoestratigrafía.

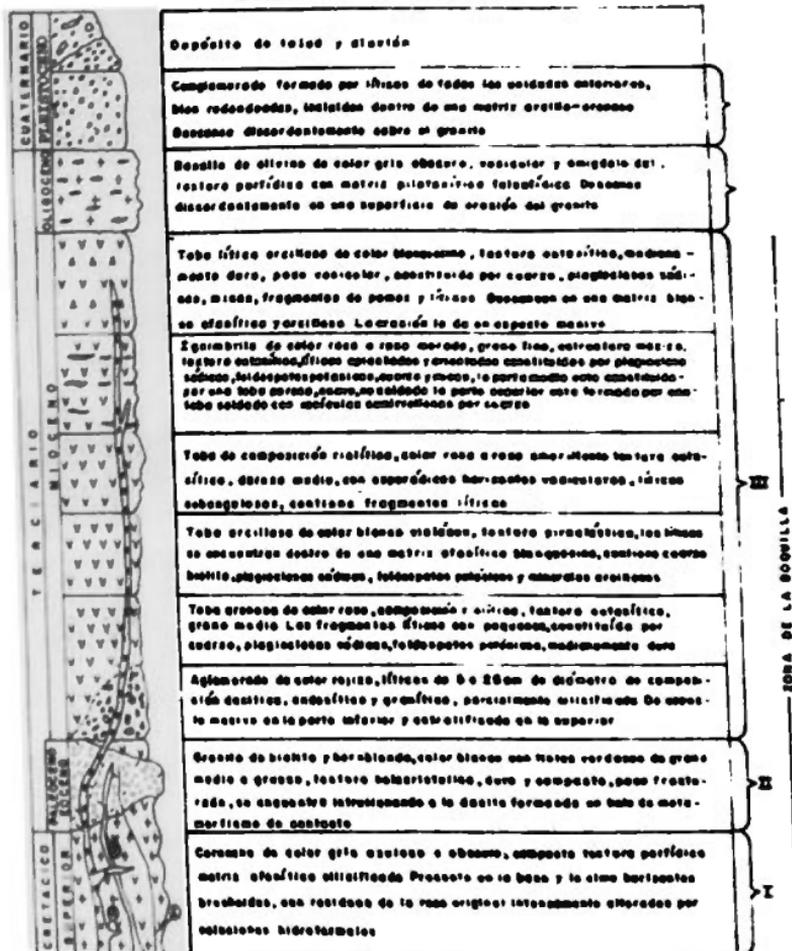
Corneana: Es una roca de color gris oscuro a gris azulado, de textura porfídica a brechada con fracturamiento intenso en superficie, pero menor a profundidad, estando algunas fracturas rellenas por hematita. Cuando la roca está silicificada, aumenta su dureza volviéndose más compacta. Su composición esencial es: cuarzo, feldespatos (plagioclasas sodícas) y fragmentos de roca, siendo sus minerales accesorios turmalina, hematita, biotita, pirita, augita, zircón y hornblenda. Como minerales secundarios se tienen hematita, minerales arcillosos, clorita, epidota, turmalina y granate, los cuales enmascaran la composición original de la roca.

Además se encuentran óxidos y sulfuros de cobre y plomo los cuales se presentan en forma de vetilla o diseminados en la roca. En cuanto a la parte brechada, se puede decir que los fragmentos de roca que la componen no han sido identificados debido a la intensa alteración que sufren. La presencia de cuarzo, epidota, turmalina y limonita, nos indica que esta roca sufrió una alteración hidrotermal.

Quando la brecha se encuentra en contacto con el granito los fragmentos varían entre 2 y 15 cm de diámetro estando cementados por arcilla.

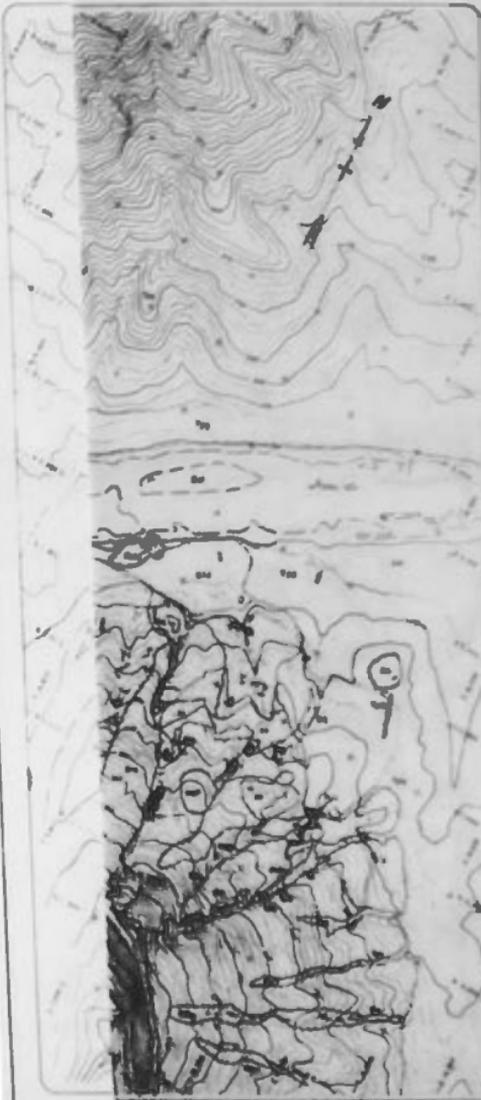
En las margenes del Río Fuerte, aguas arriba del eje de la cortina, la corneana está muy oxidada y bastante fracturada, haciendo a la roca poco estable, pero al ir disminuyendo el fracturamiento a profundidad la roca se

COLUMNA LITOLÓGICA

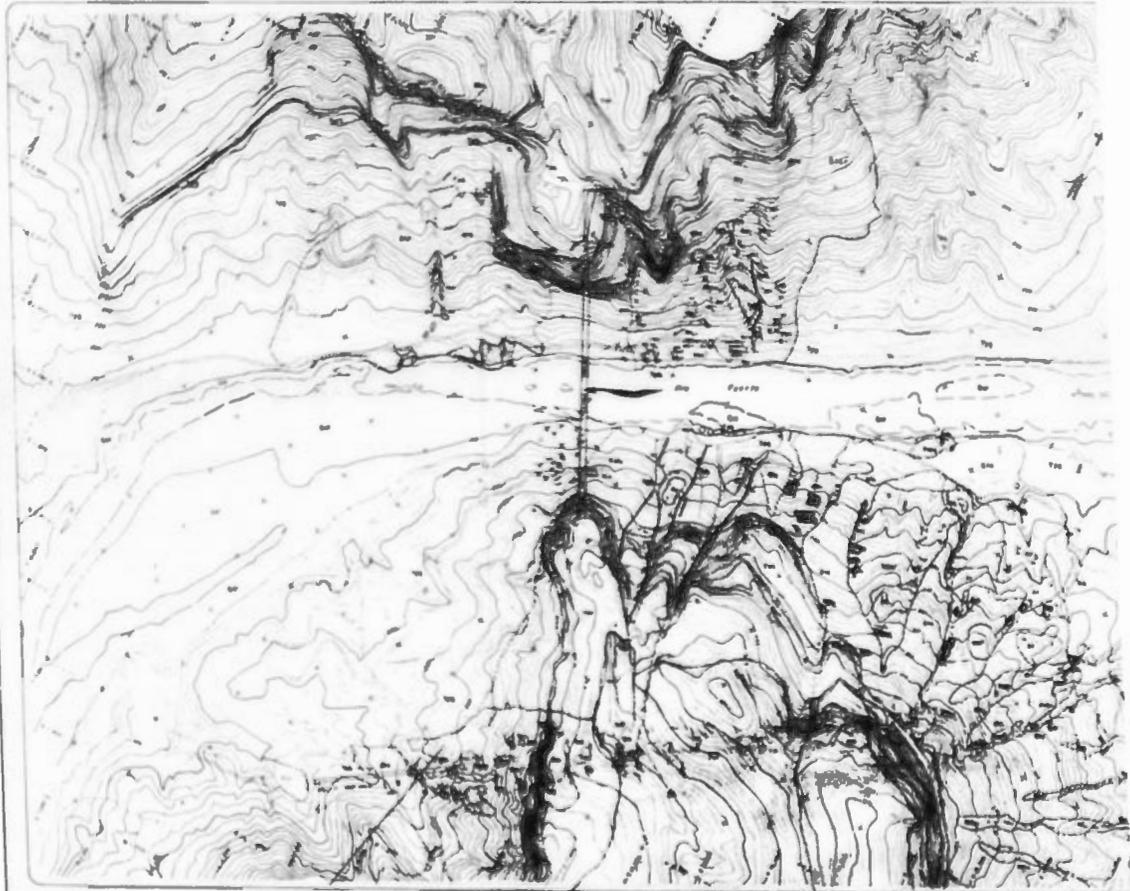


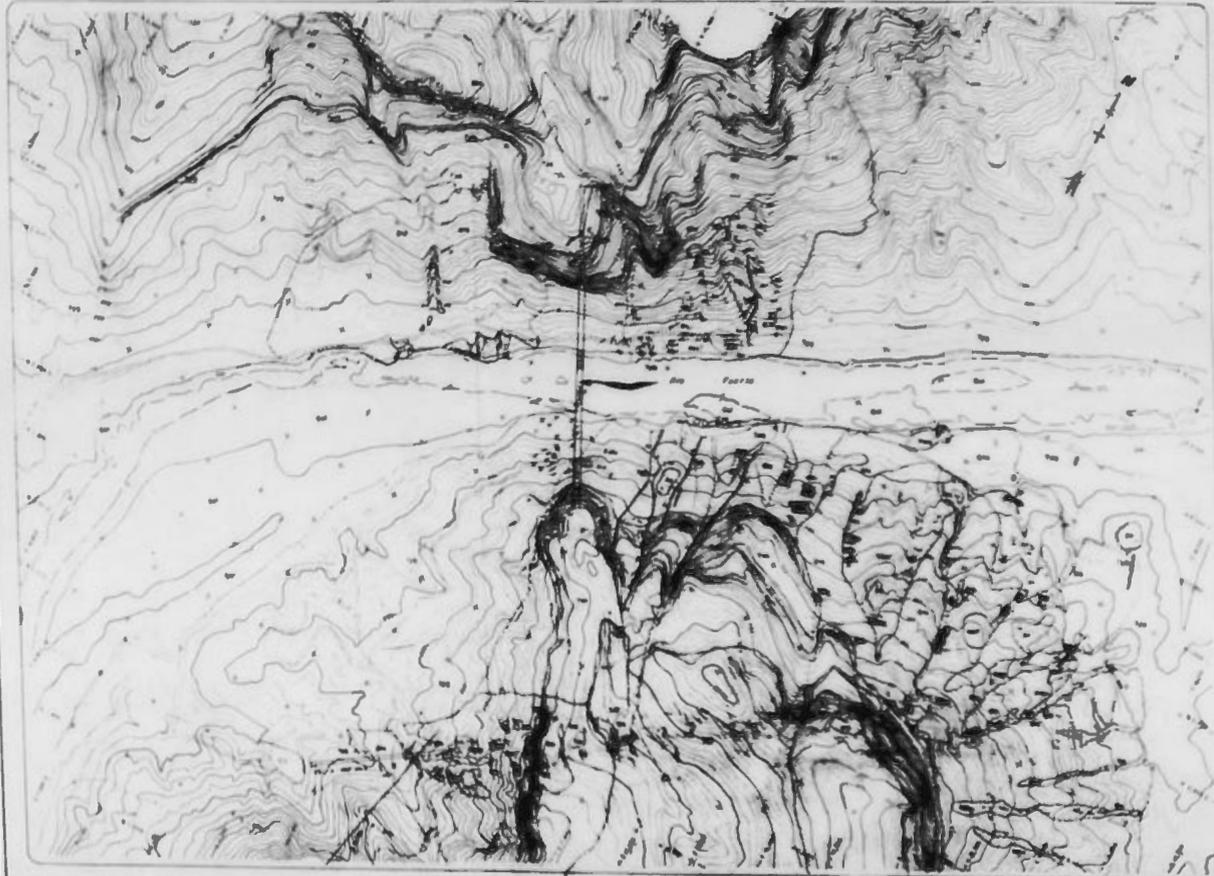
- 1) Apilte en venillas
- 2) Dribase en diques y montes
- 3) Termalite en rocas

Fig 3



UNAM
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 PROYECTO MONOELÉCTRICO HUDES
GEOLOGÍA DE LA BOQUILLA
 TESIS PROFESIONAL
 DOCT. WILBERT LÓPEZ
 0000 7000 PL. 000 074





UNAM
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 PROYECTO MADERES EL TIEMPO AVANZA
 GEOLOGIA DE LA BOQUILLA
 TESIS PROFESIONAL
 ANA VILLAGAS LEON
 2000 2000 1:500 000

va muy pedregosa sobre el talud, tal y como se muestra con la ejecución de obras mineras.

Cuando la roca está alterada hidrotermalmente va acompañada por silificación dándole una mayor solidez. El contenido de arcillas también es mayor del usual. Finalmente en el contacto de la roca normal se ve una secuencia aglomerada que tiene un aglomerado de color naranja (Foto 2).



Foto 2. En la estructura de la zona alterada hidrotermalmente, la conformación con el tipo de roca normal, basáltica, es bastante homogénea y simétrica.

Foto 3. La roca más estroada y pedregosa que se ve en la zona, corresponde al Corralico Superior (Foto 3).



Se trata de un Domo granítico de la margen N. del río, que se forma en la
dirección E. del río. En la cornisa y dentro del cual está instalada la Casa de M^o
García.

Su color es variable. Fundamentalmente gris oscuro, pero se puede encontrar
en otros tonos, al igual que en otros puntos de la zona, donde los conglomerados
muestran una gran variedad de composiciones minerales, como por ejemplo la
y fel

feldespatos potásicos, encontrándose como minerales accesorios a la magnetita, biotita, apatita, zircón, esfena y egirina-augita. Sus minerales secundarios son sericita, cuarzo, calcita y clorita.

Un cambio en la composición mineralógica esencial en esta roca es muy notorio dentro del área de estudio, formándose a veces granodiorita, la cual debido al alto contenido de máficos (hornblenda), se vuelve de una coloración verde oscura. Tanto el granito como la granodiorita tienen una textura holocristalina de grano medio, hipidiomórfica. Estos cambios en composición son esencialmente contemporáneos.

La alteración principal del granito es el cambio de los feldespatos potásicos a minerales arcillosos. Le sigue la propilitización, alteración hidrotermal de baja temperatura caracterizada por la presencia de cuarzo, epidota, calcita y clorita. El granito en algunas partes se encuentra muy fracturado, siendo las fracturas menores de un metro, las cuales se encuentran cerradas, abiertas y otras más rellenas por hematita.

En esta roca las grandes fracturas o fallas se encuentran orientadas NW-SE y casi siempre están ocupadas por diques de dolerita, lo cual evita que constituyan algún riesgo para la construcción de la obra civil. También se observan diques de aplita que intruyen únicamente al granito, por lo que se considera que se formaron por eventos tardíos de la consolidación del granito. Son de color rosáceo, de grano fino, de espesor y longitud pequeños en comparación con los diques de diabasa y de composición mineralógica igual a la del granito.

Secuencia Ignimbrítica:

Se encuentra aflorando en ambas márgenes del Río Fuerte en la boquilla de Hules formando cantiles de más de 50 m de altura (Foto 4).



De acuerdo a los estudios realizados hasta la fecha se han identificado los siguientes miembros dentro de la secuencia geosintética (Foto 5):



Foto 5

El primer miembro es de color rojo granítico, está compuesta con litología granítica. Este miembro está conformado por un pliegue que es el tipo de pliegue potásico. Este miembro es de 250 metros.

discordante con la corneana, en la base es lítica y arenoso, haciéndose más uniforme en su porción media; sin embargo, presenta horizontes aislados arcillo - arenosos bien delimitados. En la parte superior se vuelve más arenoso y más deleznable. Se encuentra afectado por fracturas y fallas normales de tensión de 5 - 15 metros de longitud; a veces el contacto con el miembro suprayacente está soldado, observándose algunas zonas de permeabilidad. En el barrenado No. 3 se pudo observar que el contacto con Tmt₂ es transicional.

Tmt₂ Toba arcillosa de color gris claro, textura piroclástica, con liticos angulosos, a veces aplastados, encajados en una matriz afanítica de color gris claro. Los minerales observables son los siguientes: cuarzo, biotita y arcilla siendo éstas el producto de alteración de los feldespatos.

Este miembro presenta una pseudoestratificación con echados al S55 E-35°SW en la entrada de vertederos, cambiando a una posición casi horizontal a la salida de los mismos.

El contacto con el miembro Tmt₃ es concordante.

Tmt₃ Toba lítica de color rojo intenso a amarillo rojizo, textura eutaxica, estructura maciza y aspecto masivo; sus minerales constituyentes son cuarzo, feldespatos (plagioclasas), micas y fragmentos líticos. Se observaron en forma esporádica horizontes vesiculares, que a veces cambian a amígdalas de calcita. Los líticos -

son subangulosos y están compuestos de pómez, cuarzo y biótitas. En la parte inferior este miembro es de textura arenosa de color rosa - rojizo, con abundantes líticos de diámetro pequeño, subredondados. En la parte superior contiene clastos hasta de 5 cm de diámetro, con horizontes arcillo - arenosos de color rojizo. La pseudoestratificación en la entrada de vertederos tiene un rumbo y echado de S55E - 35°SW, mientras que en la salida de los mismos su posición se vuelve casi horizontal. El fracturamiento de este miembro es normal a la pseudoestratificación.

Tm₄ Toba vítrea de color morado oscuro, de textura variable: a veces se presenta con grano fino y estructura maciza, otras más se observan líticos pequeños, aplastados y orientados. En la parte inferior está compuesta por plagioclasas y cuarzo en una matriz afanítica de color rosa oscuro, dando como resultado una textura eutaxítica; en la parte intermedia presenta vesículas orientadas y hacia la parte superior la estructura se hace más porosa o vesicular, lo que da lugar a que la roca se fracture con mayor facilidad. Este fracturamiento tiende a ser vertical y va ligado a un fallamiento de regulares dimensiones con un rumbo general de NW 60°. El entrecruzamiento de fracturas y fallas hace a los bloques muy inestables. Esto se presenta generalmente arriba de la cota 300, en la boquilla de Huites. En el barranco No. 1 se pudo observar que este miembro presenta un porcentaje de recuperación muy bajo, encontrándose el contacto con la unidad ignimbrítica

tica suprayacente a los 80 m de profundidad .

Tmt₅ Toba lítica arcillosa de color rosado, textura eutaxtica, de dureza media. Los líticos son de aproximadamente 5 cm de diámetro, de composición riolítica y se encuentran embebidos dentro de una matriz afanítica de color gris muy claro. Los fragmentos de pómez son subangulares. El fracturamiento en este miembro también es intenso y la exfoliación tiende a darle formas arredondadas. El contacto con la unidad inferior es transicional, y según se pudo observar en el barreno 1, muestra muy buena recuperación.

Diques de dolerita: Representan el último evento geológico de la región, su antigüedad es de aproximadamente \pm 4 millones de años. (El último evento volcánico conocido y correlacionable está representado al sur del área por conos y derrames basálticos que se supone, del punto de vista regional, son de esta edad; se piensa que los diques básicos son los conductos alimentadores de los basaltos).

Los diques de dolerita son de color verde oscuro, su composición es equivalente a la del basalto, es decir, están constituidos por plagioclasas cálcicas (labradorita y bitownita como minerales esenciales), presentándose como minerales accesorios olivino, piroxenos y magnetita. Sus minerales secundarios son clorita y calcita. Son de textura holocristalina, equigranular de grano fino e hipidiomórfica; la matriz está compuesta por clorita, microlitos de plagioclasas y minerales arcillosos, estos últimos general-

mente se encuentran sellando fallas y fracturas; sus longitudes y espesores son variables e intruisionan a toda la secuencia litológica de la región.

A veces la diábase se presenta en forma de mantos, cuyos mejores ejemplos se pueden observar en la margen derecha.

III. 2. - Estructuras.

A causa de la misma Tectónica Regional las fallas y fracturas del estrechamiento del Río Fuerte en la zona del P. H. Huites son el reflejo de este mismo control.

a). - Fallas

Se han identificado tres fallas importantes que afectaron a toda la columna litológica. Cortan transversalmente el cauce del Río Fuerte en la zona de la boquilla.

Debido a las evidencias geológicas y a su antigüedad (+ 4 millones - de años) se consideran inactivas ya que están selladas por sendos cuerpos intrusivos de dolerita, que fué la última manifestación volcánica en el área, no representando ningún riesgo tectónico, excepción hecha de que constituyen discontinuidades evidentes de la roca.

A continuación se hace una descripción de cada una de ellas.

Falla A. - Esta falla corre transversalmente al cauce del Río Fuerte y se halla situada aproximadamente a 90 m aguas arriba deleje de la cortina.

En la margen derecha su parte más alta alcanza la cota 465, exactamente arri

ba del llamado "domo" granítico, en cuyo núcleo quedará situada la casa de máquinas. En este lugar la Falla A tiene un rumbo general NW-43°, variando esta orientación en el cauce del río a NW-30°; en la porción más alta de la margen izquierda alcanza la cota 455, teniendo en este sitio un rumbo general N-S. Su extensión aproximada es de 1100 m. Su posición varía desde vertical hasta tener inclinaciones de 63° hacia el NE.

La Falla A se clasifica como normal, afectando a las tres grandes unidades litológicas de la boquilla: granito, corneana e ignimbrítica. El salto más peculiar es el que se presenta en la margen derecha, donde este rasgo pone en contacto directo la secuencia ignimbrítica sobre el domo granítico, tal como se muestra en el Plano Geológico General del estrechamiento del Río Fuerte. En la porción nororiental del domo, aguas arriba del eje de la cortina, se encuentra un gran bloque de la serie ignimbrítica (bloque de techo) que ha deslizado sobre una parte del granito (bloque de piso); la corneana ha sido removida hasta ocupar la cota 250 como nivel máximo. (En contraste, en la margen izquierda, la posición normal de la corneana alcanza por lo regular la cota 425, cerca de la zona de los portales de entrada de los túneles vertedores).

En general, en la margen derecha, la Falla A queda señalada por una cañada regularmente profunda, rellena casi en su totalidad por depósitos de talud, constituidos por bloques de ignimbrítica que varían desde unos cuantos decímetros hasta 3 ó 4 metros de diámetro. En este lugar, la falla aparentemente muestra una abertura que varía entre 1.5 y 8 metros. A par

tir de la cota 325 se observa que en realidad está soldada por un dique de dolerita que tiene en promedio 2 m de ancho.

No se encontraron evidencias de que los respaldos del dique (granito e ignimbrita) o en la dolerita misma, existan planos de deslizamiento que pudieran ser evidencia de una reactivación de esta falla. Los únicos espejos de falla que se encontraron corresponden a la ignimbrita, los cuales curiosamente tienen un sentido horizontal, en lugar de un sentido vertical, el cual sería de esperarse. Estos relieves corresponden al desplazamiento relativo entre los mismos bloques de ignimbrita ya rotos, que se han movido después de haber actuado la Falla A.

En la cota 225 de la margen derecha esta falla se encuentra enmascarada por una gruesa capa de talud, que impide observarla, hasta la margen izquierda, en la cota 155. En este lugar queda señalada por un arroyo de pronunciada pendiente sellada por un dique de dolerita de espesor variable entre 2 y 6 metros. Este dique corre únicamente de la cota 155 hasta la 260, aproximadamente. Su posición se puede considerar vertical y afecta tanto a la corneana como a la ignimbrita. En este sitio la falla muestra menos evidencia de movimiento relativo entre bloques, por lo que en realidad se convierte en una fractura. Las unidades que afecta son únicamente la corneana y la ignimbrita.

Una ramificación importante de la Falla A está constituida por el plano de contacto entre granito y corneana, que se localiza en la intersección de la cota 200 y el eje de la cortina, en la margen izquierda. En este

sitio, el contacto falla tiene un rumbo general NE-10° con un echado aproximado de 40 a 45° hacia el NE y una longitud aproximada de 250 m. Se ha podido constatar que el plano de contacto ha servido como un verdadero plano de deslizamiento entre las dos unidades. En el interior del socavón No. 3 se puede observar este contacto falla como una abertura de más de 10 cm. de ancho, mientras que en superficie aparece más cerrado y en ocasiones relleno por arcillas y hematita. A pesar de que los respaldos de esta falla son completamente planos, no se encontraron evidencias de movimientos recientes.

Falla B. - Esta discontinuidad se localiza aproximadamente a 255m - del eje de la cortina, aguas arriba, sobre el eje del cauce del Rfo Fuerte. - Sus características son similares a las de la Falla A: corre casi transversalmente al cauce del Rfo Fuerte, desde la margen derecha hasta la margen izquierda, con longitud de 850 m, en su porción medida en el terreno: tiene asimismo una ramificación inferida desde la margen izquierda, en la cota 150, con un rumbo general N-S y una extensión de 700 m.

La traza principal de esta falla tiene un rumbo general NW-15°, estando sellada, al igual que en el caso de la Falla A, por diques de dolerita - tanto en la margen derecha, como en la izquierda.

En la margen derecha, desde la cota 165 hasta la 260 un dique de dolerita cierra netamente esta fractura. En la margen izquierda desde la cota 165 hasta la 250, se presenta la misma dolerita. Al igual que en el caso anterior, esta falla afecta tanto a la coroseana como a la ignímbrita. No se en-

contraron rasgos de reactivación o aunque fuera de movimientos relativos de escasa importancia.

Falla C. - El conjunto de fallas importantes se completa con la Falla C que muestra casi las mismas características de las dos anteriores: un rumbo general NW-15 y una extensión de 600 m, aunque ésta solo se manifiesta en la margen izquierda. Sin embargo, no se observan diques de dolerita, aunque se sigue manteniendo la verticalidad de la fractura. También, las unidades afectadas son la corneana y la ignimbrita.

Esta falla se localiza a 490 m aguas arriba del eje de la cortina, en la intersección con la cota 150.

Para este conjunto de tres fallas se piensa que son eventos muy jóvenes, puesto que afectan a toda la secuencia litológica que se debieron a un fallamiento en bloques general relacionado quizás al vulcanismo básico.

Hay que señalar que la dirección preferencial de estas fallas corresponde con la orientación de las cadenas montañosas pertenecientes a la Subprovincia Pie de Monte de la Sierra Madre Occidental. Este detalle ha llevado a pensar que estas fallas normales de distensión pudieron haber servido como conducto a las extravasaciones de magmas tanto intermedios como ácidos del Terciario Medio hasta el Reciente.

b). - Fracturas

Todos los sistemas de fracturamiento del área se ven típicamente -

relacionados con las grandes fallas anteriormente descritas. De un levantamiento detallado del fracturamiento que se presenta en el granito y del levantamiento geológico tanto superficial como en socavones, se deduce que existen tres grandes sistemas de fracturas:

Sistema NW-30° . - Este sistema generalmente se presenta en el granito y parcialmente en la corneana. La densidad en el granito es de aproximadamente 6 fracturas por metro, mientras que en la corneana aumenta a 12 ó 16 fracturas por metro, para este último caso, aunque las fracturas son poco extensas (no mayores a 2 ó 3 m), éstas son de importancia, puesto que se presentan abiertas (de 3 a 8 mm) y/o parcialmente rellenas con arcillas y hematita. Estas características le dan a la corneana poca solidez y la hacen muy débil. Sin embargo, se observó que este fracturamiento solo es superficial.

En el granito las fracturas aunque más espaciadas, son más importantes por sus dimensiones, pues en algunos casos llegan a medir hasta 15 ó 20 metros de longitud. Generalmente se presentan abiertas con 2 ó 5 cm de ancho, sin rellenar. Al igual que en el caso de la corneana, las fracturas en el granito sólo son superficiales.

Sistema N-S. - En este conjunto de fracturas se manifiesta el evento de tensión que probablemente es el más joven en el área. Afecta indistintamente a las tres unidades, aunque es más intenso en la corneana. En esta unidad su distribución es densa: aproximadamente 10 fracturas por metro con longitudes variables entre 0.5 y 1 metro. Generalmente están rellenas

de calcita, hematita y arcillas. Las evidencias de un fracturamiento importante con esta orientación a profundidad disminuyen, tal como se observa en los diferentes socavones de la margen izquierda.

Sin embargo, en las lignimbritas este fracturamiento llega a tener en promedio más de 1.5 m de longitud con una densidad de 1 ó 2 fracturas por metro, situadas en su mayoría arriba de la cota 375, afectando casi siempre a las tobas vítreas. El echado de este sistema es de rango amplio, variando desde vertical hasta horizontal.

Sistema NE-25'. - Aunque este sistema es el menos importante, no deja de ser representativo de una marcada tendencia estructural. Este sistema se manifiesta sobre todo en la corneana, como discontinuidades de unos 40 ó 60 cm de largo por 4 ó 7 cm de ancho, rellenas con hematita, calcita y arcillas. Su echado es casi vertical y no llega a ser mayor a los 50° hacia el SE. Su frecuencia más alta se localiza en la porción inferior de la corneana, cerca del contacto con el granito.

IV. - ASPECTOS GEOTECNICOS

Introducción.

Con el propósito de conocer el comportamiento físico de la roca a profundidad se llevó a cabo el levantamiento geológico a detalle de los socavones 3 y 9 en la margen izquierda y el 4 en la margen derecha.

De los socavones mencionados se observa que el granito es una roca de buena estabilidad, haciéndose inestable solo en los sitios donde existe permeabilidad (Socavón 9).

En el socavón 3 afloran tanto la corneana como el granito y parece ser que no presentarán problemas, salvo en aquellas partes en donde hay zonas argilitizadas que pudieran originar problemas de expansión. Aquí se aprecia con gran claridad el contacto falla granito-corneana.

Se hizo un levantamiento de geología de detalle en el área del portal de entrada de vertedores, en donde afloran dos tipos de roca: granito y corneana; el primero generalmente es de buena calidad y la corneana presenta zonas argilitizadas e intensamente fracturadas que pudieran provocar problemas de estabilidad para la construcción de la obra; pero en la mayor parte del área la roca se encuentra sana o silicificada haciéndose más compacta y dura.

Respecto a los bancos de materiales parece ser que se cuenta con todo lo necesario para la construcción de la alternativa de materiales gradua-

dos.

La arcilla se obtendrá de la descomposición superficial del basalto y parece ser que cubrirá la demanda necesaria para la construcción del corazón impermeable de la cortina, según los dos bancos localizados, los cuales se describen más adelante.

La grava y arena se encuentran formando playones en ambos márgenes del río, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje, siendo necesaria una evaluación del volumen de estos bancos.

IV.1. - Obras Subterráneas (Socavones)

Método de Trabajo: Los levantamientos de los socavones 3, 4 y 9 fueron topográfico - geológicos, para lo cual se usó brújula y cinta.

La topografía de un socavón se levanta de la siguiente manera: Primero se coloca la cinta al centro del socavón en dirección del caminamiento, colocando marcas cada metro. Enseguida se toma el rumbo, luego se sitúa una persona en la primera marca, se mide hacia la izquierda a la altura de la cintura hasta tocar la pared, repitiéndose esto último hacia la derecha; - se obtiene así el techo del socavón.

Para las tablas izquierda y derecha se conoce la altura del piso a la cintura, que siempre es constante y que sumada a la distancia que hay de la cintura al techo nos da la altura de las tablas las cuales, para el caso de re

presentaciones en obras civiles, se abaten hasta hacerlas coincidir con el techo.

Socavón N° 9. - Está situado en la margen izquierda, aguas abajo - del eje de la cortina, dentro de la cuadrícula en donde quedará emplazado el portal de salida de los túneles vertedores.

Está labrado en una roca granítica, la cual parece ser que no presenta cambios importantes en su textura y mineralogía (Figura 5).

Del levantamiento se puede observar que hay dos direcciones preferenciales en el fracturamiento, una paralela a la orientación longitudinal - del socavón y la otra casi perpendicular a ésta.

Las fracturas están rellenas por calcita o por óxidos de fierro; otras más se encuentran cerradas.

Se mapearon también varias zonas de permeabilidad, las cuales tienen lugar debido a la intercomunicación de fracturas desde la superficie del terreno hasta el socavón o a través de las vetas de calcita presentes en el mismo.

En general el granito se puede considerar de buena calidad, exceptuando aquellos casos en donde existen zonas de permeabilidad que hacen la roca muy inestable.

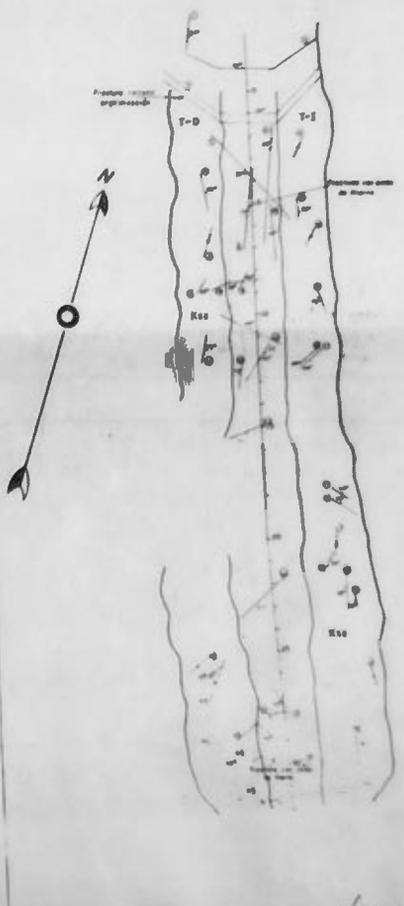
Socavón N° 3 - Se localiza en la margen izquierda, sobre el eje de la cortina (Figura 6).

LEYENDA

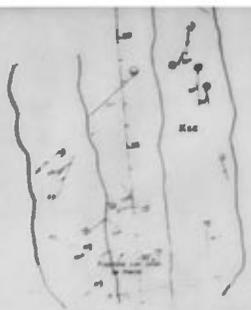
- T-D CANTON DE TOSTA Y NOROCCIDENTAL
C-2 CANTON DE...

SÍMBOLOS GEOLOGICOS

- Fractura normal
 Fractura en cascadas y otras
 Fractura vertical de ajuste
 T-D Tercera etapa
 T-E Tercera etapa



FRAC. Nº	FRAC. DE TOSTA	INTENSIDAD	FRAC. DEL LITORAL
1	OP 1	OP 1	OP 1
2	OP 2	OP 2	OP 2
3	OP 3	OP 3	OP 3
4	OP 4	OP 4	OP 4
5	OP 5	OP 5	OP 5
6	OP 6	OP 6	OP 6
7	OP 7	OP 7	OP 7
8	OP 8	OP 8	OP 8
9	OP 9	OP 9	OP 9
10	OP 10	OP 10	OP 10
11	OP 11	OP 11	OP 11
12	OP 12	OP 12	OP 12
13	OP 13	OP 13	OP 13
14	OP 14	OP 14	OP 14
15	OP 15	OP 15	OP 15
16	OP 16	OP 16	OP 16
17	OP 17	OP 17	OP 17
18	OP 18	OP 18	OP 18
19	OP 19	OP 19	OP 19
20	OP 20	OP 20	OP 20
21	OP 21	OP 21	OP 21
22	OP 22	OP 22	OP 22
23	OP 23	OP 23	OP 23
24	OP 24	OP 24	OP 24
25	OP 25	OP 25	OP 25
26	OP 26	OP 26	OP 26
27	OP 27	OP 27	OP 27
28	OP 28	OP 28	OP 28
29	OP 29	OP 29	OP 29
30	OP 30	OP 30	OP 30
31	OP 31	OP 31	OP 31
32	OP 32	OP 32	OP 32
33	OP 33	OP 33	OP 33
34	OP 34	OP 34	OP 34
35	OP 35	OP 35	OP 35
36	OP 36	OP 36	OP 36
37	OP 37	OP 37	OP 37
38	OP 38	OP 38	OP 38
39	OP 39	OP 39	OP 39
40	OP 40	OP 40	OP 40
41	OP 41	OP 41	OP 41
42	OP 42	OP 42	OP 42
43	OP 43	OP 43	OP 43
44	OP 44	OP 44	OP 44
45	OP 45	OP 45	OP 45
46	OP 46	OP 46	OP 46
47	OP 47	OP 47	OP 47
48	OP 48	OP 48	OP 48
49	OP 49	OP 49	OP 49
50	OP 50	OP 50	OP 50
51	OP 51	OP 51	OP 51
52	OP 52	OP 52	OP 52
53	OP 53	OP 53	OP 53
54	OP 54	OP 54	OP 54
55	OP 55	OP 55	OP 55
56	OP 56	OP 56	OP 56
57	OP 57	OP 57	OP 57
58	OP 58	OP 58	OP 58
59	OP 59	OP 59	OP 59
60	OP 60	OP 60	OP 60
61	OP 61	OP 61	OP 61
62	OP 62	OP 62	OP 62
63	OP 63	OP 63	OP 63
64	OP 64	OP 64	OP 64
65	OP 65	OP 65	OP 65
66	OP 66	OP 66	OP 66
67	OP 67	OP 67	OP 67
68	OP 68	OP 68	OP 68
69	OP 69	OP 69	OP 69
70	OP 70	OP 70	OP 70
71	OP 71	OP 71	OP 71
72	OP 72	OP 72	OP 72
73	OP 73	OP 73	OP 73
74	OP 74	OP 74	OP 74
75	OP 75	OP 75	OP 75
76	OP 76	OP 76	OP 76
77	OP 77	OP 77	OP 77
78	OP 78	OP 78	OP 78
79	OP 79	OP 79	OP 79
80	OP 80	OP 80	OP 80
81	OP 81	OP 81	OP 81
82	OP 82	OP 82	OP 82
83	OP 83	OP 83	OP 83
84	OP 84	OP 84	OP 84
85	OP 85	OP 85	OP 85
86	OP 86	OP 86	OP 86
87	OP 87	OP 87	OP 87
88	OP 88	OP 88	OP 88
89	OP 89	OP 89	OP 89
90	OP 90	OP 90	OP 90
91	OP 91	OP 91	OP 91
92	OP 92	OP 92	OP 92
93	OP 93	OP 93	OP 93
94	OP 94	OP 94	OP 94
95	OP 95	OP 95	OP 95
96	OP 96	OP 96	OP 96
97	OP 97	OP 97	OP 97
98	OP 98	OP 98	OP 98
99	OP 99	OP 99	OP 99
100	OP 100	OP 100	OP 100



18	0.0000	0.00	0.00
20	0.0000	0.00	0.00
22	0.0000	0.00	0.00
24	0.0000	0.00	0.00
26	0.0000	0.00	0.00
28	0.0000	0.00	0.00
30	0.0000	0.00	0.00
32	0.0000	0.00	0.00
34	0.0000	0.00	0.00
36	0.0000	0.00	0.00
38	0.0000	0.00	0.00
40	0.0000	0.00	0.00
42	0.0000	0.00	0.00
44	0.0000	0.00	0.00
46	0.0000	0.00	0.00
48	0.0000	0.00	0.00
50	0.0000	0.00	0.00
52	0.0000	0.00	0.00
54	0.0000	0.00	0.00
56	0.0000	0.00	0.00
58	0.0000	0.00	0.00
60	0.0000	0.00	0.00
62	0.0000	0.00	0.00
64	0.0000	0.00	0.00
66	0.0000	0.00	0.00
68	0.0000	0.00	0.00
70	0.0000	0.00	0.00
72	0.0000	0.00	0.00
74	0.0000	0.00	0.00
76	0.0000	0.00	0.00
78	0.0000	0.00	0.00
80	0.0000	0.00	0.00
82	0.0000	0.00	0.00
84	0.0000	0.00	0.00
86	0.0000	0.00	0.00
88	0.0000	0.00	0.00
90	0.0000	0.00	0.00
92	0.0000	0.00	0.00
94	0.0000	0.00	0.00
96	0.0000	0.00	0.00
98	0.0000	0.00	0.00
100	0.0000	0.00	0.00



ESCALA GRAFICA



ESCALA 1:100

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PROYECTO HIDROELECTRICO NUTES	
GEOLOGIA	
DEL SOCAYON N° 3	
TESIS PROFESIONAL	
RAUL VILLEGAS LESSO	
MAY 1960	PLANO N° 6

En este socavón afloran dos tipos de roca: corneana y granito. La primera presenta hematización, sus fracturas están rellenas por calcita y óxidos de fierro; existe una fractura rellena de arcilla que es el resultado de la argilitización de la roca. Las fracturas mayores están orientadas paralelamente al rumbo del contacto entre la corneana y el granito.

Respecto al granito se observa que está poco fracturado siendo de buena estabilidad.

Lo más sobresaliente de este levantamiento es que se pudo apreciar con gran claridad el contacto-falla corneana - granito, de rumbo S 20°E con 56° de inclinación al NE, en el cual se ha formado una capa de arcilla color rojizo de 10 a 15 cm de espesor, resultado del movimiento de fricción entre ambas rocas.

Socavón No. 4 (Figura 7). - Se encuentra en la margen derecha sobre el eje de la cortina, en lo que ha venido llamándose como granítico.

El granito en el cual se ubica esta obra subterránea está muy sano, con escasas fracturas generalmente cerradas, de pequeña longitud y con orientación variable.

Dadas las condiciones físicas de esta roca, se puede decir que no presentará ningún problema de estabilidad para la construcción de la Casa de Máquinas, la cual ha sido proyectada dentro del domo granítico.

IV.2. - Geología de Detalle del Portal de Entrada de Vertedores.

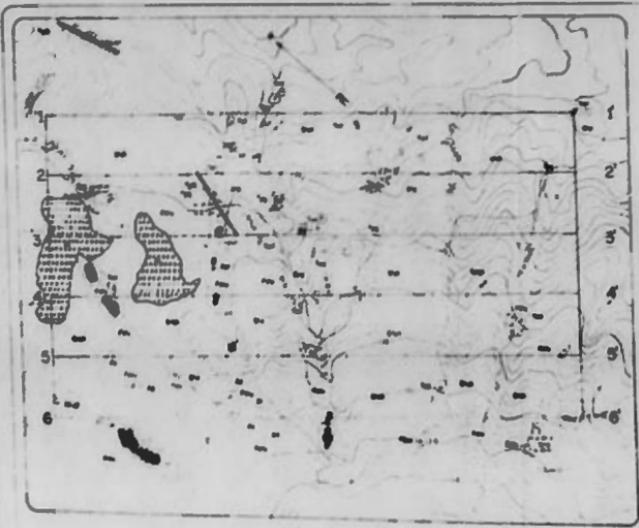
Para el levantamiento de la geología de detalle en esta zona se hizo una cuadrícula localizada en la margen izquierda, aguas arriba del eje de la cortina, cubriendo un área de 450 x 250 m., con orientación de S 42° E para las líneas más largas y S 48° W para las más cortas (Figura 8).

Para el levantamiento se usó brújula y cinta, aprovechando las estacas y "trompos" previamente dispuestos en el terreno por los topógrafos.

a). - LITIOESTRATIGRAFIA.

Corneana. - Roca de color gris oscuro a gris azulado, de textura porfídica a brechada, su composición esencial es el cuarzo, feldespatos (plagioclasas sódicas) y fragmentos de roca, siendo sus minerales accesorios turmalina, hematita, biotita, pirita, augita, zircón y hornblenda. Como minerales secundarios se tienen hematita, minerales arcillosos, clorita, epidota, turmalina y granate, los cuales enmascaran la composición original de la roca. Además se encontraron óxidos y carbonatos de cobre y plomo, los cuales se presentan en forma de vetillas o diseminados en la roca.

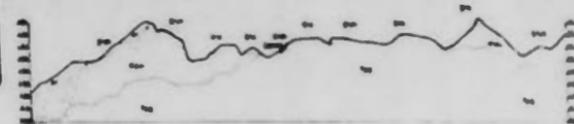
Granito. - Roca de color blanco rosáceo a blanco verdoso, textura holocristalina, de grano medio a grueso. Es una roca muy deleznable en costras, debido al intemperismo o a la exfoliación volviéndose -



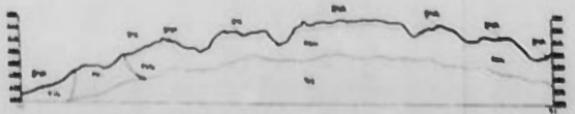
SECCION 2-2



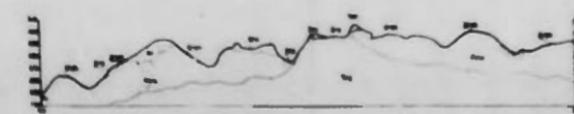
SECCION 3-5



SECCION 5-5



SECCION 4-4



LEYENDA

- SECCION 2-2
- SECCION 3-5
- SECCION 4-4
- SECCION 5-5
- ALFARAZALES
- ...



UNAM
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 PROYECTO MODERNEZACION URBANA
 PLANTA Y SECCIONES DEL
 PORTAL DE ENTRADA
 VERTEDEROS

TESIS PROFESIONAL

RAUL VALDEMO LÓPEZ

compacta y maciza a profundidad. Su composición esencial es - cuarzo, oligoclasa y feldespatos potásicos, encontrándose como minerales accesorios a la magnetita, hornblenda, biotita, apatita, zircón, esfena y egirina - augita. Sus minerales secundarios son sericita, cuarzo, calcita y clorita. A veces se presenta como granodiorita de hornblenda de textura mirmekítica.

Dolerita. - Se presenta en forma de diques, su composición mineralógica es equivalente a la del basalto, intrusionan tanto al granito como a la corneana, son de longitud, espesor e intensidad variables, a veces forman arroyos por erosión diferencial.

Aplita. - Se presenta en forma de diques, su composición esencial es equivalente a la del granito (cuarzo, feldespatos potásicos), de grano fino, color rosáceo. Los diques son de longitud y espesor pequeños en relación con los diques de diabasa.

Todos los afloramientos de las rocas mencionadas se encuentran expuestas en los arroyos. Cubriendo el área restante existen - suelos residuales acompañados por depósito de talud, compuesto por fragmentos de toba y corneana de 0.20-30 cm de diámetro. - Otras veces estos suelos están acompañados por bloques de toba de 1-8 m de diámetro. El espesor del talud varía de un lugar a otro dentro de la cuadrícula.

b). - ESTRUCTURAS

Las fracturas en el granito se presentan en varias direcciones con longitud e intensidad variable, generalmente son cerradas y otras veces están rellenas por calcita. Esta es la roca de mayor estabilidad dentro del área de estudio. Algunas fracturas están soldadas por diques de aplit y diabasa. Dentro de esta roca existen pequeñas fallas normales de poco desplazamiento.

La corneana se encuentra desde intensa hasta moderadamente fracturada, siendo la roca más inestable dentro de la cuadrícula. A veces las fracturas están rellenas de turmalina, otras más están argilitizadas u ocupadas por calcita. El rumbo e intensidad, al igual que su longitud son variables, dando lugar a que las trazas se crucen en forma oblicua. El contacto granito-corneana en el área de estudio es franco.

a), - ALTERACIONES

Argilitización. - En general el granito del portal de entrada de vertederos se encuentra argilitizado superficialmente por intemperismo; otras veces la argilitización en esta roca es el resultado de soluciones hidrotermales.

Turmalinización. - Dentro del área que cubre la cuadrícula hay 2 zonas turmalinizadas en la corneana. La turmalina (en forma de venas o diseminada) va acompañada por fenocristales de cuarzo bien cristalizado, limonita, epidota y carbonatos de cobre, alteración resultante de soluciones hidrotermales ascendentes, provenientes del granito.

En las áreas mencionadas la turmalinización está acompañada por argilitización.

Propilitización. - En la que se ha llamado brecha metamorfozada se presenta esta alteración (clorita, epidota), la cual le da la coloración verdosa. Esta roca también está intensamente silicificada volviéndose muy dura y compacta.

Hay un área dentro de la cuadrícula donde la corneana está brechada, silicificada y con una hematización incipiente: en este caso la roca es muy resistente.

IV.3. - Geología de Detalle del Portal de Salida de Vertederos.

Para el levantamiento geológico de detalle en esta zona se trazó una cuadrícula localizada en la margen izquierda, aguas abajo del eje de la cortina, comprendiendo siete líneas espaciadas cada 25 y 50 m, orientadas al S55° W y cuya longitud es de 350 m.

Este levantamiento se hizo con brújula y cinta tomando como puntos de referencia las catacas previamente dispuestas en el terreno.

Dentro del área estudiada se tienen afloramientos tanto de granito como de corneana, ocupando el primero un 70% del área mencionada. Cubriendo a las dos rocas a veces se encuentra depósito de talúd compuesto por fragmentos de toba de 0,2-10 cm. de diámetro.

El granito está argilitizado por intemperismo, siendo sus fracturas cerradas y de longitud pequeña.

La corneana es brechoide, muy silicificada y cloritizada, con fragmentos alterados a clorita, epidota y arcillas, con diámetro de 1-3 cm. matriz afanítica, silicificada. La roca generalmente es gris pardusco cambiando a gris-rojizo cuando está hematizada.

La mayor parte de la obra civil quedará emplazada en granito poco fracturado, sin alteraciones y por lo tanto de buena estabilidad.

IV.4. - Materiales de construcción.

Introducción.

Existen dos bancos de arcillas principalmente, denominados Nos. 1 y 2, localizados al SW de la boquilla del P.H. Huites, en las cercanías de los poblados de Baca y Agua Caliente. El objetivo de su estudio fue saber de una manera aproximada si existía en las cercanías del proyecto un volumen suficiente de material arcilloso con buena calidad para la construcción del núcleo impermeable de la cortina de la presa de Huites.

En base a la magnitud de la cortina proyectada (materiales gradados) existe la necesidad de disponer de un volumen aproximado de 2 millones de metros cúbicos de arcilla, utilizables para la construcción del núcleo impermeable y un volumen cercano a los 4 millones de metros cúbicos de grava-arena para los respaldos de dicha obra, razón por la cual se optó por realizar un estudio detallado de los sitios que parecen satisfacer dichas necesidades. Actualmente se cuenta con dos bancos de arcillas localizados en

ambas márgenes del Rfo Fuerte, aguas abajo del eje de la boquilla, a una distancia de 9.1 km en la margen izquierda y 6.7 km en la margen derecha.

Localización y Acceso. - El acceso se hace partiendo al oeste de Choix, Sin., por un camino de terracería transitable en cualquier época del año, el cual llega al poblado de Tabucahul; tuerce hacia el norte y pasa por Loretillo y Baca. Antes de llegar a la orilla del Rfo Fuerte, se continúa por un camino de terracería con rumbo noroeste, el cual cruza la vía del Ferrocarril Chihuahua - Pacífico y después de caminar al oriente unos 200 m se llega a dicho banco. Los bancos de grava y arena se localizan en ambas márgenes del Rfo Fuerte, tanto aguas abajo como aguas arriba del eje de la boquilla. El acceso a estos bancos se hace partiendo del eje de la boquilla y por todo el cauce hasta una distancia no mayor de 20 km (Figura 9).

Método de Trabajo. - Se hizo un reconocimiento de campo en los sitios seleccionados mediante fotografías aéreas escala aproximada 1: 50 000 de la localidad, delimitando las zonas con catas de exploración con el objeto de observar el espesor y calidad de arcilla en cada una de ellas. Posteriormente usando tránsito y estadal se trazaron líneas rectas con cadenamientos cada 100 m. Una vez terminado dicho trabajo topográfico se realizaron sondeos eléctricos verticales con el arreglo tetrapolar Schlumberger con el propósito de conocer a profundidad espesores y granulometría. Finalmente se procedió a perforar catas con pico y pala con una sección de 3 m por 1.50 m de profundidad supeditada al horizonte de roca o material no aprovechable. Para el caso de los bancos de grava y arena se procedió de la misma mane-

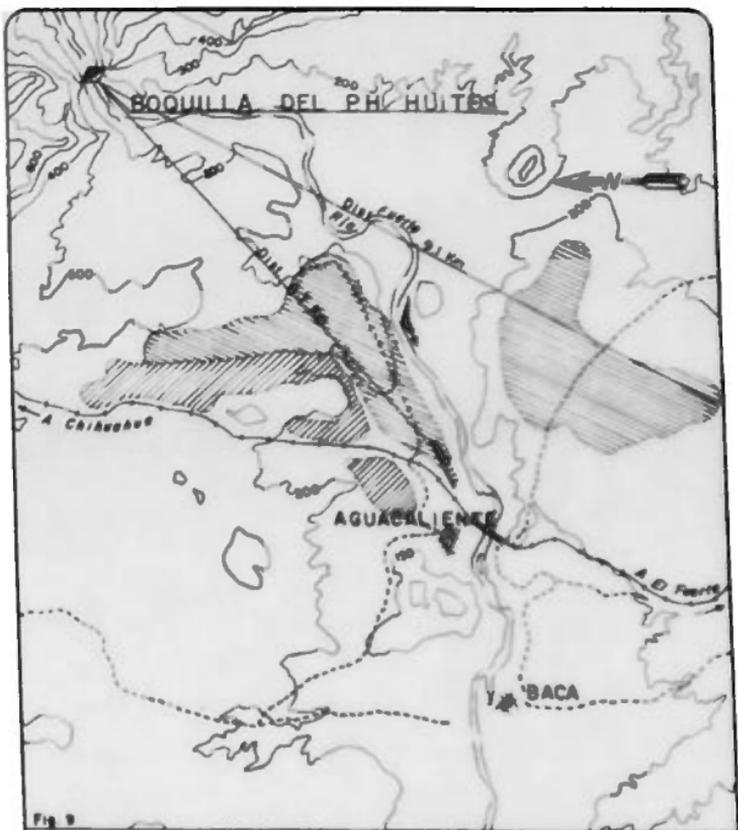
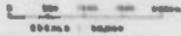


Fig. 9

SÍMBOLOS TOPOGRAFICOS	SÍMBOLOS GEOLOGICOS
CAMINO	ARCILLA ARENOSA
CURVA DE NIVEL	ARCILLA
RIO	
FERROCARRIL	
PUENTE	
POBLADO	



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PLANO DE LOCALIZACION DE BANCOS DE ARCILLA	
TESIS PROFESIONAL	
Rafel Villegas Lozano	
1980	ESC 1 50,000

ra, trazando líneas longitudinales en todas las playas localizadas en ambos márgenes del río, aguas abajo del eje de la boquilla con la diferencia de que no se exploró con métodos directos, dado que no existe cohesión entre dichos materiales. Los resultados obtenidos con sondeos eléctricos verticales fueron verificados con sondeos de sísmica de refracción con el propósito de tener más pruebas de la variación de los espesores de dichos materiales.

a). - Geología. - En la zona donde se encuentran los bancos de arcillas y grava-arena se tienen dos tipos principales de rocas, granito y basalto. El primero está superficialmente intemperizado y fracturado presentándose parcialmente alterado por soluciones hidrotermales; está intrusionado en forma irregular por diques de diabasa y aplitas y lo cubren de modo discordante derrames de basaltos que dan a la localidad una topografía plana a sensiblemente ondulada. Ambos tipos de roca se encuentran cubiertos parcialmente por una capa de espesor variable de suelo vegetal y depósito de ta lud.

La descripción litoestratigráfica de las arcillas según su aspecto de campo, es desde la base hacia la cima, la siguiente:

Basalto. - Se presenta en forma de coladas según se puede comprobar en los márgenes del Río Fuerte aguas abajo del eje de la boquilla en estudio; está coronado por una capa constituida por arena volcánica, lapilli, bombas y bloques de la misma composición; Normalmente dicho material presenta un color gris y en afloramiento cambia a color amarillo claro; encima de esta capa se observa una secuencia de arcillas que según el contenido de

arena y la coloración se diferenci6 en cuatro capas:

La primera capa en contacto con el basalto consiste de arena arcillosa, de plasticidad media, de color rojizo, con escasos fragmentos de basalto con diámetro variable entre 0,05 y 0,35 m y espesor promedio de 0,35 m. Encima de esta capa existe otro horizonte compuesto por arena arcillosa de plasticidad media, de color café, con escasos fragmentos de basalto con diámetro variable entre 0,07 y 0,40 m y espesor promedio de 0,30 m. Una tercera capa está compuesta por arcilla arenosa plástica, de color café con escasos fragmentos de basalto, poco alterados, de diámetro variable entre 0,05 y 0,40 m y espesor promedio de 0,30 m.

Encima de la tercera capa hay un cuarto horizonte de arcilla arenosa de alta plasticidad, de color negro con escasos fragmentos de basalto con diámetro variable entre 0,05 y 0,40 m, siendo esta la que presenta el espesor promedio más importante: 0,90 m. Cubriendo parcialmente a toda la secuencia se observa una capa de suelo vegetal arcillo-arenoso de plasticidad media, de color café, presentando un espesor promedio de 0,20 m.

Método Utilizado para el Cálculo volumétrico.

Para el cálculo volumétrico de los bancos de arcilla se utilizó el Método de Secciones paralelas, aplicándose la fórmula $V = \frac{A1 + A1'}{2} H$, en el que A1 y A1' son las áreas antagónicas de secciones adyacentes y H es la separación entre dichas secciones.

Para sumar el volumen requerido se abrieron 42 secciones de las cua

les 12 pertenecen al banco No. 1 (margen derecha) y 30 en el banco No. 2 (margen izquierda) con un total de 414 catas. El volumen cubicado en el banco No. 1 (margen derecha) fue de 354, 250.00 M³, mientras que el del No.2 (margen izquierda) fue de 1'866, 843.50 M³. Por tanto, el volumen total cubicado es de 2'221,093.50 M³.

Comunicación de los bancos de arcilla con el eje de la boquilla. - Para el banco No. 1 (margen derecha) se cuenta con un camino de terracería transitable únicamente en épocas de estiaje; este camino comunica al poblado de Agua Caliente con terrenos de cultivo muy próximos a la boquilla y cruza en toda su extensión al banco en cuestión, faltando únicamente un tramo de 500 m aproximadamente para llegar al eje de la cortina proyectada.

Para el acarreo de las arcillas del banco No.2 (margen izquierda) se cuenta con un camino recientemente arreglado que entronca con el camino Hultes-Cholx y tiene un desarrollo de 2,5 Km. .

Existe también una cementera localizada en el pueblo de Hornillos, la cual seguramente proveerá de cemento a la obra civil durante su construcción.

V. - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Conclusiones.

De los tres tipos de roca expuestos en el área de la boquilla (granito corneana, ignimbritas), la roca más abundante es el granito, sobre el cual ha sido proyectada gran parte de la obra civil. Esta roca es la de mayor estabilidad, está fracturada en superficie pero disminuye este fenómeno a profundidad. Por ejemplo, en el domo granítico la roca es muy sana, con fracturamiento muy escaso, por lo cual no existirán problemas para la construcción de la Casa de Máquinas.

En el socavón No. 9, situado en el portal de salida de los túneles vertederos, el granito es de buena calidad exceptuando los casos en donde existen zonas permeables que lo hacen inestable.

La roca que le sigue al granito en cuanto a estabilidad se refiere es la corneana, sobre la cual quedará situado el portal de entrada de los túneles vertederos; se encuentra fracturada, pero como gran parte del área está silicificada, es de regular calidad.

A continuación está la secuencia ignimbrítica cuya calidad es buena en relación a los otros dos tipos de roca, siendo menos compacta.

Con el propósito de disponer de un volumen suficiente de arcillas para la construcción del núcleo impermeable de la cortina proyectada (materiales graduados), se exploraron dos bancos de arcilla, localizados en ambas

márgenes del Río Fuerte, aguas abajo del eje de la boquilla. Se hicieron 42 secciones abarcando un área total de 3,310,000 M² y se excavaron 414 catas, con las cuales se pudieron cubicar 2,221,093.50 M³ de arcilla.

Se diferenciaron cuatro horizontes de arcilla, los cuales están dispuestos desde la base hacia la cima de la siguiente manera: Arena arcillosa de plasticidad media de color rojizo; arena arcillosa de plasticidad media de color café; arcilla arenosa plástica de color café y arcilla arenosa negra de alta plasticidad, cubierta parcialmente por una capa de suelo vegetal de espesor máximo de 0.20 m.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar en detalle el socavón No. 7, situado en el portal de entrada de vertedores, ya que en la entrada del socavón se observa a la corneana muy fracturada y argilitizada haciéndose muy fácilmente deleznable.

Se propone que se hagan pruebas de permeabilidad a los núcleos extraídos para conocer su calidad a profundidad.

Para poder hacer uso de la arcilla, se recomienda hacer un muestreo de los cuatro horizontes reconocidos.

Se recomienda asimismo hacer una evaluación del volumen de grava y arena de los bancos localizados en las cercanías de la boquilla. Si éstos no alcanzan a cubrir la demanda de la presa, buscar otros que no estén muy distantes, con el fin de que la obra continúe siendo costeable.

APENDICE PETROGRAFICO

ESTUDIO PETROGRAFICO

I. - DATOS DE CAMPO

Muestra No: VL-80-14

Localidad: P.H. Huitza, Mpio. de Choix, Sin.

Descripción del afloramiento:

II. - DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris verdoso oscuro

Estructura y Textura: Compacta, Microclítica

Minerales observables: Feldespatos y máficos

III. - DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Holocristalina, subofítica

Mineralogía:

a). Minerales esenciales:

Plagioclasas intermedias
a cálcicas

b) Minerales accesorios:

Augita (abundante)
Magnetita

c) Caracteres especiales:

c) Minerales secundarios:

Clorita (abundante)
Calcita
Arcillas

d) Matriz o cementante

Plagioclasas intermedias.

IV. - ORIGEN DE LA ROCA

Intrusivo de poca profundidad (dique).

V. - CLASIFICACION

DIABASA DE AUGITA

Fecha: Junto 27 de 1980. ING. LEOVIGILDO CEPEDA DAVILA
Petrógrafo.

ESTUDIO PETROGRAFICO

I. - DATOS DE CAMPO.

Muestra No. VL-80-15

Localidad: P. H. Huites, Mpio. de Choix, Sin.

Descripción del afloramiento:

II. - DESCRIPCION MACROSCOPICA.

Color: Gris, rosa crema

Estructura y Textura: Compacta, fanerítica de grano medio.

Minerales observables: Feldespatos, cuarzo y máficos.

III. - DESCRIPCION MICROSCOPICA.

Textura: Holocristalina, equigranular media, hipidiomórfica.

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**

Oligoclasa

Andesina

Cuarzo

Micropertita

c) **Minerales secundarios**

Clorita

Sericita

Leucoxeno

Calcita

b) **Minerales accesorios:**

Biotita

Hornblenda cloritizada

Magnetita

Apatita

d) **Matriz o cementante.**

e) **Caracteres especiales:** El porcentaje de plagioclasas es francamente mayor que el de feldespato alcalino.

IV. - ORIGEN DE LA ROCA

Igneo Intrusivo

V. - CLASIFICACION

Granodiorita de Biotita y Hornblenda.

Fecha: Junio 27 de 1980

ING. LEOVIGILDO CEPEDA DAVILA.

Petrógrafo

ESTUDIO PETROGRAFICO

I. - DATOS DE CAMPO

Muestra No. VL-80-18

Localidad: P.H. Hultes, Mpio. de Choltz, Sin.

Descripción del afloramiento:

II. - DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Rosa y verde

Estructura y Textura: Compacta, brechoide o pseudobrechoide

Minerales observables: Fragmentos de roca y epidota.

III. - DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: Porfidoblástica

Mineralogía

a) Minerales esenciales:

Epidota

Granate

Albita

Clorita

c) Minerales secundarios:

Calcita

Leucozono

b) Minerales accesorios:

Esfera

d) Matriz o cementante

Mosaico criptocristalino de

Feldespatu alcalino y cuarzo

e) Caracteres especiales:

En la lámina delgada no se aprecia la textura brechoide. Sólo megascópica--mente y al microscopio estereoscópico se observan fragmentos de rocas sub--nangulosas a subredondeadas.

IV. - ORIGEN DE LA ROCA

Roca formada por metamorfismo de contacto de baja intensidad (Facies Corneana de Albita-Epidota) de una antigua brecha vulcano--sedimentaria.

V. - CLASIFICACION

HORNPELS DE EPIDOTA-GRANATE-ALBITA-CLORITA

Fecha: Junio 27 de 1980

ING LEOVIGILDO CEPEDA DAVILA
Petrografo.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, T. H. et al, (1969). - Mesozoic magmatic events of the Northern Sonora Coastal. Región Geol. Soc. América, Ann. Meet., Atlantic City; Abs. and -- Programs, Part 7.
- Bonneau, M., (1971). Rapport géologique de la feuille Mocorito localisé - dans le nord de l'Etat de Sinaloa, México. Inédito.
- Clark, K. F., (1976). - Geologic section across Sierra Madre Occidental, - Chihuahua to Topolobampo, México. New - México Geological Society, Special Publication Number 6.
- de Cserna, Z; Schmitter, E.; Damon, P. E.; Livingstone, D. E. y Kulp, -- J. L. (1962). Edades isotópicas de rocas - metamórficas del centro y sur de Guerrero y de una monzonita cuarçifera del norte de Sinaloa. Univ. Nat. Autón. México-Inst. Geología, Bol. 64, pte. 5., p. 71-84.
- Departamento de Planeación y Estudios (C.F.E.), (1966). - Sistema Sonora Sinaloa, Proyecto Hidroeléctrico de Huites: Resumen de consideraciones para la justificación del estudio, proyecto y programación del Proyecto Hidroeléctrico Huites, - Río Fuerte. (Inédito) Archivo de la C.F.E.
- García Herrera C. y Díaz Cabral, E., (1962). - Informe geológico preliminar de la boquilla de Huites sobre el Río - Fuerte, Sinaloa. Informe No. 1. (Inédito) - Archivo de la C. F. E.
- Levine Jones, H., (1962). - Boquilla de Huites, Río Fuerte Sin., Visita de - Inspección. (Inédito) Archivo de la C.F.E.
- Palacios Nieto, M., (1960) - Informe geológico preliminar relacionado con la boquilla de Huites, sobre el Río Fuerte, - Sinaloa. Reporte No. II (Inédito) Archivo de la C. F. E.
- Rafsz, E., (1959). - Land forms of México. Cambridge, Mass, Mapa Esc: -- 1: 3,000,000.

- Ramírez Gutiérrez, M. y García Herrera, C., (1963). - Geología de la --
boquilla de Huites, Sin. (Localización, --
Exploración y Resultados) (Inédito). Archi
vo de la C. F. E.
- Razo Montiel, A. y Constance, R., (1970). - Visita de inspección a los si-
dos de presas Huites en el Río Fuerte y -
Chinipas I, en el Río Chinipas (Inédito). -
Archivo de la C. F. E.
- Rodríguez Torres, R. y. y Córdoba, A., Atlas Geológico y Evaluación Geo
lógico-Minera de Sinaloa, México. Editada
por el Instituto de Geología (U.N.A.M.) y
la Secretaría del Desarrollo Económico --
del Estado de Sinaloa.