

14
6
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO
HIDROELECTRICO HUITES, SISTEMA DEL
RIO FUERTE, SINALOA**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO**

P R E S E N T A N

**LUIS GONZALEZ JIMENEZ
RAUL MAYA GONZALEZ**

MEXICO, D. F.

1960



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-138

A los Pasantes señores GONZALEZ JIMENEZ LUIS y
MAYA GONZALEZ RAUL
P r e s e n t e s .

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

**"ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO MUTES,
SISTEMA DEL RIO FUERTE, SINALOA".**

- I.- Generalidades
 - II.- Geología regional
 - III.- Aspectos geotécnicos
 - IV.- Geofísica
 - V.- Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía

Ruego a ustedes se sirvan tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberán 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 19 de Julio de 1980
EL DIRECTOR

Ingr. Javier Jiménez Espil

JJE:mg mbo.

**"ASPECTOS GEOTECNICOS DEL PROYECTO HIDROELECTRICO
HUITES, SISTEMA DEL RIO FUERTE, SINALOA"**

INDICE

I	<u>GENERALIDADES</u>	1
1.1	INTRODUCCION.....	2
a)	Objetivos.....	3
b)	Antecedentes.....	4
c)	Método de Trabajo.....	5
d)	Localización y Vías de Comunicación.....	6
e)	Clima y Vegetación	
f)	Condiciones Socioeconómicas	
g)	Cultura	
1.2	FISIOGRAFIA.....	10
a)	Provincias Fisiográficas.....	10
b)	Geomorfología.....	10
c)	Hidrografía.....	11
II	<u>GEOLOGIA REGIONAL</u>	13
II.1	INTRODUCCION.....	14
II.2	LITOESTRATIGRAFIA.....	16
II.3	TECTONICA REGIONAL.....	23
II.4	GEOLOGIA HISTORICA.....	26

	Pág.
III <u>ASPECTOS GEOTECNICOS</u>	30
III.1 INTRODUCCION	31
III.2 GEOLOGIA DEL VASO	33
a) Litología.....	33
b) Estructuras.....	37
c) Alteraciones.....	38
III.3 SECCION GEOLOGICA SOBRE EL TRAZO DE LOS TUNE- LES VERTEDORES	39
a) Litología.....	39
b) Estructuras.....	45
c) Alteraciones.....	46
III.4 GEOLOGIA DEL PORTAL DE ENTRADA DE LOS TUNELES VERTEDORES	47
a) Litología.....	47
b) Estructuras.....	48
c) Alteraciones.....	48
III.5 GEOLOGIA DEL PORTAL DE SALIDA DE LOS TUNELES VERTEDORES	50
a) Litología.....	50
b) Estructuras.....	51
c) Alteraciones.....	52
III.6 GEOLOGIA DE ENTRADA A LA CASA DE MAQUINAS....	53
a) Litología.....	53

		Pág.
	b) Estructuras.....	54
	c) Alteraciones.....	55
IV	<u>GEOLOGIA DE DETALLE DE LOS SOCAVONES EN LAS AREAS</u>	
	<u>DE OBRA CIVIL</u>.....	57
V	<u>GEOFISICA</u>.....	61
VI	<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>.....	67
	<u>BIBLIOGRAFIA</u>.....	72
	<u>ANEXOS</u>.....	77

AGRADECIMIENTOS:

Hacemos patente nuestro agradecimiento al ING. CARLOS GARCIA HERRERA, Jefe de Geología y Minería de la Comisión Federal de Electricidad, por el apoyo brindado para la culminación de este trabajo, al ING. MIGUEL RAMIREZ GUTIERREZ, Residente de la Brigada Móvil de Perforación y al ING. GUSTAVO DIAZ VELARDE, Subresidente de la misma, por autorizar el uso de la información obtenida en el Proyecto Hidroeléctrico Huites así como la publicación de la misma.

Al ING. LEOVIGILDO CEPEDA DAVILA por el interés mostrado en la revisión de este trabajo, por sus invaluable consejos, su grata amistad y calidad humana y por sus valiosos estudios petrográficos.

También es importante manifestar nuestra gratitud al DR. JOSE MA. CHAVEZ AGUIRRE, por la atinada dirección del presente trabajo y el apoyo mostrado durante su elaboración.

Al ING. JUAN CARLOS GARCIA Y BARRAGAN, Encargado del proyecto, por las facilidades brindadas para la realización de este trabajo, así como a todas aquellas personas que de alguna u otra forma colaboraron en la elaboración del presente.

I.- GENERALIDADES

I.1 INTRODUCCION

El Proyecto Hidroeléctrico Huittese encuentra localizado en la parte noreste del Estado de Sinaloa, cerca de los límites de los Estados de Chihuahua y Sonora.

El objetivo principal del estudio en Huittes es la determinación de las características, propiedades físicas y estructuras geológicas que favorezcan o causen perjuicios a la obra hidroeléctrica. Además, en los sitios elegidos para las obras civiles se hará un estudio de detalle, para detectar las rocas que pudieran general diversos problemas.

La presa quedará sobre el Río Fuerte, el cual tiene un caudal bastante considerable, ya que nace en el Estado de Chihuahua, recibiendo su nombre en el lugar donde se unen los ríos San Miguel y Urique. La cortina estará empujada sobre tres tipos de rocas: Corneanas, granitos y un paquete de ignimbritas riolíticas, todas ellas intrusadas por diques de diabasa; en general se puede considerar que estas rocas son de buena calidad para los objetivos de dicha presa. El portal de entrada de vertedores estará en la margen izquierda quedando labrado en la corneana cerca del contacto con el granito, mientras que la salida de los vertedores estará en el granito. La casa de máquinas se --

ubicará en la margen derecha, exactamente en el domo granítico y los túneles de desvío, en la margen izquierda. - Los materiales con los cuales se construirá la presa ya se tienen localizados, quedando las arcillas aguas abajo a 5 km. aproximadamente de la boquilla. Para las gravas se cuenta con los playones de ambas márgenes, tanto aguas arriba como hacia aguas abajo. La fosa en que se encuentra esta obra es de exploración directa con socavones y barrenos.

a) Objetivos:

Los estudios geológicos que se están realizando en el área de Huites tienen como objetivo determinar las propiedades físicas y las estructuras geológicas de las diferentes rocas, así como la de investigar todos los problemas que pudieran crear éstas, para posteriormente tratar de dar una solución adecuada. Asimismo se elegirán los sitios más apropiados para las obras civiles y bancos de materiales.

La presa que será de múltiples usos, aprovechará las aguas que escurren de la Sierra Madre Occidental, de los Estados de Chihuahua y Sonora y que van a dar al Río Fuerte. Sus principales funciones serán básicamente las de generar electricidad, controlar las avenidas, y desarrollar la irrigación y la piscicultura.

El Estado de Sinaloa es principalmente agrícola y los cultivos son en su mayor parte de temporal; con la construcción de esta presa se contará con un sistema de riego que solucionará en parte los problemas en la época de sequía; asimismo se aprovecharán las tierras que se encuentran inactivas por falta de agua. Con la energía eléctrica que producirá esta obra se podrá satisfacer la demanda y de esta manera lograr el desarrollo industrial en la zona.

B) Antecedentes.

Los estudios del Proyecto Hidroeléctrico Unites fueron iniciados en 1959 por la Empresa Estudios y Proyectos, S.A., dentro de un programa para el aprovechamiento de los recursos del Río Fuerte y la generación de energía eléctrica.

En 1960 y en visitas sucesivas, los Ings. M. Palacios Nieto y H. Lesser Jones, de Comisión Federal de Electricidad, realizaron una inspección general de la zona.

Los Ings. García Herrera y Díaz Cabral, (1962), -- quienes efectuaron un levantamiento geológico del área de la boquilla; en mayo del mismo año García Herrera y Ramírez Gutiérrez hicieron un estudio a semi-detalle, recomendando la realización de algunas obras de exploración, tales como socavones y perforaciones, localizando finalmente algunos sitios como posibles bancos de materiales.

En septiembre de 1970, se hizo otra inspección, esta vez por los Ings. Constance y Razon.

Por último, en el mes de mayo de 1979, se encomendó al Ing. García y Barragán la tarea de hacer un levantamiento geológico de detalle en la boquilla de Huites, así como el reconocimiento general del área que será en el futuro el embalse de la presa.

c) Método de trabajo.

Con el propósito de desarrollar un estudio sistemático del proyecto, se decidió adoptar un trabajo por etapas, las cuales consistieron en:

- 1) Trabajo de campo.- Debido a que los trabajos de Geología de detalle son muy delicados por estar enfocados - hacia las condiciones físicas del terreno donde se van a asentar obras civiles, se realizaron levantamientos con brújula, cinta y apoyo topográfico, a escala 1:200 para el área del portal de entrada a casa de máquinas; 1:500 para el eje de vertedores, y 1:1000 para la zona del portal de salida de vertedores; se dió un énfasis particular a estructuras como fallas, facturas, superficies de deslizamiento, crucero, foliación, dioclases, zonas de contacto y alteraciones como son las arcillas, óxidos y otros compuestos que alteran a la roca bajo - algunas condiciones de compresión, tensión y humedad.

El levantamiento de la geología del vaso se realizó a semidetalle, marcando y ubicando en las fotografías aéreas los contactos, las fallas, las fracturas observadas en el campo y correlacionando todo esto con el plano fotogeológico preliminar; de la misma manera, se realizaron levantamientos con brújula y cinta de rasgos y estructuras de importancia, apoyándose en puntos topográficos (mojoneras) ubicados estratégicamente sobre el curso del Río hasta el límite del M.A.M.E.; así mismo, se hizo una evaluación de las diferentes unidades litológicas.

- ii) Trabajo de gabinete.- Durante esta etapa que es de -- importancia se realizaron levantamientos de detalle, utilizando planos topográficos escala 1:1000 y 1:2000. Estos planos fueron elaborados para Comisión Federal -- de Electricidad en 1967 por Aerotécnica de México, -- S.A. En este estudio estos planos fueron de mucha -- ayuda pues se usaron para vaciar todos los datos obtenidos en el campo. Con la información geológica sobre los mapas se delimitaron las zonas de alteración y estructuras que pudieran afectar la obra civil; además se levantaron secciones geológico-estructurales para visualizar estos detalles. Después de la interpretación de los datos obtenidos se elaboró un informe.

En el área de embalse de la presa se efectuó un -- levantamiento de semidetalle, para lo cual se contó

con fotografías aéreas y planos topográficos de la zona escala 1:50,000 editados por DETENAL. Con ellos se procedió a la fotointerpretación vaciándose los datos en la carta topográfica para cubrir de una manera uniforme y completa el área de estudio. Posteriormente se realizó la verificación de campo, ratificándose la posición de los contactos, litología y estructuras.

d) Localización y vías de comunicación

El proyecto hidroeléctrico Huites está ubicado en la porción norte del Estado de Sinaloa, muy cerca de sus límites con Sonora y Chihuahua Fig. No. 1. El proyecto forma parte del aprovechamiento del caudal del Río Fuerte, en las inmediaciones del Poblado de Choix, del cual dista 18 km al N 16°. Las coordenadas del sitio son: 26°50'32" Latitud Norte y 108°22'12" Longitud Oeste.

La zona de estudio está comunicada por la carretera estatal No. 23 Los Mochis-Choix (128 km), que pasa por los poblados de San Blas y el Fuerte. A partir de Choix, se sigue por un camino de terracería en muy buenas condiciones, de 18 km, que conduce directamente al lugar del proyecto.

La población de Choix cuenta con una pista corta de terracería, la cual permite el aterrizaje de avionetas pequeñas; también existe una base permanente de la Policía Judicial Federal, que proporciona servicio y combus-

tible (turbosina), a cualquier tipo de helicóptero. Se cuenta además, con servicios de correos y telégrafos, no obstante careciendo de teléfono.

e) Clima y vegetación.

El clima en general es cálido extremoso, con muy pocos cambios anuales. Se registra una sola época de lluvias, que abarca los meses de julio, agosto, septiembre - y ocasionalmente llega a llover en invierno.

En el verano la temperatura máxima es de 48°C, y la media de 35°C, sin embargo llegando a bajar durante - el invierno hasta los 8°C bajo cero.

La vegetación va de acuerdo con el clima que impera, siendo de tipo semi-árido. Está compuesta por zacate libre (Cathastecum berectum), accitilla (B. aristiodoides), biznagas (Mamillopsis s.c.), lechugilla (Agave lechugilla) y pitahayo (Lemaireocerus s.p.).

En las partes altas la flora está compuesta por - matorrales espinosos y arbustos de 2 a 6 m de altura, como huizache (Acacia farnesiana) y mesquite (Prosopis juliflora). Hacia las zonas más altas de la Sierra Madre - Occidental se encuentran bosques constituidos por pino - (Pinus s.p.), encinos (Quercus gamellii) y cedro rojo -- (Cedrela odorata).

f) Condiciones socioeconómicas.

- g) Cultura.-- De 1,400,000 habitantes en Sinaloa, el -- 55.4% vive en congregaciones rurales y en 44.5% en - comunidades urbanas.

Gran parte de la población tiene atención médica por la Secretaría de Salubridad y Asistencia, el Instituto Mexicano del Seguro Social y el ISSSTE.

Todos los poblados cuentan con escuela primaria, donde se imparte enseñanza hasta el tercer año como - mínimo.

La educación media a nivel preparatoria está restringida a las ciudades más importantes como son Los Mochis y Culiacán, y algunos poblados como Guasave, - El Fuerte y Choix. La educación a nivel universitario se encuentra a cargo de la Universidad Autónoma de Sinaloa y del Instituto Tecnológico de Culiacán.

Hay algunas comunidades indígenas como las de los bacorehuís y los sibirijoa, que corresponden al grupo étnico de los cohitas.

Condiciones económicas.-- La economía de la región es eminentemente agrícola, aunque en algunos poblados de la Sierra Madre Occidental se basan principalmente en la ganadería y aserraderos. Existe una cementera entre Choix y El Fuerte que representa una fuente de trabajo para esta zona. El mismo proyecto hidroeléctrico será importante fuente de empleos para los habitantes de - Choix y sus alrededores.

I. 2 FISIOGRAFIA.

a) Provincias fisiográficas.

El área de estudio se encuentra en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental en la sub-provincia fisiográfica llamada por Alvarez (1960) Llanura costera de Sinaloa y por Raíz (1959) Sierras de Pie de Monte. (Figura No. 2).

La región es semi-montañosa, presentando derrames lávicos de composición ácida en escarpes.

Rodríguez Torres y Córdoba A. (1977), describen esta unidad de Sierras de Pie de Monte de la siguiente forma: "Localizados entre las Altas Mesetas Riolíticas y la Planicie Costera; consisten de montañas parcial e irregularmente sepultadas.

Estas montañas hacia el oriente adquieren mayores elevaciones. Los ríos en esta sub-provincia fisiográfica han labrado cañones los cuales generalmente están controlados por un sistema de fallas de rumbo N-WW".

b) Geomorfología.

Esta zona se puede considerar semi-montañosa, estando formada por la intrusión de un granito, derrames lávicos y tobas que dan lugar a diferentes formas del relieve como son: montañas de tipo volcánico de composición



ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN



LEYENDA



UNAM

RECULTOS DE MEXICO
PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
DE LA
REPUBLICA MEXICANA

TESIS PROFESIONAL

Rodrigo Mayra Gaudier
Luis Gaudier Gaudier

100 100 100 100

ácida, con pendientes fuertes (Foto No. 1), lomeríos y mesetas que son el resultado de la erosión de los basaltos. Complica la geomorfología de la zona el fracturamiento y fallamiento, que han propiciado el desarrollo de casi todos los arroyos. Se pueden distinguir a través de estos drenajes la orientación del fracturamiento, espejos de fallas, contactos geológicos, zonas de alteración, etc.

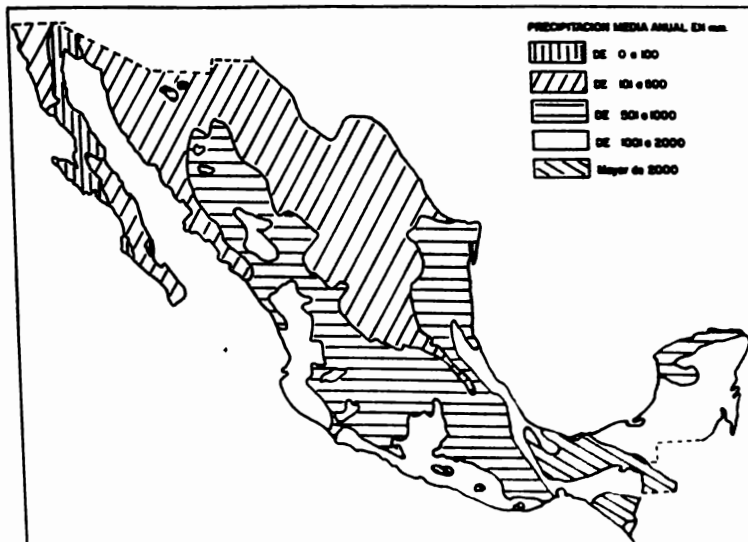
Es probable que este fracturamiento se haya producido por movimientos tectónicos. Estando como evidencia de éstos los espejos de falla que se localizan tanto en el granito como en las tobas, estando algunos planos sellados por diques de diabasa.

c) Hidrografía.

En la parte norte del Estado de Sinaloa existen grandes cuencas que irrigan toda la región (Fig. No. 3). Una de ellas es la del Río Fuerte, que nace en la Sierra de los Tepehuanes, en el Estado de Chihuahua, y se le conoce como Río San Miguel; un poco antes de penetrar en el Estado de Sinaloa, al unírsele el Río de Batopilas, adopta el nombre de Río Fuerte, siguiendo una orientación general NE-SW, pasando por los poblados de El Fuerte y San Blas; a unos 5 km del último poblado cambia bruscamente su curso hacia el poniente y continúa con esa dirección



Foto. No. 1. Las rocas volcánicas son las que dominan la estructura geomorfológica. (Parroquia afuera cerca del sitio).



DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION

FIG - 3

J. L. RODRIGUEZ CASTAÑEDA
J. E. TORRES VALENCIA
OCTUBRE 1977

hasta que desemboca 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 sus cursos y en una etapa de madurez tardía en la parte inferior, dentro de la Llanura Costera.

El Caudal del Río Fuerte es almacenado por la Presa Miguel Hidalgo, localizada al noreste del poblado de El Fuerte. Con esta presa y con un sistema de canales se ha podido beneficiar parte de las tierras del Valle de Los Mochis.

El Río Fuerte ha sufrido movimientos laterales, provocando meandros, lagunas de herradura, etc. Con estos movimientos se facilita la formación de amplios deltas, en su desembocadura.

En Huites se presenta un modelo de drenaje dendrítico que es característico de las rocas que hay en la zona, en donde los tributarios desciden hacia el río principal.

II.1 INTRODUCCION

En la parte norte del Estado de Sinaloa que colinda con el Estado de Chihuahua se encuentran rocas sedimentarias, metamórficas, volcánicas e intrusivas. Las rocas -- que se han estudiado son las que afloran exclusivamente a lo largo del área que cubre el vaso de la presa. Estas están constituidas por: corneana, calizas recristalizadas, rocas vulcanosedimentarias, un paquete de tobas y la intrusión de un granito, siendo las dos últimas las más -- abundantes.

El granito se encuentra en las partes bajas de los cerros mientras que las tobas se encuentran coronando a éstos. Las rocas metamórficas de que se tiene conocimiento cerca del área de la boquilla están constituidas por esquistos de bajo grado que afloran en la presa Miguel - Hidalgo.

Las calizas afloran cerca de Choix así como al NE de la boquilla, aproximadamente a 40 km de la mina la -- Reforma.

La roca vulcanosedimentaria se encuentra a 30 km al N del área de estudio.

Las principales estructuras regionales son fallas y fracturas con un rumbo preferencial N-S y NW-SE, lo -- cual pudiera ser producto de movimientos orogénicos. Tam-

bién se encuentran numerosos diques tanto de aplita -
como de diabasa con espesores de hasta 10 m emplazados
a lo largo de los planos de las fallas y fracturas.

II.2 LITOESTRATIGRAFIA.

En la hoja de Huiles, editada por el Instituto de Geología de la U.N.A.M., en 1977 y que abarca 30 km de radio alrededor de Choix, se describen las unidades litológicas siguientes:

- a) "Unidad Paleozoica, Sedimentaria".- Se da este nombre a una secuencia de rocas sedimentarias marinas del Paleozoico, las cuales presentan varios tipos de metamorfismo de bajo grado.

Esta unidad en general está compuesta de esquistos, pizarras, cuarcitas, calizas recristalizadas, pargilítico y otras rocas arcillo-arenosas que afloran en forma de lomeríos bajos y redondeados.

Estas rocas se localizan al SW y S de la Presa - Miguel Hidalgo y forman un cinturón de medio círculo; también afloran al norte de El Puente y en la carretera que va de este poblado a Choix.

Debido a que están cubiertas las rocas metamórficas discordantemente por rocas clásticas del Terciario y debido al fallamiento, no se pueden apreciar estructuras amplias.

- b) "Unidad Mesozoica, Metamórfica".- Es una secuencia de rocas volcánicas básicas, intermedias y ácidas, inter-

estratificadas con sus piroclásticos, que afloran también en forma de lomeríos bajos y redondeados. Hay -- buenos afloramientos en el camino que va de Hornillos a La Calera.

- c) "Unidad Cretácica".- Son rocas básicamente calcáreas pero su contenido litológico es variable y se encuentran en las partes más altas de los lomeríos.

Estas rocas afloran en el Valle del Río Choix, al norte del Río Reforma y los límites entre Sinaloa y Chihuahua. La caliza es de grano muy fino de color -- gris, masiva, afallada y localmente brechada, lo que puede ser consecuencia de la deformación mecánica que produjo el granito laramídico.

Rocas Volcánicas y Sedimentarias, Cenozoicas.

- d) "Unidad Terciaria Inferior, Básica".- Es la secuencia más antigua de las rocas volcánicas, principalmente -- de composición andesítica del Terciario, la cual descansa discordantemente sobre rocas metamórficas e intrusivas.

Las rocas de esta unidad están alteradas por procesos hidrotermales y otras mineralizadas. Estas rocas afloran en la parte alta del Valle del Río Choix.

- e) "Unidad Terciaria Inferior, Volcánica".- Está compuesta por andesitas, basaltos y riolitas con sus respectivas tobas y aglomerados, cuerpos intrusivos félsicos y corneanas. Todas estas rocas a veces están afectadas por procesos hidrotermales.

Su morfología es de bloques escarpados con - inclinaciones en diversas direcciones; se encuentra sumamente erosionada en algunas partes.

En el Rancho Casas Viejas y en la Sierra de - Cedros, la secuencia volcánica y piroclástica presentan espesores de 75 a 100 m.

- f) "Unidad Terciaria Inferior, Ácida".- Son rocas -- formadas por lavas, tobas e ignimbritas de composición ácida e intermedia, interestratificadas; - esta unidad asimismo, presenta alteración por procesos hidrotermales y está intrusionada por numerosos diques de composición andesítica a riolítica. Su morfología y el tamaño relativamente amplio de sus afloramientos hace pensar que para llegar a - tener formas escarpadas debió haber pasado un período de intensa erosión y a la vez ayudada por - movimientos tectónicos.

Esta unidad en las partes más altas de los cerrros, casi siempre está formando escarpes y cañadas de profundidad considerable. En el área de la bo-

quilla del P. H. Nites afloran rocas semejantes en las partes altas. También se observan estas rocas en la Sierra de Cedros con una longitud de aproximadamente 32 km. Se estima que la edad corresponde al Terciario Inferior-Terciario Medio por correlación.

- g) "Unidad Terciaria Media, Vulcanoclástica".- Consiste de areniscas tobáceas, conglomerados, aglomerados, - tobas y lavas ácidas interestratificadas. Los fragmentos del conglomerado son de rocas volcánicas, principalmente y en menor abundancia de rocas intrusivas. Su morfología es muy irregular.

Esta unidad descansa en discordancia angular sobre la Unidad Terciaria Inferior, Ácida. Aflora a 35 km S 45°E del poblado de Choix.

- h) "Unidad Terciaria Superior, Ácida".- Son rocas fundamentalmente ácidas, con muy poca inclinación, casi horizontales. Consisten en lavas y rocas piroclásticas de composición riolítica. Está constituida principalmente esta unidad por ignimbritas, y se localizan por lo regular en las zonas de mesetas, que constituyen las partes más altas. Se calcula una edad del Terciario Medio a la parte superior y Terciario Superior a la porción inferior; aflora a 25 km al este de Choix.
- i) "Unidad Terciaria Clástica".- Se compone de conglomerados, areniscas y areniscas tobáceas, con estratificación gradual y clásticos orientados con canales de

relleno, lo que hace pensar que fueron transportados y depositados en agua, sin que hubiera cesado totalmente la actividad volcánica.

Los afloramientos de esta unidad se localizan en tres áreas diferentes. Estas rocas rellenan fosas formadas por bloques rectangulares de granito afallado y, que corresponden a La Villa de Choix, la parte baja del Río Choix y a la zona localizada al norte donde las rocas sedimentarias están fuertemente afalladas.

- j) "Unidad Terciaria Superior, Básica".- Consiste de lavas y brechas basálticas y así como por derramas de composición andesítica a latítica que afloran en algunos lugares; se caracteriza porque es posible observar aparatos volcánicos, debido a que son rocas muy jóvenes.

El basalto que hay al norte del Lago Mahone podría representar a un pequeño volcán del tipo de escudo. También se encuentra un área de basalto, que cubre -- aproximadamente 10 km^2 al sur del Río Fuerte y al oeste del Río Choix, que asimismo parece un volcán de tipo escudo.

Los basaltos se tienen fechados como cuaternarios, pero también hay algunos más antiguos como son aquellos que se encuentran interdigitados con clásticos conti--

natales.

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

- k) "Unidad Cuaternaria, Pleistoceno, Clástica".- Así se le designa a los depósitos conglomeráticos de talud y abanicos aluviales, los cuales consisten de peñascos, matatenas y guijarros, de composición variable. Su morfología consiste en lomeríos de suave relieve. Las gravas que se localizan a ambos lados del Río Fuerte constituyen terrazas bien formadas, conocidas como "Formación Vado" y cubren discordantemente a las formaciones "Maune" y "Tesila".
- l) "Unidad Cuaternaria, Reciente, Llanuras de Inundación".- Se denomina así a los depósitos sedimentarios aportados por los ríos y sus afluentes en zonas aluviales y canales fluviales.

En las llanuras fluviales de inundación aparecen limos y arcillas areno-limosas, mientras que las gravas se observan en los lechos de los canales fluviales.

Rocas Intrusivas.

- M) "Unidad Intrusiva Acida".- Son rocas de composición ácida a intermedia, de naturaleza granítica, grano -- diorítica y monzonítica que afloran en un área de considerable extensión, pues forman parte del batolito -- de Sonora y Sinaloa.

Este intrusivo tiene un alargamiento nor-noroeste, cubriendo un área de $2,000 \text{ km}^2$, considerando todas las áreas inferidas, en donde se encuentra cubierto por derrames basálticos y rocas sedimentarias.

- n) "Unidad Intrusiva, Básica".- Son rocas intrusivas en forma de diques y mantos de composición andesítica a basáltica, siendo las más jóvenes del área, pues se emplazan en rocas del Terciario Medio. Por esta razón, se considera que tienen una edad del Terciario Tardío.

II. 3 TECTONICA REGIONAL.

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 (Fig. No. 4).

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 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. 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" calco-alcalino (Sonora-Sinaloa) están relaciona-

PARALELISMO Y CONTINUIDAD
DE RASGOS ESTRUCTURALES
CONTINENTALES Y DEL FONDO
OCEANICO

Tomado de Márquez C; 1971



From Moore; 1973

P.H. HUITES

FIG -4

das con los movimientos de hundimiento (subducción) de la placa de Farallón debajo de la placa American", 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, por lo que se presentan aquí solo ideas especulativas que difícilmente serán comprobadas en el futuro.

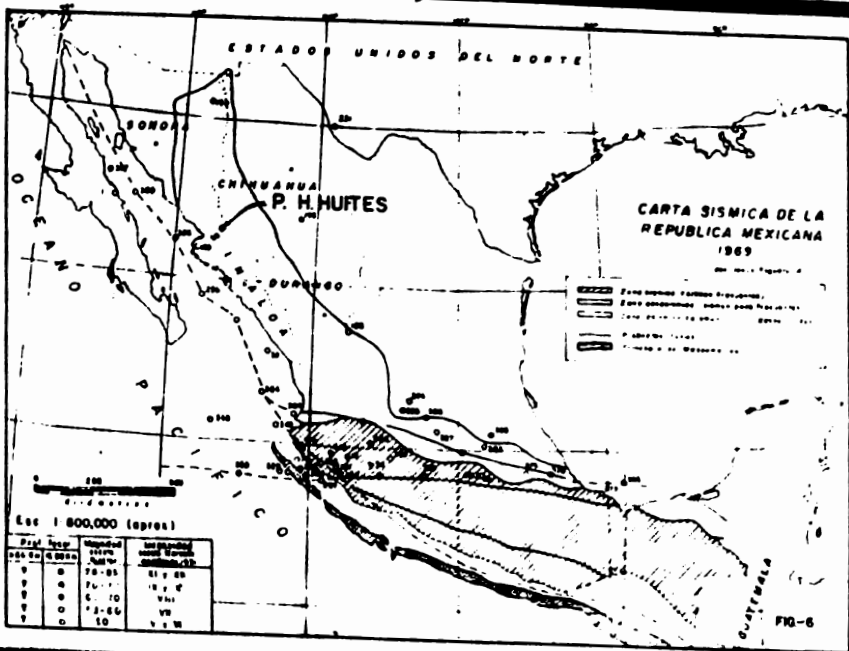
El ciclo geotécnico en la porción norte del Estado de Sinaloa se completa con una nueva época de plegamiento, ahora en dirección NW-SE, acompañado por grandes sistemas de fallas, que en general tienen la misma orientación. Este fenómeno corresponde aproximadamente al Terciario Medio, el cual señala la fase post-geosinclinal. Según Bonneau (op. cit.), desde fines del Terciario hasta hoy la región está sufriendo una tectónica en 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. (Fig. No. 5).

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 (Fig. No. 6), - el área del proyecto se encuentra dentro de la Zona Peni-sísmica, 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.

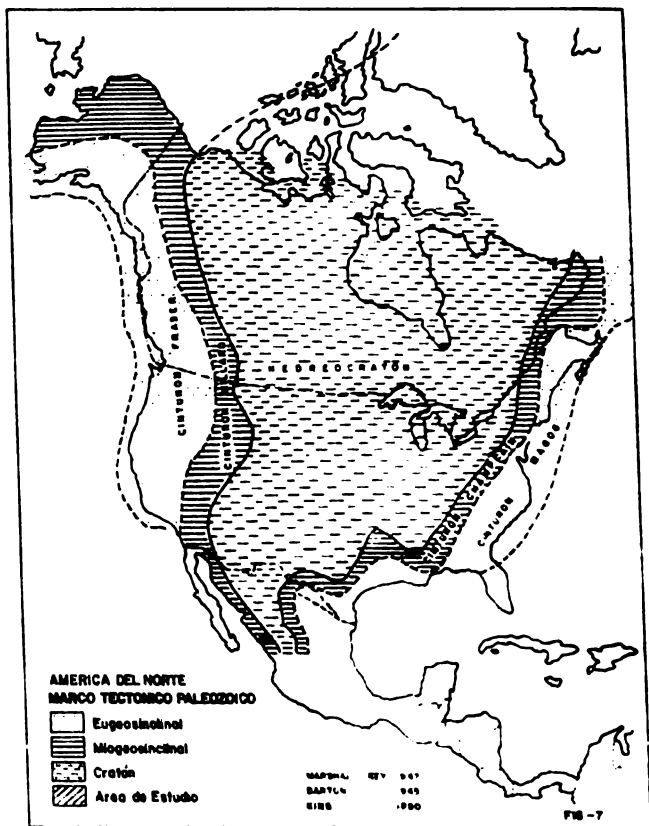


II. 4 GEOLOGIA HISTORICA

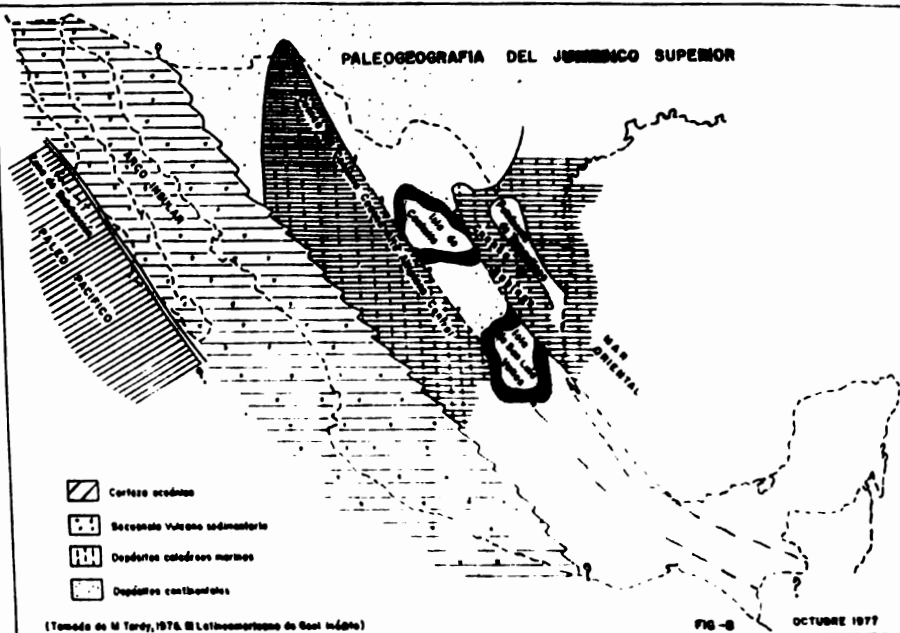
En base a las relaciones de la secuencia litoestratigráfica del norte de Sinaloa es posible reconstruir su historia geológica a partir del Paleozoico, tiempo en el que se verificaron ligeras pulsaciones epirogénicas, produciendo movimientos regresivos con ligeras alternancias transgresivas, depositándose rocas arcillo-arenosas algunas veces conglomeráticas y con intercalaciones de rocas carbonatadas, las cuales fueron afectadas por metamorfismo regional de contacto. (Fig. No. 7).

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. "Se ha inferido que su ambiente es continental por la ausencia de estructuras en almohadillas", (Rodríguez y Córdoba, 1977, p. 132). Posteriormente durante el Jurásico se sucedieron "movimientos regresivos y transgresivos, teniendo como resultado alternancia de rocas volcánicas y sedimentos calcáreos". (Op. cit. p. 130), (Fig. No. 8).

En el Cretácico los mares transgreden invadiendo grandes porciones del continente, dando lugar a la formación de rocas carbonatadas principalmente; es posible



PALEOGEOGRAFIA DEL JURASICO SUPERIOR



(Tomado de M. Tardá, 1976. El Litoestratigrama de Guelmá)

FIG-8

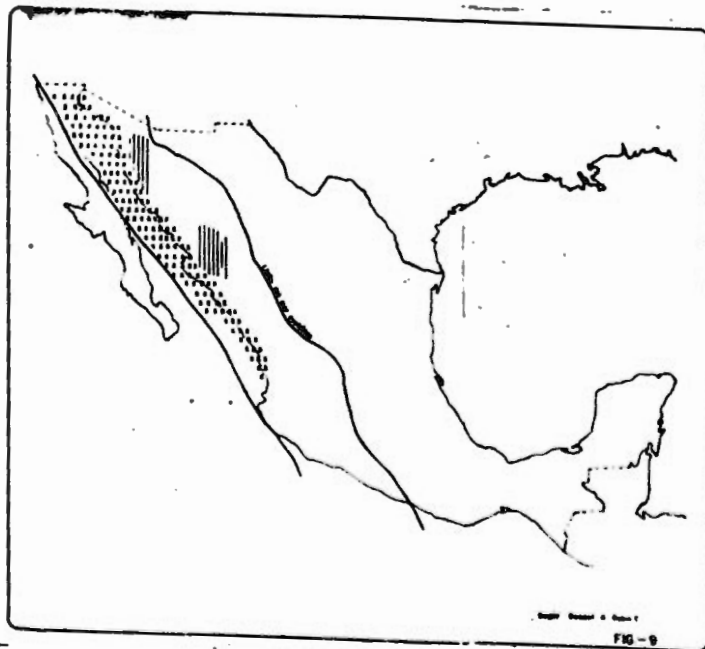
OCTUBRE 1977

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 era reducido a una especie de "Cordillera Pacífica"; las intrusiones batolíticas de la parte nor-occidental, prolongación de los -- grandes cuerpos graníticos californianos, así como 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. (Atwater, 1970 y Demant, 1975). (Fig. No. 3).

La fase temprana del Terciario se caracteriza por su actividad volcánica; esta región constituía una unidad positiva, que se acentúa 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 cual produjo -- depósitos de tipo continental en forma de areniscas tobáceas, tobas, aglomerados, areniscas y limos en zonas que constituyeran depresiones, las cuales son consecuencia de la actividad tectónica que estaba por finalizar. Aunque tal tipo de depósitos se observa en cuencas generalmente extensas, sin aparente conexión entre ellas, en la región



Escuela de Ingeniería

FIG - 9

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN



LEYENDA

ESTUDIO
Del área comprendida en
marcos geográficos de
Módulo Sur y Norte.

VALORACIÓN
Del terreno en
los lugares de estudio y
control.

ESCALA 1: 500,000
Aprox.

UNAM

ESCUELA DE INGENIERÍA
LOCALIZACIÓN DE LA UNAM - INGENIERÍA
DEL COSTA RICO SURTIDO

TESIS PROFESIONAL

Rodrigo María González
Luis González Jiménez

1999 1999

fueron bastante grandes y bien distribuidas, pudiéndose observar semejanzas en sus litologías.

Dentro de los horizontes mencionados se observan - gran cantidad de estratos, generalmente delgados, formados por arenas, limos y arcillas en donde se desarrollan polígonos de desecamiento, lo cual indica variaciones -- ambientales tanto respecto al depósito como a las condiciones climáticas.

El vulcanismo intenso culminó con el Terciario Temprano, pero hay manifestaciones de este fenómeno en el -- Terciario Medio (Fig. No. 10), más tarde se produjeron -- aislados derrames de lavas que descansan discordantemente sobre los depósitos continentales, produciendo un fuerte espesor de riolitas e ignimbritas con tobas y piroclásticos asociados. Se les atribuye una edad Mioceno por correlación estratigráfica.

En la zona que corresponde a la boquilla existe - una roca de origen vulcano-sedimentario, la cual debido a la intrusión del granito fue metamorfoseada a corneana, a la que se le atribuye una edad del Cretácico Superior. Sobreyaciendo a esta roca se observa un aglomerado de -- color rojizo, que en ocasiones se encuentra sobre el granito. Este aglomerado es masivo en la parte inferior y - estratificado en la superior, probablemente pertenezca al Mioceno. Sobre este aglomerado se observa un paquete de

tobas de la misma edad, con una pseudoestratificación --
bien definida. Finalmente se hallan diques de aplita que
intrusionan solamente al granito, y diques y mantos de -
diabasa que afectan a toda la secuencia litológica. Estos
diques se encuentran sellando el fracturamiento en el --
área.

III.- ASPECTOS GEOTECNICOS

III. 1 INTRODUCCION.

En las áreas en donde se programaron las obras civiles se realizaron estudios de detalle mapeándose contactos geológicos, fallas, diaclasas, zonas de alteración y depósitos de talud. También se dio mucho interés a la compacidad, dureza y permeabilidad de las rocas del área.

Todo el estudio geológico superficial se complemento con Geofísica, para lo cual se efectuaron sondeos sísmicos y eléctricos, con los que se pudieron determinar espesores de roca, de depósitos de talud y algunas estructuras como fallas y diques, que muchas veces en superficie no fue posible determinar.

Además, se contó con excavación subterránea, ha--biéndose abierto antes de este estudio socavones de 2.20 x 2.20 m de sección, con lo que se pudo observar las características físicas de la roca a profundidad. Algunos - de estos socavones quedaron dentro de las áreas de obra civil no obstante, abriéndose otros en lugares en donde se deseaba diferenciar la existencia de fallas y estructuras geológicas, que pudieran representar problemas pa-
ra la presa.

Existen tres equipos de barrenación de diamante con los cuales se está perforando toda la secuencia lito

lógica de la boquilla. Con los datos que se obtengan y - con las pruebas de permeabilidad, se podrá tener una mejor idea de la calidad de la roca a profundidad.

Hasta ahora que se está recopilando toda esta información, se ha podido comprobar que la roca tiende a - comportarse casi igual tanto en superficie como a profundidad.

III.2 GEOLOGIA DEL VASO.

La geología del vaso de Huitas se terminó, en su fase de reconocimiento, en lo que corresponde al Río Chínipas. La porción que comprende al mismo Río Puerte hasta su confluencia con el Río Urique, se completó totalmente, es decir que se realizó tanto su levantamiento como su verificación.

a) Litología.

La región que comprende el vaso de Huitas está compuesta por las siguientes unidades: corneana, granito - (Batolito Sonora-Sinaloa), secuencia sedimentaria (caliza y arenisca), aglomerado andesítico y tobas riolíticas.

Tentativamente y a reserva de confirmar con investigaciones posteriores, se presenta una columna cronoestratigráfica tanto de la boquilla como del vaso de Huitas.

TERCIARIO	Plioceno	Secuencia ignimbrítica de composición riolítica.
	Mioceno	Secuencia vulcano-sedimentaria: Tobas y areniscas de origen mixto.
CRETACICO		Corneana Granito Andesita Caliza

1).- Caliza.- Esta unidad se observa en las márgenes del Río Fuerte, en sus partes más altas. Se trata de una roca de color gris claro a gris oscuro que intertemperiza en tonos pardos claros y ocre. Su aspecto es masivo, moderadamente fracturado, aunque las pocas fracturas que presenta, cuando son verticales, alcanzan más de 25 m de longitud. En la margen del Río Chínipas se ha reportado con textura de grano fino, parcialmente marmorizada observándose vetillas de calcita de 2 a 4 cm de espesor. El rumbo general de los estratos es N 60° W con echados entre 20° y 40° al NE.

2).- Andesita.- Esta roca ha sido objeto de controversias para los geólogos pues no afloran claramente en la boquilla, solamente se han encontrado fragmentos incluidos en la corneana. En el vaso, sus afloramientos son reducidos en extensión y con límites bastante confusos con las rocas adyacentes. La existencia de esta roca sólo se podrá confirmar con estudios petrográficos. Por el momento podemos describirla de la siguiente manera: roca de color gris verdoso o gris oscuro, de aspecto macizo, textura variable entre aglomerática y porfídica. Los minerales observables son plagioclasas, tanto como fenocristales como en la matriz, trazas de máficos alterados completamente a clorita o hematita. Otros minerales de alteración son

las arcillas que atacan principalmente a las plagioclasas.

Del cuadro geológico regional se les asigna tentativamente al Cretácico Superior.

3).- Corneana.- Unidad de color gris oscuro de aspecto brechoide, a veces intensamente fracturada. Su composición es variada: en la base tiene una textura brechoide con fragmentos de caliza, arenisca, andesita y granito. Su matriz es de grano fino a mediano con alteración de clorita, epidota, calcita, arcillas y hematita. En su porción media se observa una estructura más compacta, menos fracturada, de textura porfídica con alteración hidrotermal consistente en cuarzo, el cual confiere a la roca más solidez pues se observa bastante silicificada. En las escasas fracturas de este miembro los planos están completamente hematitizados llegándose a observar algunas manifestaciones de pirita.

Por último, el miembro superior tiene un color gris verdoso, compacto, de textura porfídica, en ocasiones ligeramente brechoide. Los fragmentos de roca de este miembro están muy argilitizados y cloritizados, haciéndose difícil la distinción entre el miembro intermedio y el superior, o sea que se trata de un cambio transicional muy sutil.

4).- Granito.- Roca de color gris verdoso a gris rosado, estructura maciza, presenta buen grado de compactación en sus partes más profundas, observándose en superficie un fracturamiento en dos sentidos que forman un ángulo casi recto, además de ser bastante deletznable.

Los minerales de alteración son principalmente arcillas que afectan sobremanera a feldespatos potásicos y plagioclasas. Los minerales primarios son los típicos: feldespato potásico, cuarzo, plagioclasas, micas, hornblenda, apatita, zircón, esfena, magnetita, etc. Los minerales secundarios los constituyen principalmente arcillas, calcita, barita (?), hematita y pirita.

Esta unidad pertenece al evento magmático conocido como Batolito de Sonora-Sinaloa, el cual marca en el noreste del país el final de la Revolución Laramide. El granito aflora en gran parte del norte de Sinaloa, siendo especialmente abundante en el vaso de Huites.

5).- Secuencia Vulcano-Sedimentaria.- Hacia la porción N-NW del vaso en el área que cruza el Río Chinipas se encontró una roca vulcano-sedimentaria de color pardo rojizo abajo del paquete de tobas, que muestra una estratificación bien definida y en otras áreas se encuentra completamente masiva, estimándose un espesor aproximado de 200 m, con poco fracturamiento y el fallamiento es en bloques.

Los componentes detríticos varían de subangulares a subredondeados, lo que indica que hubo un cierto transporte. El porcentaje de fragmentos de roca es un poco mayor que el de las plagioclasas, no contiene cuarzo y presenta buena clasificación. Lo más probable es que esta roca provenga de la desintegración de material volcánico.

6).- Tobas.- Las tobas se encuentran en la parte alta de los cerros y tienen mucha semejanza con las que se encuentran en la boquilla, en donde se han podido determinar varios miembros. Tienen un fracturamiento casi vertical con cantiles completamente verticales y el fallamiento es en bloques.

Secuencia Ignimbrítica.- Esta secuencia riolítica conforma la mayor parte de la Sierra Madre Occidental, llegando a acumular miles de metros en espesor de tobas, aglomerados, ignimbritas, areniscas híbridas, etc.

Tanto en la boquilla como en el vaso de Huítes se observaron básicamente ignimbritas y areniscas híbridas de naturaleza riolítica. Los cinco miembros que se describieron en la boquilla llegan a duplicarse en el vaso.

b) Estructuras.

Las principales estructuras que se encontraron fue-

ron fallas y fracturas que presentan un rumbo preferencial N-S y NW-SE, y que forman bloques en las tobas y en la arenisca lítica, mientras que en la corneana y en el granito estas fallas son normales. La mayoría de las fallas se encuentran selladas por diques de diabasa o de - aplita, no mostrando éstos ninguna evidencia de desplazamiento, lo cual señala que se trata de fallas inactivas.

El fracturamiento que se encuentra en las tobas es casi vertical; algunas fracturas menores están rellenas por cuarzo o calcita y otras son cerradas.

c) Alteraciones.

Las alteraciones que se determinaron en la corneana son: propilitización, la cual está diseminada; hematización observable en vetillas y diseminada y la silicificación que vuelve a esta roca más dura y resistente a la erosión.

En el granito la alteración más abundante es la argilitización provocando que la roca se vuelve deleznable; la propilitización se encuentra diseminada en la roca; - la turmalina aparece en vetillas rellenas algunas fracturas pequeñas; la hematita está diseminada formando zonas de color rojizo y también se la encuentra en vetillas.

III.3 SECCION GEOLOGICA SOBRE EL TRAZO DE LOS TUNELES VERTEDORES.

La traza del eje central de los túneles vertedores se localiza en la margen izquierda, y tiene una orientación NE-55°, con una longitud, desde el portal de entrada hasta el portal de salida, de 1728.61 metros. Esta traza se levantó con el tránsito y estatal, haciéndose un cadenamiento irregular, debido a los accidentes topográficos.

El levantamiento geológico cubrió 50 m a cada lado de esta traza, haciendo el mapeo original a una escala 1:500. En gabinete, ésta se redujo a 1:1,000 y 1:2,000, ya que se dispone de planos topográficos base en estas dos únicas escalas.

Apoyándose en el cadenamiento previamente señalado, se levantó la geología a detalle con brújula y cinta, - describiendo y mapeando rasgos como: litología, fallas, fracturas, zonas de alteración, contactos, localización de zonas de permeabilidad, etc.

a) Litología.

1) Corneana.- El contacto corneana-granito se encuentra enmascarado, en la mayor parte de su afloramiento; donde se logró ver, la corneana aparece silici-

ficada con incipiente contenido de pirita, clorita y epidota. La silicificación le da una estructura maciza y compacta. El granito, por su parte, se observa argilitizado superficialmente, comportándose más sano debajo de la capa de intemperismo.

La corneana se observa con una incipiente hematización, encontrándose en contacto con una zona de alteración argílica que contiene vetillas turmalinizadas, cambiando totalmente la textura original a una roca muy desleñable de color amarillo-verdoso, sin que se puedan identificar minerales originales. La orientación preferencial del fracturamiento está constituida por dos sistemas: S65W-85° SE y S35E-90°.

2).- Granito.- A partir del cadenamiento 0+000 se identificó granito, superficialmente intemperizado y fracturado, semicubierto por una capa de talud de espesor variable ($\pm$ 0.40 m) y por suelo de color café, de textura arcillo-arenosa. Se observaron fracturas con dos orientaciones que oscilan entre N54W a N54E y N25W a N25E respectivamente.

3).- Ignimbritas.- Durante el desarrollo del levantamiento de esta sección se encontraron diferentes aspectos de las tobas o ignimbritas riolíticas, lo cual obligó a definir con todo cuidado todos y cada uno de estos miembros.

Inicialmente se definieron nueve miembros ignimbri-
ticos. Un examen posterior más cuidadoso mostró que algu-
nos de éstos, aunque con ligeras diferencias físicas, te-
nían un mismo origen tanto en tiempo como en espacio, de
modo que se redujeron a cinco miembros solamente. Del -
más antiguo al más joven tenemos los siguientes miembros,
(Foto No. 2).

Tmt₁.- Tobas arenosas de color rosa, de grano fino textu-
ra eutaxítica; los líticos son pequeños, llegando-
se a observar cuarzo, plagioclasas y feldespato -
potásico.

Este miembro está en contacto discordante con la
corneana; en la base se presenta lítica y arenosa,
haciéndose más uniforme en su porción media; sin
embargo, presenta horizontes aislados arcillo-are-
nosos bien delimitados. En la parte superior se
vuelve más arenosa y más deleznable, estando afec-
tadas por fracturas y fallas normales de tensión,
de 5 a 15 metros de longitud; en ocasiones el con-
tacto en el miembro suprayacente está soldado, ob-
servándose algunas zonas de permeabilidad. En el
barreno No. 3 se encontró el contacto con el mien-
bro Tmt₂ siendo éste de carácter transicional.

Tmt₂.- Toba arcillosa de color gris muy claro de textura
piroclástica.



Photo showing the mountain peak of Mt. St. Helens, Washington, as seen from the town of Kelso, Oregon, on the Columbia River. The mountain is partially covered in snow and is surrounded by dense forest. The town of Kelso is visible in the foreground, and the Columbia River is visible in the background.

Presenta líticos angulosos, en ocasiones aplastados dentro de una matriz afanítica de color gris claro. Se pudieron identificar los siguientes minerales: cuarzo, biotita y arcillas siendo éstas, probablemente, el producto de la alteración del feldespato potásico y las plagioclasas.

Este miembro presenta una pseudoestratificación con echados al S55E-35°SW en la entrada de los vertederos, cambiando a una posición horizontal a la salida de los mismos.

En el barreno No. 3 se encontró a los 23.35 metros presentando un contacto concordante con el miembro Tmt₃.

Tmt₃.- Toba lítica de color rosa intenso a amarillo rojizo, de textura autaxítica, estructura maciza y aspecto masivo; los minerales que la integran son: cuarzo, plagioclasas, micas y fragmentos líticos. Se observaron, esporádicamente, horizontes vesiculares, que a veces cambian a amigdalas de calcita. Los líticos son subangulares y están compuestos de pómez, biotita y cuarzo.

En la porción inferior este miembro presenta una textura arenosa de color rosa-rojizo, con muchos líticos de diámetro pequeño, subarredondados. En la parte superior contiene clastos hasta de 5 cm

de diámetro, con horizontes arcillo-arenosos de color rojizo.

La pseudostratificación en la entrada de los vertedores tiene una orientación de S55E-35°SW; en la salida de los vertedores su posición se vuelve casi horizontal.

El fracturamiento de este miembro es perpendicular a la pseudostratificación, observándose además microfracturas verticales con un rumbo SE-60° y una densidad promedio de 7 fracturas por metro.

Tmt₄.- Toba vítrea de color oscuro morado, de textura variable: unas veces se presenta con grano fino y estructura maciza, y otras veces se observan líticos pequeños, aplastados y orientados. En su porción inferior esta toba está compuesta por plagioclasas y cuarzo en una matriz afanítica de color rosa oscuro, dando por resultado una textura eutaxítica. Presenta vesículas orientadas en la -- parte intermedia.

En su porción superior la estructura se vuelve -- más porosa o vesicular, lo que ocasiona que la roca tienda a ser más fracturable. Este fracturamiento se adna a un fallamiento de dimensiones regulares con un rumbo general de NW-60°, siendo en su mayoría verticales. El entrecruzamiento de --

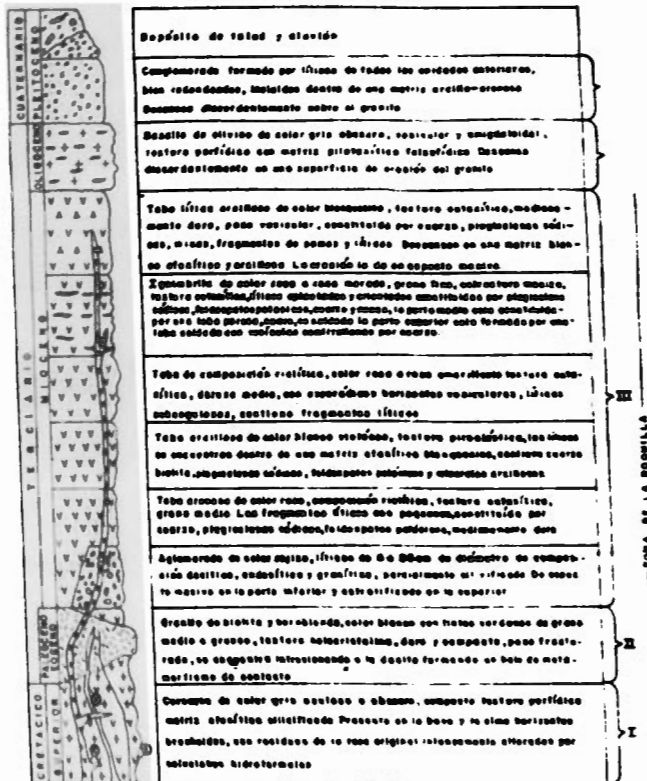
fracturas con fallamiento provoca la aparición de grandes bloques que se encuentran en equilibrio - inestable, por lo general, arriba de la cota 300, refiriéndonos únicamente al área de la boquilla - de Huiles.

En el barreno No. 1 este miembro presenta un porcentaje de recuperación muy bajo. El contacto - con la unidad ignimbrítica suprayacente se encontró a los 80 m de profundidad.

Tmt.₅.- Toba lítica arcillosa de color gris rosado, textura eutaxítica, medianamente dura. Los líticos - tienen un tamaño promedio de 5 cm, con de composición riolítica y se encuentran rodeados de una matriz afanítica de color gris muy claro. Los frag^{men}tos de pómez son subangulares. Al igual que - en el miembro subyacente, el fracturamiento es intenso y la exfoliación tiende a darle formas arredondadas.

En el barreno No. 1, esta unidad se cortó hasta - los 80 m de profundidad. Entre los 73.50 y los - 75.30 m se observó un dique de diabasa muy altarado y fracturado, siendo el contacto con la unidad inferior transicional, mostrando muy buena recuperación. (Fig. No. 11).

COLUMNA LITOLOGICA



- 1) Apilte en volutas
- 2) Diabasa en diques y mantos
- 3) Termolina en volutas

FIG. 11

Esta secuencia ignimbrítica se observa en contacto discordante con la corneana en la cota 345, sobre la traza del eje de vertedores.

Desde esta altura hasta la cota 225 se observa la corneana, cubierta por una capa de suelo residual y ta-lud, que varía entre 0.20 m y 1.5 m de espesor. Precisamente en la intersección del eje de vertedores con la cota 225 se localiza en contacto por falle el granito y la corneana.

b) Estructuras.

La unidad más afectada por fallas y fracturas es la corneana; se encuentra muy fracturada en el área de salida de vertedores, siendo el rumbo preferencial de fracturas NE-SW; además se encuentra en contacto-falla con el granito. Algunas veces las fracturas están rellenas por vetillas de turmalina y/o argilitizadas.

La unidad ignimbrítica está afectada por fracturas y fallas normales con longitudes de más de 20 m; las fallas están escalonadas formando una topografía de fuerte pendiente; las fracturas algunas veces se cruzan casi -oblicuamente, alcanzando a cortar toda la secuencia, formando bloques inestables como los que se encuentran a la salida de vertedores.

El granito está afectado por micro-fallas y fractu-

ras cerradas y soldadas, no restándole consistencia ni estabilidad, siendo la roca que en mejores condiciones se encuentra.

c) Alteraciones.

Las alteraciones que afectan son: la turmalinización, silicificación, propilitización, hematización y argilitización. La corneana es la roca más alterada, estando afectada en un 90% aproximadamente; tal es el grado de alteración que enmascara la textura original, siendo difícil determinar el origen de ésta. La zona más afectada es la que se encuentra a la salida de vertedores, presenta propilitización-argilitización, lo que hace a la roca muy suave y deleznable. A la entrada de vertedores, cerca del contacto con el granito, la corneana está propilitizada con hematización incipiente, siendo más intensa en el contacto con las tobas.

El granito en general no está afectado por ninguna alteración hidrotermal, estando sólo argilitizado por intemperismo superficialmente, encontrándose más compacto a poca profundidad.

La secuencia ignimbrítica no presenta ninguna alteración, sólo está afectada por el intemperismo.

III.4 GEOLOGIA DEL PORTAL DE ENTRADA DE LOS TUNELER

VERTEDORES.

a) Litología.

La zona que comprende el portal de entrada de vertedores se localiza en la margen izquierda, aproximadamente a 850 m de la cortina, aguas arriba. Con el objeto de apoyar la geología se trazó con tránsito una cuadrícula de 450 m x 250 m, con una orientación de su eje más largo, hacia el NW-47°. Se trazaron 3 líneas paralelas a este eje (Plano No. 2).

La geología se levantó con brújula y cinta, apoyándose en la cuadrícula topográfica, previamente trazada.

Se encontraron los afloramientos de granito y corneana en los arroyos, quedando cubierta el resto del área por talud y suelo vegetal.

La corneana se encontró muy fracturada en varias direcciones, siendo las fracturas verticales de longitud pequeña las más numerosas. En cuanto a alteraciones, la corneana presenta zonas de argilitización. Cuando la roca está turmalinizada va acompañada por limonita, cuarzo secundario bien cristalizado y tramas de carbonato de cobre. La turmalina se presenta en vetillas y diseminada.

La corneana presenta también textura brechoide, con

intensa silicificación e incipiente hematización.

Según las evidencias de campo, parece ser que existen dos facies graníticas esencialmente contemporáneas: una granodiorita de hornblenda, de color gris claro verdoso, muy compacta, poco alterada, en contacto con un granito de color gris rosado, argilitizado e intemperizado superficialmente. La densidad de fracturamiento es menor que en la granodiorita.

El depósito de talud que cubre la mayor parte del área se compone de bloques de ignimbrita o por fragmentos de corneana de 0.5 a 4 cm de diámetro.

b) Estructuras.

Las fracturas en el granito se presentan en varias direcciones con longitud e intensidad variables y generalmente son cerradas; algunas de éstas están selladas por diques. En la corneana el fracturamiento es de moderado a intenso y, en ocasiones, estas fracturas están rellenas de turmalina; tampoco presentan dirección preferencial y, al igual que en el granito, algunas de éstas están selladas por diques de diabasa y aplita.

c) Alteraciones.

La argilitización es la alteración más abundante en el granito. La turmalina se encuentra dentro del área en

forma diseminada y está compuesta por cristales de cuarzo bien formados y en vetillas; esta alteración se debe a soluciones hidrotermales ascendentes.

La propilitización se encuentra en la corneana con los minerales clorita y epidoto, que pertenecen a esta alteración, los cuales le dan una coloración verdosa. - También encontramos a la roca silicificada volviéndola más maciza y compacta.

III.5 GEOLOGIA DEL PORTAL DE SALIDA DE LOS TUNELES VERTEDORES.

a) Litología.

En el área de salida de los vertedores se trazaron - siete líneas con una longitud de 350 metros, espaciadas - entre sí cada 25 y 50 m (Foto No. 3).

El estacado se hizo también cada 25 m. La dirección de esta línea es SW-55°.

Se mapearon dos tipos de roca: granito y corneana. - La primera cubre aproximadamente el 70% del área y la segunda el otro 30%.

Casi toda el área está cubierta por suelo residual - con un espesor de 1 a 2 m; el talud está constituido básicamente por fragmentos de toba, los cuales varían entre - 0.2 y 10 de diámetro. Existe una pequeña zona de hematización al final de las líneas más cercanas al camino de acceso al barreno No. 3 (Ver Plano No. 3).

El contacto geológico entre granito y corneana presenta espejos de falla, los cuales se observan principalmente en el primero, por lo que se considera que se trata de un contacto falla, ya que sólo en algunos lugares se pudo observar, como fueron en arroyos profundos y cañas.



Foto. No. 3. Parcial de la margen izquierda donde se van a ubicar los edificios de desarrollo y el portal de salida de tigre en vertedero.

El granito se encontró muy intemperizado, formando una capa de más de 1 metro de espesor, en la cual está completamente incoherente, muy fracturado y alterado a arcillas. Abajo de esta capa, se vuelve más compacto, sin alteraciones importantes y aunque todavía con fracturas, éstas son cerradas y de corta longitud.

La corneana es brechoide, muy silicificada y/o cloritizada. Los fragmentos casi siempre se observan alterados a clorita, epidota y arcillas, con diámetro variable entre 1 y 3 cm. La matriz es afanítica, silicificada, la cual contrasta con los fragmentos de color un poco más claro. La roca, por lo tanto, es de un tono gris pardusco, volviéndose gris rojizo cuando está hematitizada o cerca del contacto con el granito.

En el aspecto estructural se considera que la mayor parte de la obra civil quedará ubicada en el granito, el cual muestra relativamente poco fracturamiento, buena compacidad y casi ninguna alteración.

b) Estructuras.

Hay algunas fallas de importancia como la falla-contacto del granito con la corneana, cuyas evidencias se manifiestan a lo largo de toda la margen izquierda, continuándose probablemente hasta la margen derecha.

A lo largo del contacto se puede observar que los minerales están deformados y alargados; algunas veces presentan estrías, lo cual constata que hubo desplazamiento entre las rocas.

Existen fracturas que llegan a tener hasta 10 m de longitud, encontrándose abiertas. Se presentan también diques doleríticos intrusionando a la corneana.

c) Alteraciones.

La alteración observada en el granito es la argilitización en donde los feldespatos se alteran a arcillas, lo cual hace que la roca se vuelva deleznable; en este caso dicha alteración es producto del intemperismo.

En la corneana existe una pequeña zona oxidada que probablemente sea producto del intemperismo, ya que parece ser muy superficial, dando una coloración rojiza; también se encontró la propilitización.

III.6 GEOLOGIA DE ENTRADA A LA CASA DE MAQUINAS

a) Litología.

El área que ocupa el portal de entrada a casa de ma quinas es de aproximadamente 0.444 Km^2 ; está ubicada en la margen derecha a 90 m aguas arriba de la cortina y - comprende la siguiente secuencia litológica (Ver Plano - No. 4).

1.- Corneana.- Es de color gris azulado a oscuro, - estructura compacta, textura porfirica, matriz afanítica y silicificada; la parte inferior es brechoide, cambiando transicionalmente a una metatoba arenosa hacia la cima; es de color pardo rojizo con tintes blancos a la intemperie y también se encuentra silicificada. El contacto con el granito está afectado por un grado mayor de ma tamorfismo, formando una zona de granito de grano fino, silicificado de color gris claro.

2.- Granito.- Es de color blanco rosáceo que intemperiza a pardo amarillento; su textura holocristalina es de grano medio a grueso; es duro, compacto y masivo y - presenta una estructura en forma dómica debido a la exfo liación que la afecta; la capa de alteración por intemperismo es de aproximadamente 10 m de espesor. Esta roca - está atravesada por varios diques de diabasa de 2 m de -

espesor promedio.

3.- Ignimbritas.- Es una secuencia riolítica con un horizonte aglomerático en la base.

i) Aglomerado.- Es de color rojo oscuro, compacto con abundantes fragmentos de corneana y escasos de granito, de estructura masiva, textura piroclástica en la parte inferior, cambiando transicionalmente a arcillo-arenosa hacia la cima y presentando una silicificación incipiente.

ii) La secuencia riolítica tiene un espesor aproximado - de 250 m dividido en horizontes muy bien definidos - de tobas que varían en textura y color pero poco en composición, y que se encuentran pseudoestratificados en capas semihorizontales.

4.- Diabasa.- Es de color verde oscuro a grisáceo, textura afanítica y brechoide, en algunas partes, debido al tipo de erosión con disyunción esférica. Sus minerales esenciales son las plagioclasas cálcicas, siendo los accesorios augita, hornblenda, apatito, ilmenita y pirita; los secundarios son clorita, calcita y cuarzo, estando la primera de ellas en glóbulos e invadiendo parcialmente a las plagioclasas.

b) Estructuras.

La corneana está afectada por un intenso fracturamiento, siendo la mayor parte de las fracturas pequeñas, cerradas y sin relleno arcilloso, se presentan en gran cantidad en algunas zonas, dando apariencia brechada. Se observa también algunas fracturas de mayor longitud con orientación general NW-SE.

El granito presenta escasas fracturas cerradas en la periferia del domo y en comparación con su aspecto regional el fracturamiento en este sitio es mucho menor.

La secuencia ignimbrítica se encuentra cortada por fallas y fracturas; las primeras tienen planos silicificados con reliz de deslizamiento, y presentan aberturas hasta de 20 cm en la parte superior, cerrándose hacia abajo.

A lo largo de algunas fallas y fracturas se encuentran emplazados diques y mantos de diabasa.

En los diques, el fracturamiento que afecta a la diabasa es superficial y tiene un rumbo paralelo al de la falla o fractura donde se emplaza.

c) Alteraciones.

La alteración principal que afecta a la corneana es la silicificación, la cual es abundante, enmascarando la textura original y endureciendo la roca; la hematización

y la argilitización son alteraciones que también afectan a la corneana, pero en zonas más restringidas.

La roca granítica no presenta alteraciones.

Sólo en la parte inferior las ignimbritas son aglomeráticas y están afectadas por hematización e incipiente silicificación.

IV GEOLOGIA DE DETALLE DE LOS
POZOS EN LAS AREAS DE
OSIA CIVIL.

El levantamiento geológico a detalle en socavones viene a confirmar o corregir las observaciones que se hicieron en geología superficial. En el caso de la entrada y salida de los vertederos, la geología no tiene variaciones remarcables en los socavones No. 7 y No. 9 respectivamente.

a) Socavón No. 7.- Aunque en esta etapa se levantaron únicamente 12.25 m, se pudo observar que la bocamina está labrada en la corneana, la cual se observa muy alterada, principalmente son arcillas, hematita, limonitas y con un contenido moderado de calcita, cuarzo secundario, epidota, clorita y mineral de manganeso. En este tramo solamente observaron 20 fracturas correspondiendo al NW-SE el más importante que comprende 14 fracturas que varían entre 38° y 63° , cinco de ellas verticales. Todas las fracturas se encuentran en zonas de argilitización aunque no están rellenas por arcillas, teniendo un promedio de 4.5 m de largo, hasta donde se levantó.

b) Socavón No. 9.- Se prosiguió con el levantamiento geológico de este socavón hasta los 137 m; se encuentra labrado en granito el cual presenta todavía un fracturamiento moderado. Las fracturas pequeñas generalmente están cerradas, rellenas por calcita o por un mineral rosado que se presenta en forma de vetilla; en otros casos, los planos de las fracturas están oxidados y algu-

nas vetas de calcita son de espesor considerable, entre 15 y 20 cm de ancho.

Se observan varias zonas de permeabilidad, que se supone son fracturas de desarrollo pequeño aunque forman un sistema intercomunicado que da por resultado filtración de aguas meteóricas. En general, el fracturamiento predominante es NW SE, tal como se ha observado en el resto del socavón.

c) Socavón No. 3.- Este socavón, tiene una longitud apenas de 52.30 metros.

El objetivo de la obra es atravesar a los 43 m, en el contracrucero No. 1, el contacto-falla entre la corneana y el granito; ésta aparece como una fractura abierta rellena por arcilla hematitizada con una anchura - - aproximada de 15 cm. La falla se observa en la parte exterior de la bocamina en la tabla derecha, a escasamente 1.2 m de la entrada. En este lugar aparece como una fractura abierta, rellena por arcillas, con un espesor de escasamente 2 cm.

La roca que se encuentra en el primer tramo del socavón, antes de la falla, es la corneana, la cual presenta un aspecto brechoide con escasa oxidación. El -- fracturamiento es relativamente intenso y se caracteriza al igual que en el Socavón No. 7, por el predominio

de una orientación NW-SE. Las fracturas de longitud pequeña están cerradas, las de mayor extensión están abiertas y rellenas por calcita o arcillas o hematita. La -- orientación de la falla, es S 20°E y 56° al NE.

El granito tiene, comparativamente, escaso fracturamiento no habiendo predominio de ninguna orientación.

Al igual que en toda el área de la boquilla, el granito tiene una textura equigranular, compuesta por feldespato potásico, cuarzo, plagioclasea o cuarzo. Su aspecto es el de una roca más maciza que la corneana, sin alteración de ninguna clase.

61

▼ GEOFISICA

V.I INTRODUCCION

Los estudios geofísicos que se han realizado en la boquilla tienen por objeto conocer las propiedades físicas de la roca.

Para tal efecto se utilizaron dos métodos, el de prospección eléctrica y el de sismología, con los cuales se pueden calcular las siguientes características de las rocas: compacidad, permeabilidad y espesores.

Se han efectuado estudios más detallados en donde se emplazarán las obras civiles como son en la entrada y salida de los túneles de vertederos, la casa de máquinas, el eje de la cortina, etc.

a) Prospección Eléctrica.

i) Margen Izquierda.

En esta margen se realizaron tres tendidos de líneas geoelectricas, las cuales son más o menos paralelas, distando entre sí 40, 60 y 75 m, respectivamente. Una se inicia del eje de la cortina hacia -- aguas arriba y las otras dos, una a 210 m y la otra 280 m, ambas aguas arriba de dicho eje.

De estos tres tendidos la correlación permitió -

deducir la existencia de tres capas. La primera consta de un suelo residual compuesto por fragmentos de toba y corneana; su espesor es de aproximadamente 4 m en la parte más estrecha y 6 m en la parte más gruesa. La segunda capa subyace en algunas partes a la primera y en otras llega a aflorar en superficie; su espesor fluctúa entre los 30 y 60 m. Los parámetros calculados en el tercer arreglo resultó que tenía una profundidad mayor a los 150 m. La interpretación de los rasgos estructurales obtenidos en los perfiles geoelectrónicos han sido de fallas.

ii) Margen Derecha.

En la parte superior del domo granítico, ubicado en la margen derecha, se realizó un estudio de resistividad (geoelectrónico), cuyo objetivo principal era conocer el encaps. La interpretación de las curvas de campo dan tres contrastes resistivos; el primero más importante por ser el objetivo del levantamiento, tiene un espesor que varía de los 0.25 m a los 2 m; al interpretar los datos geoelectrónicos, se observó que los valores fueron demasiado bajos, lo cual pudo ser debido a: fracturamiento, material de relleno de las fracturas, porosidad o a la composición mineralógica de la roca misma.

b) Sismología.

1) Margen Izquierda.

La prospección sísmica en esta margen consistió - en tres líneas. La primera de ellas tiene una longitud de 670 m, es paralela al río y cruza el eje - de la cortina hacia aguas arriba. Con las velocida des sísmicas obtenidas se dedujo la existencia de - tres capas: la primera de 8 m de espesor que corres ponde al depósito de talud, compuesto principalmente por fragmentos de tobas; la segunda capa que corresponde a la corneana presenta un espesor de 20 a 55 m de la última capa, no se pudo detectar su piso, por lo que su espesor se desconoce; es probable que esta capa corresponda al granito.

Los otros dos levantamientos tienen una orientación similar y una longitud de 340 m cada una, obte niéndose también en estos casos el mismo número y - espesor de las capas descritas anteriormente. Estas capas están constituidas por un depósito de talud - compuesto de tobas, y corneana incluyendo la capa - de intemperismo del granito.

Se registró una anomalía en la primera línea que consistió en la interpretación de una falla que se para al granito de la corneana, el cual atraviesa - al eje de la cortina.

11) Margen Derecha.

Los dos levantamientos sísmicos de mayor longitud se realizaron en esta margen del río, con el propósito de conocer la roca sobre ella; otra de menor longitud se levantó un poco más arriba topográficamente. En la primera línea se detectaron tres cambios de velocidades muy parecidos a los obtenidos en la margen izquierda, cuyas interpretaciones dieron primero una capa superficial de 6 m de espesor aproximadamente; la segunda tiene un espesor como de 30 m y para la última no se le pudo determinar. La primera capa — consiste en un depósito de talud, compuesto por bloques de tobas principalmente y algunos de corneana; la segunda detectada sólo en algunas partes a la corneana y la tercera, al granito. Debido a que la segunda línea fue muy corta, los métodos geofísicos detectaron solamente una capa de 6 m mientras que la segunda no la detectó. Esto no concuerda con la geología, ya que, en esta área se observa corneana debajo del depósito de talud. En la salida de vertederos se corrieron 3 líneas geofísicas (método — sísmico de refracción y prospección eléctrica), las cuales se denominaron de acuerdo a la simbología — adoptada por topografía (2, 3, 4 y 5), en las tres se determinó la zona de encape, la segunda capa correspondió a la corneana con dos miembros, el

segundo de los cuales corresponde quizá a una zona de alteración, ya que su resistividad es menor que en el primer miembro; finalmente se encontró el -- granito. Los espesores de estas capas fueron los siguientes: 4 m para el depósito compuesto por -- bloques de tobas y corneanas, 20 m aproximadamente, para el segundo miembro de la corneana; la última capa correspondió al granito y, obviamente, no se logró determinar su espesor. En los otros dos trazos se determinó que hay solo un tipo de roca pero con diferentes velocidades, constituida por una capa de talud como de 3 m de espesor. Posteriormente la subyace una zona de alteración de aproximadamente 18 m y finalmente la capa del granito macizo.

VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Puesto que la boquilla va a quedar labrada en granito, corneana e ignimbritas, todas ellas intruscionadas - por diques y mantos de composición diabásica, sus condiciones físicas son necesariamente diferentes. El granito el más importante, ya que sobre esta roca descansará básicamente la presa y es la que presenta mejores condiciones de compacidad, competencia e impermeabilidad. Esta roca muestra un fracturamiento superficial, volviéndose macizo a profundidad (Foto No. 4).

La unidad que sobreyace al granito es una corneana, resultante del metamorfismo de contacto de rocas -- vulcano-sedimentarias; debido a las condiciones a que estuvo sometida presenta intenso fracturamiento y alta al ración hidrotermal, siendo la silicificación la más extendida. En general, es una roca compacta y maciza de regular calidad, que hay que tomar en consideración por tener ligeras características de permeabilidad debido al fracturamiento que presenta.

Cubriendo a las rocas anteriores, se encuentran las ignimbritas que en conjunto, es un paquete de tobas soldadas con características semejantes, que tienen un grado de compacidad menor al de las anteriores y son de regular calidad. Presentan un fracturamiento casi vertical, con fracturas que se cortan irregularmente for-

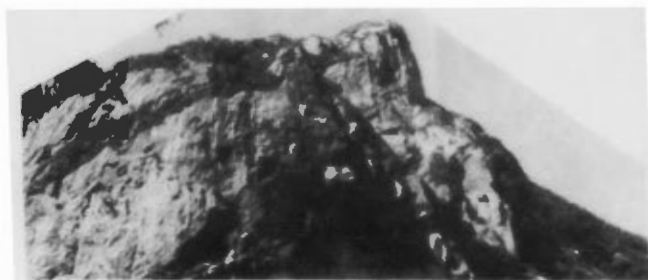


Fig. 1. Aumento de domo granítica, mostrando su forma redondeada en la parte superior y su altura y contorno de las faldas. Aquí también se ve la gran actividad.

mando bloques inestables de tres o más toneladas, por lo que se debe tener cuidado con estas rocas en el momento de ser afectadas por estar sujetas a esfuerzos a consecuencia de las obras civiles.

La casa de máquinas quedará empotrada en el domo granítico sobre la margen derecha, pues presenta muy buenas condiciones físicas, por lo que se puede considerar que quedará bastante segura. El portal de entrada quedará emplazado tanto en el granito como por un paquete de ignimbritas y por los motivos expuestos con anterioridad, se debe tomar el mayor número de precauciones en el momento de hacer el corte de acceso.

En el portal de entrada de los túneles vertedores afloran el granito y la corneana, que superficialmente están fracturadas, no obstante, que al profundizar se vuelven sanos. En la salida de los vertedores se cree que no habrá problemas, pues se presentan también los dos tipos de rocas mencionados con las mismas características físicas, con la salvedad de que el granito cubre casi toda el área.

Las fallas y fracturas que aparecen en la boquilla muestran evidencias de que no han tenido ninguna reactivación en más o menos cuatro millones de años, por lo que se les puede considerar selladas; además los

diques doleríticos emplazados en ellas vienen a confirmar esto.

El M.A.M.E. va a llegar hasta la cota 293, la -- cual cubrirá una extensión de aproximadamente 90 Km -- aguas arriba y se calcula que se almacenará en épocas -- de avenidas un promedio de 4000 millones de metros cúbicos.

En el aspecto geotécnico se tienen programados -- sobre el eje de la cortina cuatro socavones: tres en la margen izquierda y uno en la margen derecha, exactamente en el domo granítico y además se va a trabajar en -- ellos con microsísmica. Se han programado tres barrenos sobre la traza de los ejes de vertederos, habiéndose terminado uno, alcanzando una profundidad de 285.60 metros.

Los trabajos de obra directa dan excelentes pruebas de las propiedades y características de las diferentes unidades que afloran en la boquilla que son complementadas con la información de geología superficial y -- geofísica.

Como resultado de los estudios efectuados hasta ahora se ha concluido que las diferentes rocas no presentarán problemas serios, además, como se mencionó antes, las fracturas que existen en la zona de la boqui-

lla se encuentran selladas y no presentan ninguna evidencia de reactivación.

En fin con esta presa se va a aprovechar el can-
dal del Río Fuerte, dando con ello un impulso mayor a
la agricultura e industrias principalmente, ya que se
generará la suficiente energía eléctrica para un mejor
desarrollo de la infraestructura de la región.

- Bonneau, M., (1971) --- Rapport geologique de la -
feuille Mocorito localises
dans le nord de l'etat de -
Sinaloa, México. Inédito.
- Clark, K. F., (1976) --- Geologic section across Sia-
fra Madre Occidental, Chi-
huahua to Topolobampo, Méxi-
co. New Mexico Geological
Society, Special Publica- -
tion Number 6.
- De Cserna, Z.; Schmitter, - Edades isotópicas de rocas
E.; Damon, P. E.; Jeving- metamórficas del centro y -
tone, D. E. y Kulp, J. J. sur de Guerrero y de una --
(1962) monzonita cuarcífera del --
norte de Sinaloa; Universi-
dad Autónoma de México, -
Instituto Geología, Bol. 64,
p. 3, 71-84.
- Demant, A., (1975) --- Revista del Instituto de --
Geología, U.N.A.M., 75 (1),
p. 78.

- 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 hidroeléctrico de Huites, - Río Fuerte. (Inédito). Archivo de la C. F. E.
- Estudios y Proyectos, S. A., (1960). --- Estudios comparativos de las diferentes alternativas de aprovechamiento del Río Fuerte. 1a. y 2a. parte -- (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, - Sin., Informe No. 1 (Inédito). Archivo de la C. F. E.
- Lesser Jones, H., (1962). --- Boquilla de Huites, Río Fuerte, Sin., Visita de Inspección. (Inédito). Archivo de la C. F. E.

- Palacios Nisto, M., --- Informe geológico preliminar relacionado con la boquilla de Huites, sobre el Río Fuerte, Sin.
(1960).
- Raisz, E., (1959) --- Jandforms of México: Cambridge, Mass; Mapa Esc. - 1:3,000,000.
- Ramírez Gutiérrez, M. --- Geología de la Boquilla de Huites, Sin. (Localización, y García Herrera, C., Exploración y Resultados)
(1963). (Inédito). Archivo de la C. F. E.
- Razo Montiel, A., --- Visita de inspección a los sitios de presas Huites en el Río Fuerte y Chinipas I, en el Río Chinipas. (Inédito). Archivo de la C. F. E.
- Rodríguez Torres, R. --- Atlas Geológico y Evaluación Geológico-Minera de - y Córdoba, D. A., Sinaloa, México. Editado -
(1977). por el Instituto de Geología U.N.A.M. y la Secretaría

ría del Desarrollo Económi-
co del Estado de Sinaloa. -
p. 130 y 132.

,

•

•

AMXOS

ESTUDIO PETROGRAFICONo. LEO-80083**I.- DATOS DE CAMPO**Muestra No. HM-80-13Colector: Raúl Maya G.Localidad: Area comprendida dentro del Vaso**II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA**Color: Gris oscuro, gris claro y cremaEstructura y Textura: Compacta, piroclásticaMinerales observables: Fragmentos de rocas, cuarzo, feldespatos y turmalina.**III.- DESCRIPCION MICROSCOPICA**Textura: Epiclástica arenítica y inmadura

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:

Fragmentos de: Rocas (cuarcitas, areniscas, Plagioclase sódica felsitas)

c) Minerales secundarios:

Turmalina Epidota Actinolita Cuarzo Clorita

b) Minerales accesorios:

Magnetita Pirita Zircón

d) Matriz o cementante:

Mosaico criptocristalino de cuarzo y plagioclasas con minerales secundarios

e) Caracteres especiales: Los fragmentos detríticos son angulosos a subangulosos, lo que señala poca madurez y escaso transporte. La clasificación es mala.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Roca sedimentaria detrítica afectada por un metamorfismo de contacto de baja intensidad (Facies Corneana de Albita Epidota).

V.- CLASIFICACION META-ARENISCA (META SUBARCOSA)

Fecha: Junio 26 de 1980

Petrografo

ESTUDIO PETROGRAFICONo. LEO-80081**I.- DATOS DE CAMPO**Muestra No: RM-80-23Colector: Raúl Maya G.Localidad: Area del Puente del Chinipas, P.H. Ruites, Mpio. de Choix, Sin.**II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA**Color: Rojo parduscoEstructura y Textura: Compacta, arenítica de grano medioMinerales observables: Fragmentos de rocas, faldespantos y máficos cementados por hematita.**III.- DESCRIPCION MICROSCOPICA**Textura: Epiclástica arenítica de grano medio

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:Fragmentos de:
Rocas (Andesitas y pizarras)
Plagioclasas sódicasc) Minerales secundarios:Hematita Calcita
Serpentina Arcillas
Cloritab) Minerales accesorios:Fragmentos de: Máficos cloritizados y serpentinizados
Magnetita (abundante)
Augita Epidotad) Matriz o cementante:

Fundamentalmente hematita, con algo de arcillas y calcita

e) Caracteres especiales: Los componentes detríticos varían entre subangulosos a sub-redondeados, lo que indica un cierto transporte. El porcentaje de fragmentos de rocas es un poco mayor que el de plagioclasas y de ellos predomina en gran medida los de andesitas. Es notable la ausencia de cuarzo. La roca es madura y presenta buena clasificación.**IV.- ORIGEN DE LA ROCA** Roca sedimentaria detrítica proveniente en gran parte de la desintegración de material volcánico.**V.- CLASIFICACION** ARENISCA LITICAFecha: Junio 26 de 1980ING. LEONIGILDO CEPEDA D.
Petrografo

ESTUDIO PETROGRAFICO

No. LEO-80685I.- DATOS DE CAMPOMuestra No: **PE - 4**Colector: **Rodr Maya G.**

Localidad:

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICAColor: **Gris oscuro**Estructura y Textura: **Compacta, porfírica en matriz afanítica**Minerales observables: **Feldespatos y máficos**III.- DESCRIPCION MICROSCOPICATextura: **Holocristalina, subofítica**

Mineralogía:

a) **Minerales esenciales:**
Plagioclasas cálcicasc) **Minerales secundarios:**
Serpentinas
Sericita
Calcitab) **Minerales accesorios:**
Olivino serpentizado
Augita
Magnetitad) **Matriz o cementante:**
Plagioclasas cálcicase) **Caracteres especiales:**IV.- ORIGEN DE LA ROCA **Ígneo intrusivo de poca profundidad**V.- CLASIFICACION **DIABASA DE OLIVINO Y AUGITA**Fecha: Junio 26 de 1980ING. LEONIGILDO CIVERA D.
Petrografo

RESUMEN PETROGRAFICONo. 130-80086**I.- DATOS DE CAMPO**

Muestra No: P. E. 3

Colector: Raúl Maya G.

Localidad: Area comprendida dentro del Vaso del Río Fuerte

II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA

Color: Gris claro y crema

Estructura y Textura: Compacta, microcristalina

Minerales observables: Calcita

III.- DESCRIPCION MICROSCOPICA

Textura: microcristalina

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:
Calcita espática
(por recristalización)c) Minerales secundarios:
Hidromoscovita
Cloritab) Minerales accesorios:
Feldespatos alterados
Pirita

d) Matriz o cementante:

e) Caracteres especiales: Los feldespatos muestran invasión por lo que después de haberse alterado a hidromoscovita la muestra fue cortada en el contacto entre una antigua caliza y una roca feldespática, tal vez una andesita o una arenisca.

IV.- ORIGEN DE LA ROCA Roca formada por metamorfismo de contacto de baja intensidad.**V.- CLASIFICACION STARN**Fecha: Junio 26 de 1980ING. LEONIGILDO CEPEDA D.
Petrografo

ESTUDIO PETROGRAFICONo. LEO-80049**I.- DATOS DE CAMPO**Muestra No; EM-80-19Colector: Raúl Maya G.Localidad: P.H. Buites, Sin. Area de la salida de vertederos**II.- DESCRIPCION MACROSCOPICA**Color: Pardo rojizo y cremaEstructura y Textura: Compacta, piroclásticaMinerales observables: Fragmentos de rocas, feldespatos y cuarzo en una matriz afanítica**III.- DESCRIPCION MICROSCOPICA**Textura: Piroclástica, eutaxítica

Mineralogía:

a) Minerales esenciales:Fragmentos de: cuarzo
Sanidino
OligoclasaRocas volcáni
cas ácidas y
pómez**c) Minerales secundarios:**Hematita
Sericita**b) Minerales accesorios:**Magnetita Anfiboles oxidados
Sircón
Apatita**d) Matriz o cementante:**Esquirlas ("Shards")
alargadas de vidrio to
talmente devitrificado
a feldespato alcalino
y cuarzo.**e) Caracteres especiales:** La roca es una típica ignimbrita**IV.- ORIGEN DE LA ROCA** Roca piroclástica proveniente de una nube ardiente.**V.- CLASIFICACION** IGNIMBRITA RIOLITICAFecha: Abril 14 de 1980ING. LEONIGILDO CEPEDA D.
Petrógrafo

C.F.E.

BRIGADA MOVL. DE PERFORACION
LABORATORIO DE GEOLOGIA

CLASIFICACION MINERALOGICA Y ALTERACION A PARTIR DE LOS RESULTADOS DE ESTUDIOS PETROGRAFICOS

LOCALIDAD P.H. MITES, MUN. DE OCHO

COLECTOR: PAZ LUIS GONZALEZ PETROGRAFIA: ING. LEONARDO
COTEA

MUEST. NO.	DESCRIPCION DE APLORAMIENTO	ESTRUCTURA Y TEXTURA	MINERALOGIA										ORIGEN	OBSERVACIONES	CLASIFICACION
			TEXTURA	MINERALOGIA				MATRIZ	ALTERACION	S.F.	S.F.	S.F.			
				ESSENCIALES	ACCESORIOS	ACCESORIOS	ACCESORIOS								
L6 80-16	Unidad Tm1	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi-gr	gr-gr-gr-gr	-	V	X	Vitres-dado	Argilitación	V	Piroclástico	Fragmentos de cristales eudialitas	Tubo vitres eudialitas
L6 80-17	Unidad Tm1	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-gr-gr	gr-gr-gr-gr	ch	V	X	Vitres-dado	Argilitación	V	Piroclástico	Fragmentos de cristales, eudialitas y andalutas	Tubo vitres eudialitas
L6 80-18	Unidad Tm2	Poroso-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	-	X	Crist. por destrucción	Silicif. Argil.	X	Piroclástico	Silicificación por desvitrificación	Tubo eudialitas desvitrificado
L6 80-19	Unidad Tm3	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr	ch	-	X	Vitres-dado	Argil. Silicif.	V	Piroclástico	En fragmentos de resaca	Tubo vitres eudialitas
L6 80-20	Unidad Tm3	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	X	X	Vitres-dado	Argil. Silicif.	V	Piroclástico	Fragmentos de tubo vitres eudialitas	Tubo único eudialitas
L6 80-21	Unidad Tm3	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	-	X	X	Vitres-dado	Argilitación	V	Piroclástico	Fragmentos de tubos riel y eudialitas	Tubo único eudialitas
L6 80-22	Unidad Tm3	Comp-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi-gr	gr-gr-gr-gr	-	X	X	Arenoso	Argilitación	-	Piroclástico	Fragmentos de eudialitas, libras y eudialitas	Tubo único eudialitas
L6 80-23	Unidad Tm3	Poroso-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	X	-	Vitres-dado	Argil. Silicif.	X	Piroclástico	Fragmentos de tubos rielíticos	Tubo único eudialitas
L6 80-24	Unidad Tm4	Comp-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	V	X	Crist. por destrucción	Silicif. Argil.	X	Piroclástico	Silicificación por desvitrificación	Tubo eudialitas desvitrificado
L6 80-25	Unidad Tm4	Poroso-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	V	V	Vitres-dado	Argil. Silicif.	V	Piroclástico	Contenido de fragmentos de resaca casi nulo	Tubo eudialitas vitres
L6 80-26	Unidad Tm4	Comp-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	X	V	Crist. por destrucción	Silicif. Argil.	X	Piroclástico	Fragmentos de lib. riel. eudialitas	Tubo eudialitas desvitrificado
L6 80-27	Unidad Tm5	Poroso-Fract.	Piroclástico	pta-fl-gr	bio-mi-gr	gr-gr-gr-gr	ch	V	X	Vitres-dado	Argilitación	X	Piroclástico	Escasos fragmentos de rielíticos	Tubo eudialitas
L6 80-28	Unidad Tm5	Comp-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	V	X	Vitres por destrucción	Silicif. Argil.	X	Piroclástico	Fragmentos de pánax, lignitas y eudialitas	Tubo eudialitas desvitrificado
L6 80-29	Unidad Tm5	Comp-Fract.	Estadístico	pta-fl-gr	bio-mi	gr-gr-gr-gr	ch	V	X	Vitres por destrucción	Silicif. Argil.	X	Piroclástico	Fragmentos de eudialitas eudialitas	Tubo eudialitas desvitrificado
L6 80-30	Metased. 1	Comp-Arenoso	Procl-Arenoso	pta-fl-gr	mi	gr-gr-gr-gr	-	V	X	Arenoso-grc	metamorf. térmico	-	Metam. de con.	Fragmentos de rielíticos eudialitas eudialitas	Metam. eudialitas
L6 80-31	Metased. 2	Comp-Arenoso	Procl-Arenoso	pta-gr	mi	gr-gr-gr-gr	-	-	X	Arenoso-grc	metamorf. térmico	-	Metam. de con.	Fragmentos de rielíticos eudialitas eudialitas	Metam. eudialitas

Clave:

Vitres: Vitres eudialitas, eudialitas, eudialitas

Argil. Silicif.: Argil. Silicif. eudialitas, pta-fl-gr-gr

Silicif. Argil.: Silicif. Argil. eudialitas, pta-fl-gr-gr

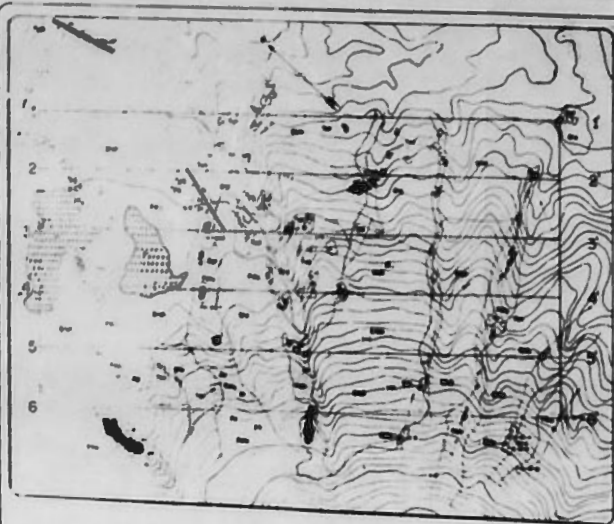
Crist. por destrucción: Crist. por destrucción eudialitas, pta-fl-gr-gr

Arenoso-grc: Arenoso-grc eudialitas, pta-fl-gr-gr

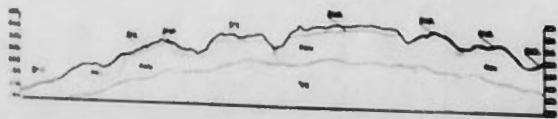
Metam. de con.: Metam. de con. eudialitas, pta-fl-gr-gr

Metam. térmico: Metam. térmico eudialitas, pta-fl-gr-gr

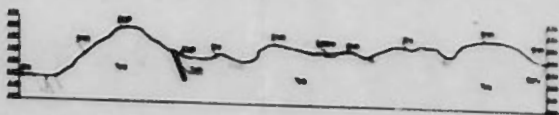
Metam. de con. y metam. térmico: Metam. de con. y metam. térmico eudialitas, pta-fl-gr-gr



SECCION 5-5'



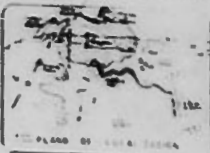
SECCION 2-2'



SECCION 3-3'



SECCION 4-4'



LEYENDA

- 1. Línea de sección
- 2. Línea de perfil
- 3. Línea de perfil y elevación
- 4. Elevación
- 5. Elevación
- 6. Elevación
- 7. Elevación
- 8. Elevación
- 9. Elevación
- 10. Elevación
- 11. Elevación
- 12. Elevación
- 13. Elevación
- 14. Elevación
- 15. Elevación
- 16. Elevación
- 17. Elevación
- 18. Elevación
- 19. Elevación
- 20. Elevación
- 21. Elevación
- 22. Elevación
- 23. Elevación
- 24. Elevación
- 25. Elevación
- 26. Elevación
- 27. Elevación
- 28. Elevación
- 29. Elevación
- 30. Elevación
- 31. Elevación
- 32. Elevación
- 33. Elevación
- 34. Elevación
- 35. Elevación
- 36. Elevación
- 37. Elevación
- 38. Elevación
- 39. Elevación
- 40. Elevación
- 41. Elevación
- 42. Elevación
- 43. Elevación
- 44. Elevación
- 45. Elevación
- 46. Elevación
- 47. Elevación
- 48. Elevación
- 49. Elevación
- 50. Elevación
- 51. Elevación
- 52. Elevación
- 53. Elevación
- 54. Elevación
- 55. Elevación
- 56. Elevación
- 57. Elevación
- 58. Elevación
- 59. Elevación
- 60. Elevación
- 61. Elevación
- 62. Elevación
- 63. Elevación
- 64. Elevación
- 65. Elevación
- 66. Elevación
- 67. Elevación
- 68. Elevación
- 69. Elevación
- 70. Elevación
- 71. Elevación
- 72. Elevación
- 73. Elevación
- 74. Elevación
- 75. Elevación
- 76. Elevación
- 77. Elevación
- 78. Elevación
- 79. Elevación
- 80. Elevación
- 81. Elevación
- 82. Elevación
- 83. Elevación
- 84. Elevación
- 85. Elevación
- 86. Elevación
- 87. Elevación
- 88. Elevación
- 89. Elevación
- 90. Elevación
- 91. Elevación
- 92. Elevación
- 93. Elevación
- 94. Elevación
- 95. Elevación
- 96. Elevación
- 97. Elevación
- 98. Elevación
- 99. Elevación
- 100. Elevación

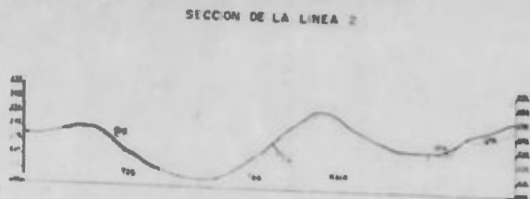
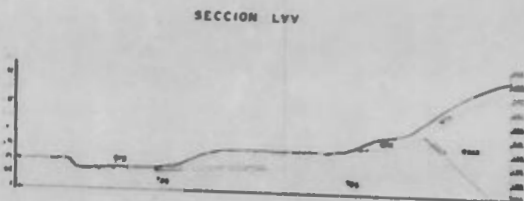
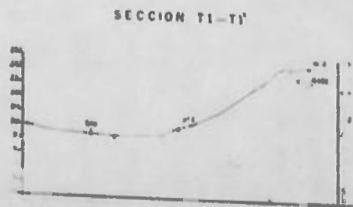
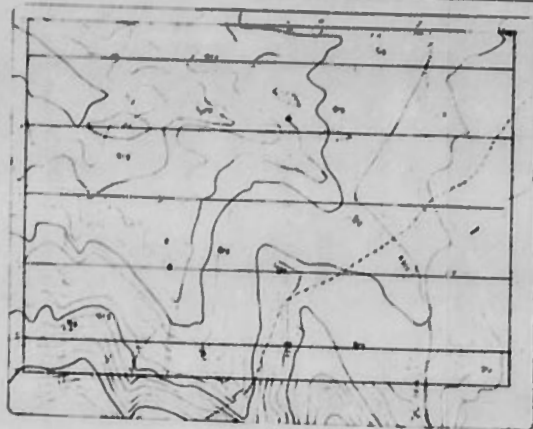
ESTADO 5000' 0"

1:1000

1:1000

UNAM

PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DEL
PLANTA Y SECCIONES DEL
PORTAL DE ENTRADA
VENTANAS
TESIS PROFESIONAL
Rafael María González
Luis González Jiménez
1988 2010-0-1-1000 PLANO-0



LEYENDA

- [illegible]

UNAM

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO HIDROELECTRICO HUATES
PLANTA Y SECCIONES DEL PORTAL
DE SALIDA DE LOS VERTEDORES

TESIS PROFESIONAL

PAUL WAVA GONZALEZ

LOIS GONZALEZ JUVENIL

70	1962	PLATE 1
----	------	---------

MAYO 1968

91404 00 9

LEYENDA

LITOLÓGICA

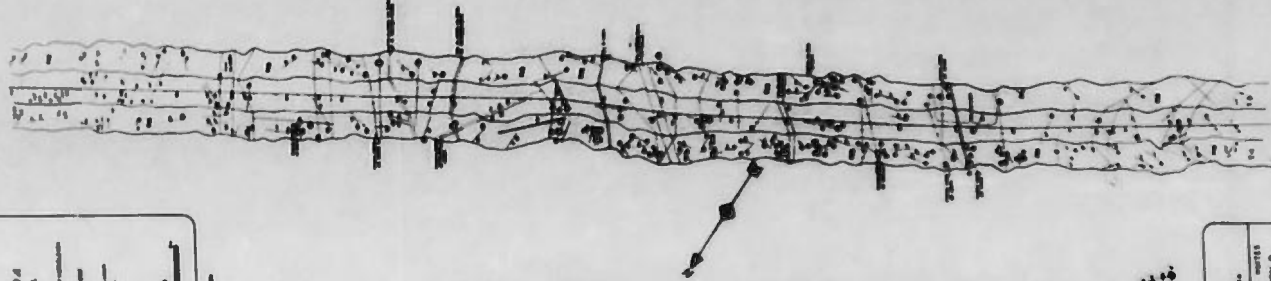
1. Manto de arena y grava

2. Arena gruesa

3. Arena fina

4. Grava gruesa

5. Grava fina



UNAM

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil

Escuela del Socio 9

Alumno: [Nombre] Matrícula: [Número]

TÍTULO PROFESIONAL

Nombre del alumno

Matrícula

Fecha: [Fecha] Hoja: [Número]