

27



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**“ ESTUDIO GEOLOGICO DE PREFACTIBILIDAD  
DE LAS ZONAS DEL TANQUE REGULADOR,  
RAMPA Y CASA DE MAQUINAS DEL P.H.  
XUCHILES, ESTADO DE VERACRUZ”.**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO GEOLOGO**

**P R E S E N T A :**

**EDUARDO RUIZ NORIEGA**



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 está 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.

## I N D I C E

	Página No.
RESUMEN	1
I.- INTRODUCCION	3
1.- Antecedentes	4
2.- Objetivos	4
3.- Método de trabajo.	5
4.- Estudios previos	5
5.- Características generales del proyecto	6
II.- GENERALIDADES	9
1.- Localización geográfica	10
2.- Vías de comunicación	10
3.- Clima y vegetación	10
4.- Fisiografía	12
5.- Hidrografía	12
6.- Población y Cultura	14
III.-GEOLOGIA REGIONAL	16
1.- Estratigrafía	17
2.- Geología estructural, tectónica e histórica	24
IV.- GEOLOGIA DE LA ZONA DE BOQUILLA Y EMBALSE	27
1.- Localización y vías de acceso	28
2.- Areas de inundación	29
3.- Estratigrafía	31
4.- Geología estructural	34
5.- Problemas principales	35

Página No.

V.- GEOLOGIA DE LA ZONA DE CONDUCCION	36
1.- Localización y vías de acceso	37
2.- Estratigrafía	38
3.- Geología estructural	41
4.- Problemas principales	43
VI.- GEOLOGIA Y ALGUNOS ASPECTOS GEOTECNICOS DE LAS ZONAS DE TANQUE REGULADOR, RAMPA Y CASA DE MAQUINAS.	44
1.- Localización y vías de acceso	45
2.- Descripción de las obras	47
3.- Estratigrafía	48
4.- Geología estructural	58
5.- Levantamiento a detalle	66
A.- Exploraciones directas	66
B.- Exploraciones indirectas	75
6.- Evaluación del macizo rocoso	86
7.- Problemas principales	92
VII.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
- Anexos	
- BIBLIOGRAFIA	

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<u>Figuras</u>	Página
1.- Esquema general del P. H. Xúchiles	8
2.- Plano general de localización del P. H. Xúchiles	11
3.- Plano hidrológico de las cuencas Río Blanco y La Antigua	13
4.- Gasto medio anual del período 1963-1980	14
5.- Columna estratigráfica general del P. H. Xúchiles	17
6.- Principales estructuras geológicas y ambientes de depósito	24
7.- Plano de localización de la zona de Boquilla y Embalse	28
8.- Vías de comunicación y área de inundación del embalse	29
9.- Planta y sección del sitio de emplazamiento de la cortina	30
10.- Columna estratigráfica de la zona de Boquilla y Embalse	31
11.- Principales estructuras geológicas en la zona de Boquilla y embalse	34
12.- Plano de localización de la zona de Conducción	37
13.- Columna estratigráfica de la zona de Conducción	38
14.- Ambientes de depósito de las rocas mesozóicas	39
15.- Principales estructuras geológicas en la zona de Conducción	42
16.- Plano de localización de las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas	45
17.- Columna estratigráfica de las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas.	47
18.- a) Diagrama de polos de fracturamiento	59
b) Diagrama de conteo de polos de fracturamiento	60
c) Diagrama de direcciones preferenciales de fracturamiento	61
19.- Roseta de fracturamiento	62
20.- a) Diagrama de polos de estratificación	63
b) Diagrama de conteo de polos de estratificación	64
c) Diagrama de dirección preferencial de estratificación	65

## INDICE DE ILUSTRACIONES(Continuación)

<u>Fotografías</u>	Página
1.- Panorámica de la márgen derecha del río Blanco	46
2.- Manantial en la zona de Casa de Máquinas	50
3.- Detalle de la Formación Guzmantla	51
4.- Pozo a cielo abierto No. 03	53
5.- Trinchera 01	54
6.- Afloramiento de la Formación Atoyac	55
7.- Afloramiento del conglomerado continental en la margen izquierda del río Blanco	57
8.- Panorámica de la zona de Tanque Regulador	67
9.- Corte en trinchera 01	70
10.- Pozo a cielo abierto No. 03	72
11.- Acercamiento del manantial en la zona de Tanque Regulador	73
12.- Calizas de la Formación Guzmantla	76
13.- Falla normal en la zona del "Espolón"	77

### Secciones geológicas

1.- Simbología y leyenda de las secciones	79
2.- Sección geológico-geofísica X-9	80
3.- Sección geológico-geofísica X-10	81
4.- Secciones geológicos-geofísicas X-6 y X-12	82
5.- Sección geológico-geofísica X-14	83
6.- Sección geológico-geofísica X-15	84
7.- Sección geológico-geofísica X-18	85

## INDICE DE ILUSTRACIONES (Continuación)

<u>Tablas</u>	Página
1.- Tabla de correlación geológico-geofísica	78
2.- Cómputo de las características de las discontinuidades	88
<u>Formas</u>	
1.- Forma para descripción de discontinuidades	74
<u>Perfiles geotécnicos</u>	
1.- Barreno TRI/87	68
2.- Barreno TRII/87	69
<u>Planos</u>	
1.- Plano geológico de las zonas de Tanque Regulador Rampa y Casa de Máquinas del P. H. Xúchiles, Ver.	Anexo
2.- Plano de exploraciones en la zona de Tanque Regulador	Anexo

## RESUMEN

En este trabajo se presenta el estudio realizado en las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas del P. H. Xúchiles, Estado de Veracruz, de la Comisión Federal de Electricidad, con una breve descripción de las condiciones y características de cada una de las obras de dicho proyecto, el cual se encuentra ubicado al sur de la Ciudad de Córdoba, en la margen derecha del río Blanco, aguas abajo de la confluencia de éste y el río Metlac y a proximidad del poblado de Xúchiles.

Para dicho proyecto, se planea la construcción de una cortina de tan sólo 8.7 m de altura con una conducción de 25 km aproximadamente en tramos de túnel y de canal por margen derecha hasta un tanque de regulación de 1.9 millones de m<sup>3</sup> de capacidad y de ahí a una casa de máquinas superficial. En el texto del trabajo se incluye además una descripción de la estratigrafía y estructuras existentes en la boquilla, embalse y línea de conducción mencionadas. Los escasos afloramientos en la región presentan rocas que van desde el Jurásico Superior hasta el Reciente y comprenden una gruesa secuencia de rocas sedimentarias marinas de cuenca y plataforma de edad Jurásica y Cretácica y depósitos continentales.

Estructuralmente, las rocas sedimentarias marinas se observan como grandes anticlinales y sinclinales recostados y recumbentes de dirección preferencial NW-SE con fallas inversas y normales con la misma dirección y fallas transcurrentes con dirección NE-SW, mientras que los depósitos continentales se observan rellenando en forma discordante las depresiones preexistentes formando mesetas escalonadas.

El emplazamiento de la cortina será en rocas de diferente tipo teniéndose para la margen derecha una caliza compacta de buena calidad con permeabilidad media de origen secundario. En la margen derecha se tiene un conglomerado con alta permeabilidad y malas características geomecánicas. El embalse cubrirá un 30% de la caliza y un 70% del conglomerado aproximadamente.

La línea de conducción se ubicará principalmente en rocas calizas cársticas con diferente grado de fracturamiento, así como plegamiento y fallamiento normal e inverso.



El Tanque Regulador, que es el objetivo principal de este trabajo, se tiene proyectado ubicarlo en un área donde afloran las lutitas cretácicas, que dadas sus características impermeables pueden llegar a disminuir considerablemente los costos de construcción de dicho tanque; así mismo, debido al espesor de las lutitas, se propone una forma irregular al depósito procurando no exponer las calizas que le subyacen.

Finalmente, la Rampa y Casa de Máquinas estarán localizados sobre un conglomerado continental y sobre calizas fracturadas y con carsticidad de la Formación Guzmantla.

## **I.- INTRODUCCION**

**"Cuando el tiempo se emplea  
como es debido, siempre se  
tiene suficiente."  
Goethe**

## 1.1.- ANTECEDENTES.

Hacia el año 1963 la Comisión Federal de Electricidad inició los primeros estudios sobre el río Blanco en el Estado de Veracruz a fin de determinar el carácter geológico-topográfico de la región y su potencial hidroeléctrico.

En un principio se pensó construir dos presas derivadoras sobre el cauce de los ríos Blanco y Metlac, desviando las aguas hasta las proximidades del poblado Xúchiles, aprovechando un desnivel de aproximadamente 350 m y así generar alrededor de 165,000 KW. Al proyecto se le llamo Micos.

Años más tarde, 1983, el Departamento de Anteproyectos de Plantas Hidroeléctricas propuso aprovechar las aguas del río Blanco y sus afluentes en un proyecto conocido como Sistema Tuxpango-Xúchiles, el cual sigue vigente hasta la fecha con algunas variaciones.

De este sistema se plantearon tres etapas: 1a. almacenar aguas en Tuxpango mediante una presa de 150 m de altura generando energía 3 Km aguas abajo; 2a. construir una presa derivadora de 40-60 m de altura aguas abajo de la confluencia de los ríos Blanco y Metlac con una conducción de 22 km hasta las cercanías de Xúchiles, donde se localizaría la planta generadora; y 3a. captar las aguas de los ríos Jamapa y Seco conduciéndolas por túnel o canal hasta el P. H. Xúchiles o al P. H. Nuevo Tuxpango por el río Metlac.

La segunda etapa es la que se trata en el presente trabajo con algunas modificaciones, proponiéndose desplantar una cortina derivadora de 8.7 m de altura aguas abajo de la confluencia de los ríos Blanco y Metlac, conduciendo las aguas por margen derecha a lo largo de 25 km en tramos de túnel y canal hasta un tanque regulador, para posteriormente generar la energía en una casa de máquinas situada a proximidad del poblado de Xúchiles.

## 1.2.- OBJETIVOS

Dentro de los objetivos del presente trabajo, se tiene como principales, el determinar las características geotécnicas de los macizos rocosos a fin de definir los sitios más adecuados para el emplazamiento del Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas.

De la misma forma se indicarán los problemas que se pueden presentar al realizar las obras subterráneas y superficiales tanto de la casa de máquinas como

de la tubería forzada y de desfogue. Así mismo, se intentará definir las condiciones de tratamiento a la zona de Tanque Regulador.

### 1.3.- METODO DE TRABAJO

El presente trabajo se llevó a cabo mediante levantamientos geológicos de superficie y de subsuelo con apoyo topográfico, así como con el auxilio de fotografías aéreas.

Los levantamientos geológicos de superficie consistieron en caminamientos en las distintas áreas del proyecto con el fin de conocer la secuencia estratigráfica y la geología estructural, estudiando con mayor detalle las zonas de Tanque, Rampa y Casa de Máquinas en donde se realizaron levantamientos estructurales según el método propuesto por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) obteniendo datos de calidad de la roca.

Se revisaron los estudios geofísicos de sísmica de refracción y sondeos eléctricos verticales que se realizaron como apoyo para definir espesores de roca sana y roca decompresada, distintos contactos litológicos, calibrando estas exploraciones indirectas con perforaciones con broca de diamante en diámetro NQ con recuperación de núcleo y excavación de zanjas y trincheras.

Se contó además con estudios petrográficos y paleontológicos para identificar las distintas formaciones, así como con análisis de suelos y piezometría.

Finalmente, se hizo una revisión de toda la información geológica existente de donde se tomó la estratigrafía y estructuras que se consignará en los capítulos respectivos de Boquilla y Embalse, y Conducción.

### 1.4.- ESTUDIOS PREVIOS

Estudios geológicos con distintos fines, realizados en los alrededores de P.H. Xúchiles, datan desde fines del siglo pasado, siendo los primeros trabajos los efectuados por Emile Böse en 1899 y que fueron continuados en el presente siglo por científicos e investigadores como: Viniegra, Flores, Félix, Lenk, Burckhardt, Mena, Bonet, etc. Estos últimos tratando de localizar posibles yacimientos petrolíferos, siendo éste su principal objetivo. Los trabajos eran coordinados por PEMEX, IMP e instituciones educativas como UNAM e IPN.

De las instituciones educativas, se cuenta con algunas tesis profesionales como las citadas en la bibliografía.

Estudios con objetivos hidroeléctricos se iniciaron en 1929 con la construcción de la presa hidroeléctrica Tuxpango, sin embargo, no se cuenta con algún informe al respecto.

En 1956, el Ing. Antonio Razo de C.F.E. realizó levantamientos geológicos con finalidades hidroeléctricas y posteriormente también la C.F.E. comienza los primeros trabajos del denominado Sistema Tuxpango-Xúchiles que se realizaron en distintos períodos.

En 1963 se efectuó un estudio geológico llamado "Geología del P. H. Río Blanco en el Estado de Veracruz," enfocado a la boquilla Naranja del proyecto Micos, mencionado en la sección de antecedentes.

En 1983 el Departamento de Geología y Minería y el Departamento de Anteproyectos Hidroeléctricos, contempla el Sistema Tuxpango-Xúchiles como actualmente se conoce.

Entre 1983 e inicios de 1985, la Brigada de estudio Geológicos de la Zona Golfo realizó diversos estudios geológicos superficiales con apoyo topográfico en distintos sitios del sistema.

#### **I.5.- CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO.**

Para el P. H. Xúchiles se tiene contemplada la construcción de una presa derivadora desplantada sobre el cauce del río Blanco aguas abajo de la confluencia de éste y el río Metlac, y de otras obras como se puede ver a continuación. Ver figura 01.

**Presa derivadora:** de tipo Indio con 8.7 m de altura, 92 m de longitud y 10 m de ancho de la corona. Desplantada a la elevación de 719.0 m. Los taludes serán de 3:1 aguas arriba y 8:1 aguas abajo.

**Conducción:** a partir de la obra de toma a la cota 732.00 se continuará en tramos de túnel y canal por la margen derecha del Río Blanco pasando un tanque desarenador y un sifón, hasta un tanque regulador. La longitud aproximada será de 25 km. Gasto de diseño 80 m/s y velocidad media de 3.5 m/s

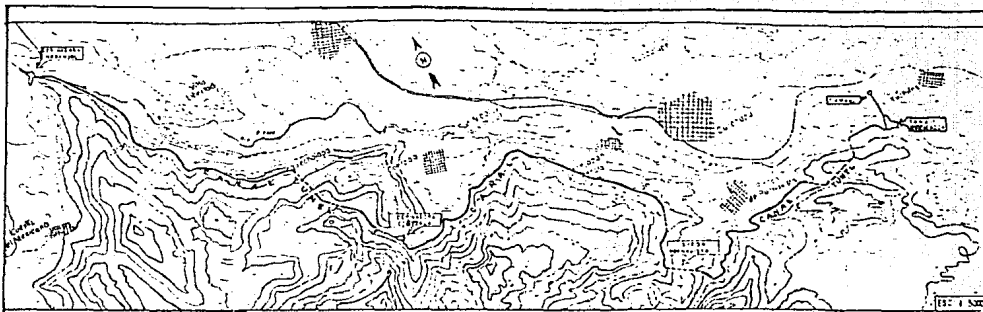
**Tanque desarenador:** de tipo concreto-gravedad con desplante a la cota 700 y altura de 19 m.

**Tanque regulador:** depósito que cubrirá una superficie aproximada de 10 has con capacidad de 1.9 millones de m<sup>3</sup> construido con un muro perimetral de enrocamiento a la cota 696.00.

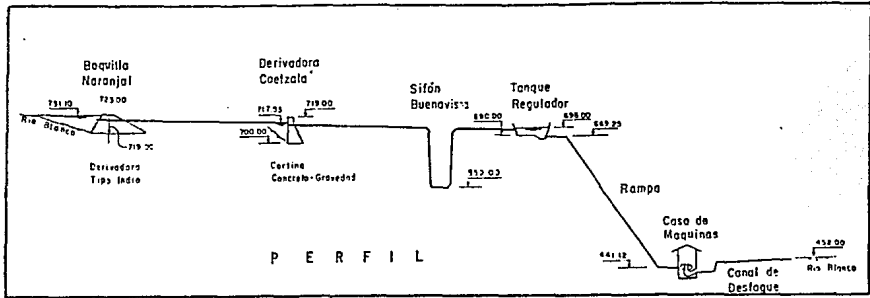
- Rampa:** consistirá en una tubería de 748 m de longitud y que se unirá al tanque regulador y a la casa de máquinas.
- Casa de Máquinas:** de tipo exterior y desplantada en la margen derecha del río Blanco a la cota 433.95.
- Desfoque:** a través de un tajo a cielo abierto con una longitud de 150 metros aproximadamente.

Los valores correspondientes de generación y potencia son:

- Gasto medio diario 43.1 m<sup>3</sup>/s
- Gasto de diseño por unidad 40.6 m<sup>3</sup>/s
- Carga bruta media 237 m
- Capacidad instalada por unidad 80 MW
- Generación media anual 701 GWh
- Factor de planta promedio 0.5



P L A N T A



P E R F I L

FIGURA 01: ESQUEMA GENERAL P. H. XUCHILES, VER.

(Proporcionado por la Unidad de Estudios de Ing. Civil, C.F.E.)

## II. - GENERALIDADES

"La poderosa naturaleza está  
llena de milagros"  
A. Ostrovski



## II.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA

El área de estudio del P. H. Xúchiles se encuentra localizado dentro de la Cuenca del Río Blanco en el Estado de Veracruz, hacia el sur de la Ciudad de Córdoba y comprende una franja de dirección NW-SE desde la confluencia de los ríos Blanco y Metlac hasta el poblado de Xúchiles. Dicha franja queda limitada por las coordenadas geográficas (ver figura 02):

18° 45' - 18° 50'	Latitud Norte
96° 48' - 96° 59'	Longitud Oeste.

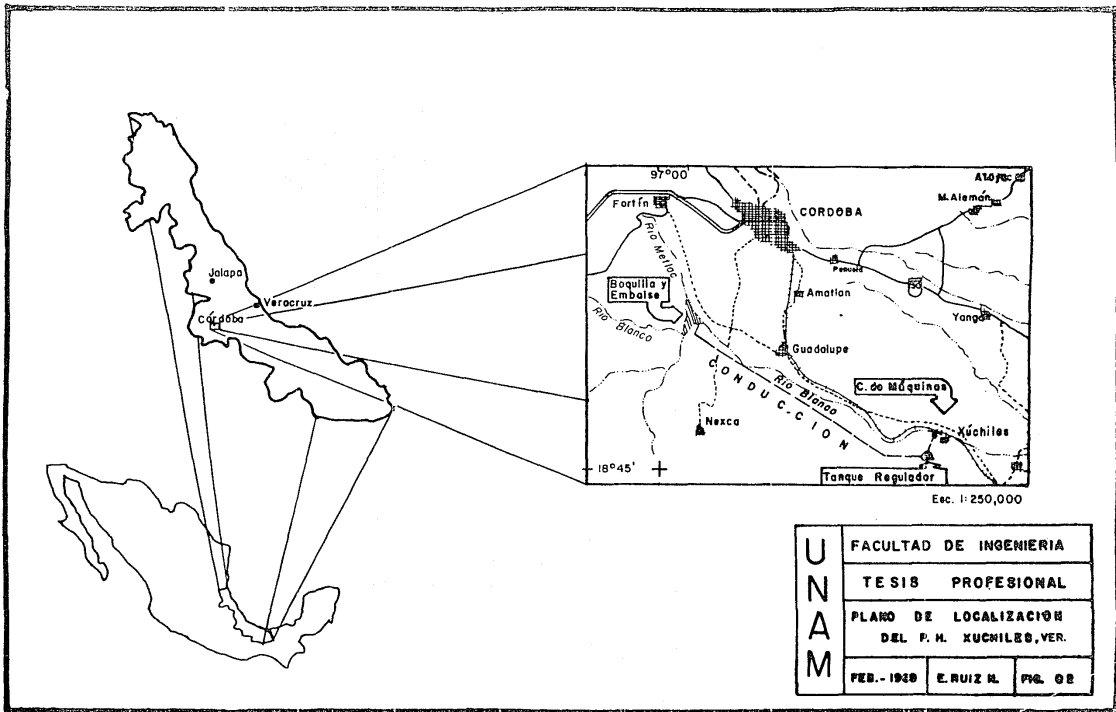
## II.2. VIAS DE COMUNICACION

El proyecto Xúchiles se encuentra muy bien comunicado pudiendo llegar a él por la Carretera Federal 150 (Orizaba-Cordoba-Tierra Blanca) hasta la Ciudad de Córdoba a partir de la cual se comunica a las distintas zonas del proyecto por varios caminos pavimentados y de terracería en buen estado que unen los poblados de Villa Unión, Coetzala, Rincón de Buenavista, Xúchiles, etc., todos ellos localizados en las vecindades de las áreas de estudio. También es posible llegar por ferrocarril hasta la Ciudad de Córdoba.

Todas las poblaciones antes mencionadas cuentan con servicios de luz, agua y algunas con teléfono y telégrafo.

## II.3. CLIMA Y VEGETACION

Las condiciones climáticas de la región en la que se ubica el proyecto son: cálido templado húmedo y tropical húmedo que según la clasificación de Köepen modificada por García, E. queda incluida dentro de los grupos Am Aw y Cm CW. La estación Climatológica de Evaporación Naranjal en el Río Blanco reporta para los años de 1984 a 1986 temperaturas de 15 a 16 grados Celsius en los meses fríos y 30 a 32 grados en los cálidos. La precipitación mensual es de aproximadamente 550-600 mm durante agosto y septiembre y de 60-100 de enero a mayo.



<b>U N A M</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
	<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
	<b>PLANO DE LOCALIZACION DEL P. M. XUCHILES, VER.</b>	
	<b>FEB. - 1948</b>	<b>E. RUIZ M. FIG. 02</b>

Las temperaturas y vegetación son variables de región a región debido a los cambios de altitud en donde se localizan. Hacia las partes altas, montañas de 1,000 a 1,300 msnm, se tiene una vegetación caracterizada por bosques de coníferas, encinos y álamos y hacia las partes bajas, de valles, a una altitud de 600 a 800 msnm abundancia de arbustos y árboles frutales.

#### II.4. FISIOGRAFIA

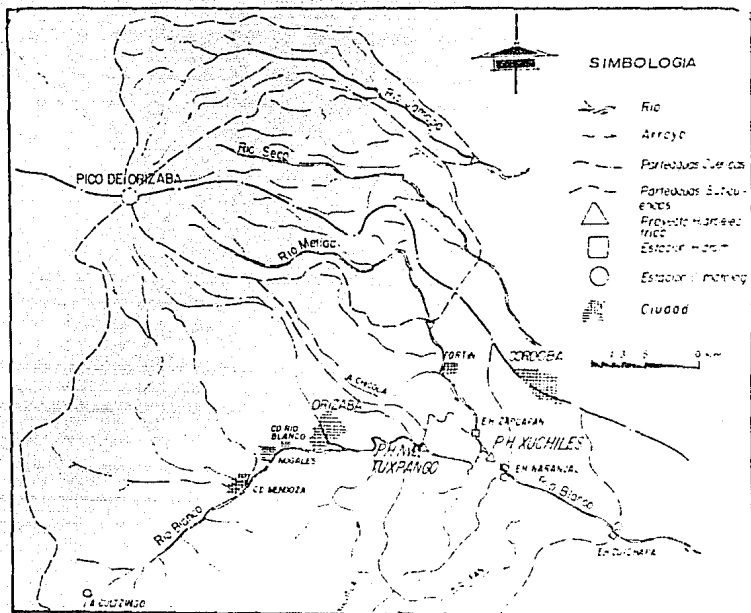
La región donde se encuentra localizado el P. H. Xúchiles pertenece a la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur en las proximidades de la Provincia de la Vertiente Continental según la clasificación de Raisz (1964). De acuerdo con esta clasificación, la región queda enmarcada en los límites de la provincia fisiográfica de Sierra Madre del Sur con Eje Neovolcánico Transversal y Planicie Costera de Golfo.

Morfológicamente se observa un fuerte contraste en las zonas, presentando un relieve topográfico muy accidentado en la parte de las sierras, de rocas sedimentarias marinas, con altitudes que varían desde los 500 msnm hasta los 3000 y -- por otro lado, amplias terrazas y mesetas de rocas continentales a una altura de 400 a 1300 msnm.

En cuanto al estado geomorfológico, la región se observa dentro de un estado de madurez según el ciclo geomórfico de Davis (Derrau M., 1983).

#### II.5. HIDROGRAFIA

Las corrientes principales que se observan en la región son: los ríos Blanco, Metlac, Seco y Jamapa, siendo los dos primeros los que interesan en este proyecto y que pertenecen a la Cuenca del río Blanco. Se contempla la posibilidad de dirigir las aguas de los otros dos ríos, pertenecientes a la Cuenca de La Antigua, hasta el P. H. Xúchiles a fin de tener una mayor captación de aguas, (ver figura 03).



.Figura 03: Plano hidrológico de las cuencas del Río Blanco y La Antigua en el que se aprecian los principales afluentes del río Blanco. (Tomado del Informe de avance de Xúciles, CFE, 1987).

Según el informe de C.F.E., " el área drenada por el río Blanco y sus afluentes tiene una extensión aproximada de 1,463 km<sup>2</sup> hasta la Estación Hidrométrica Naranjal, en donde por un periodo de 17 años se observó un gasto anual de 42.9 m<sup>3</sup>/s" tal como se aprecia en la figura 04.

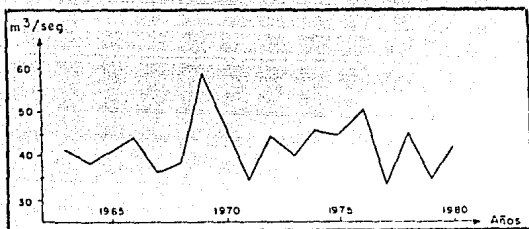


Figura 04.- Gasto medio anual período 1963-1980  
Tomado del Informe de avance de C.F.E.  
Estación hidrométrica Naranjal, Río Blanco

Las corrientes tributarias más importantes del río Blanco, aguas arriba del proyecto Xúchiles, son en el siguiente orden: el río Metlac, con un gasto medio anual de  $9\text{m}^3/\text{s}$ ; los ríos Chicola, Orizaba, Carbonera, Encino, Tecocac y Xoxocotla, este último en margen derecha.

Los escurrimientos de todos estos ríos son resultado de la precipitación en la Sierra Madre Oriental y de los deshielos del Pico de Orizaba.

En cuanto a los patrones de drenaje que forman dichos escurrimientos se observan los tipos: paralelo, subparalelo y cárstico en las sierras y dendrítico hacia las mesetas.

## II.6.- POBLACION Y CULTURA.

Como la población de mayor importancia en la región destaca la Ciudad de Córdoba, perteneciente al municipio del mismo nombre. Dicha ciudad se caracteriza por un intenso movimiento comercial de la industria alimenticia, principalmente, ya que es un punto de comunicación muy importante para el país y cuenta con una población superior a los 50,000 habitantes.

Poblados de menor importancia son: Naranjal, Amatlán de los Reyes, Yanga, Cuichapa, Omealca, Coetzala, etc., todos ellos cabeceras de municipio del mismo nombre.

En casi todas las poblaciones se habla la lengua castellana, sin embargo hay algunas en las que se hablan dialectos indígenas tales como: Huasteco, Mexica, Otomí, Popoloca, Totonaca y Zapoteco, entre otros.

La actividad agrícola de la región está enfocada a la cosecha de la caña de azúcar, árboles frutales y el café.

### III.- GEOLOGIA REGIONAL

"El presente es la clave  
del pasado"  
Charles Lyell

La región de estudio se encuentra ubicada al frente oriental de la Sierra Madre Oriental, dentro de la Provincia Geológica de la Cuenca de Zongolica, en su límite oriental con la Provincia Geológica de la Plataforma de Córdoba, según interpretación de González, J. (1976).

### III.1. ESTRATIGRAFIA

La secuencia estratigráfica que existe en la región donde se ubica el proyecto, presenta rocas sedimentarias marinas que van desde el Jurásico Superior al Cretácico Superior, cubiertas en forma discordante por rocas continentales que pudieran ser de edad Terciaria tardía pero que tentativamente se han considerado del Cuaternario, como se aprecia en la figura 05.

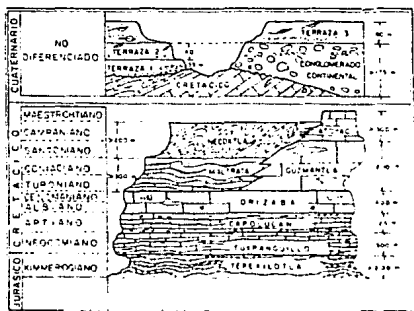


Figura 05.- Columna estratigráfica del P. H. Xúchiles, Estado de Veracruz. (Tomada del Informe de avance Xúchiles de C. F. E. , 1987.)

Las características distintivas de las unidades litoestratigráficas que se observan en la zona se describen a continuación.



## JURASICO

### Fm. TEPEXILOTLA (Jte).

Definición: según López R.E., (1982), Mena, E. (1960), durante un levantamiento geológico en el área de Tepexilotla, Pue., reconoció por primera vez mediante fauna, las rocas del Jurásico marino, en contacto tectónico con los sedimentos equivalentes de la Fm. Necoxtla.

Áreas de afloramiento: se le puede observar al SW del área de estudio como una franja angosta y alargada de orientación NW-SE manifestandose desde Zongolica, Huautla y Río Santo Domingo.

Litología y espesor: consiste en una serie de areniscas arcóscicas de grano fino alternando con lutita calcárea pizarrosa en estratos de 20 a 60 cm de espesor, teniendo una potencia de 1000 m aproximadamente. En las vecindades del proyecto se tiene una potencia cercana a los 200 m.

Relaciones estratigráficas: su contacto inferior aún no se conoce, mientras que el superior es concordante con la Fm. Tuxpanguillo.

Edad y correlación: la edad asignada para esta formación es de Kimmeridgiano-Titoniano.

## CRETACICO

### Fm. TUXPANGUILLO (Ktx).

Definición: según López R.E. (1982), esta formación fue descrita por Mena, E y Flores, J (1957) como una serie de calizas de estratificación delgada, de color gris oscuro a negro, con lentes y bandas de pedernal negro que aumentan con el espesor de las capas; González, J. (1977) en López R. (op. cit) utiliza el nombre de Fm. Xonamanca para esta Formación.

Áreas de afloramiento: se presenta al SW del proyecto en forma similar a la formación anterior, paralelamente y alargada.

Litología y espesor: consiste en una caliza gruesa a delgada de color gris oscuro con nódulos y bandas de pedernal negro y ocasionalmente fragmentos de fósiles. El espesor aproximado es de 500 m.

Relaciones estratigráficas: su contacto superior es transicional con la Fm. Capolucan, mientras que el inferior es concordante con la Fm. Tepexilotta.  
Edad y correlación: a esta formación se le ha determinado una edad Neocomiano correlacionándose con la Formación Tamaulipas Inferior.

#### Fm. CAPOLUCAN (Kca).

Definición: López R.E., (1982) dice: " esta formación, observada por Mena, E. y Flores, J., está descrita por el segundo como un cuerpo de calizas negras criptocristalinas, con lentes y bandas de pedernal negro, bien estratificadas en capas de 20 cm a 1 m".

Áreas de afloramiento: al igual que las anteriores, se le puede observar al SW del área de estudio en escasos afloramientos sobre la vereda de Tuxpanguillo a La Magdalena.

Litología y espesor: se presenta como una caliza negra microcristalina, en estratos de 20-80 cm de espesor, con nódulos y bandas de pedernal negro así como en forma de cuerpos de caliza microbrechoide y brecha intraformacional. El espesor reportado varía de 125 a 380 m.

Relaciones estratigráficas: su contacto superior es transicional con la Fm. Orizaba.

Edad y correlación: por su posición estratigráfica se correlaciona con el horizonte Otates correspondiente a una edad Aptiano.

#### Fm. ORIZABA (Kor).

Definición: según López R.E., (op. cit) esta formación fue descrita por primera vez a fines del siglo pasado por Böse (1899). Estudios de PEMEX la definen como una caliza de color gris claro dividida en dos facies: arrecifal (boundstone) y postarrecifal (mudstone y wackestone).

Áreas de afloramiento: se le puede observar en muy distintas áreas del proyecto y sus vecindades teniendo una distribución muy amplia. El trazo de la conducción cruzará parte de las rocas de esta formación.

Litología y espesor: consiste en una caliza de color gris claro a oscuro con micro y macrofauna, de estratificación delgada a gruesa, desde 40 cm a más de 2.5 m de espesor. La potencia es muy variable debido a su carácter arrecifal encontrándose paquetes desde 400 m hasta 800 m.

Relaciones estratigráficas: se encuentra subyaciendo a las Formaciones Maltrata y Guzmantla en las áreas de boquilla y conducción respectivamente.

Edad y correlación: la edad estimada para esta formación es de Albiano-Cenomaniano (Viniestra, 1965) correlacionándose con la Formaciones Tamaulipas Inferior, El Doctor y Morelos.

#### Fm. MALTRATA (Knt).

Definición: López R.E. (op.cit) dice: " Böse (1899) estableció el nombre de calizas Maltrata y posteriormente PEMEX e IMP la llamaron Serie y finalmente Formación limitandola a calizas densas con pedernal."

Áreas de afloramiento: está ampliamente distribuida en el área de estudio; entre otras zonas, se manifiesta en la nariz topográfica del Cerro Naranja donde se ubica la boquilla.

Litología y espesor: se observa como una caliza de color gris claro a oscuro en estratos de 20 a 40 cm de espesor en la base y de 60 a 120 cm en la cima. Contiene bandas y nódulos de pedernal negro y ocasionalmente horizontes de lutita. El espesor reportado es de 400 m teniendo más de 300 m en el sitio de la boquilla.

Relaciones estratigráficas: se encuentra sobreyacida por la Fm. Necoxtla en forma transicional y se le considera parcial o totalmente equivalente al miembro pelágico de la Fm. Guzmantla.

Edad y correlación: la edad asignada para esta formación es la propuesta por Bonet (1969) (en López, 1982) de Turoniano-Coniaciano, por lo que se le correlaciona con las Formaciones Agua Nueva y Guzmantla.

### Fm. GUZMANTLA (Kg2).

Definición: según López R.E. (1982) fue Viniegra en 1965 el primero en describir esta formación como Unidad Guzmantla y posteriormente por PEMEX (1978) le dio el nombre de Formación a las calizas masivas observadas.

Áreas de afloramiento: tiene su mayor distribución hacia la parte SE de la zona de estudio y en la Sierra de Guzmantla.

Litología y espesor: se presenta como una caliza arrecifal en estratos medios a masivos con abundante micro y macrofauna, observándose algunos horizontes dolomitizados y abundante desarrollo cárstico. Su potencia varía de unos cuantos metros a 1200 en la Sierra de Guzmantla.

Relaciones estratigráficas: subyace transicionalmente a la Formación Necoxtla y posiblemente en discordancia paralela a la Fm. Atoyac.

Edad y correlación: tanto Viniegra como PEMEX asignan una edad Turoniano-Senoniano (Santoniano) para esta formación, según López (1982), correlacionándose con la Formación Agua Nueva.

### Fm. NECOXTLA (Kn).

Definición: en López R.E. (1982) se dice que la primera descripción la realizó Böse (1899) denominandola pizarra Necoxtla y posteriormente Rena,E (1958) y Thalman y Ayala (1959) la llamaron Fm. Necoxtla.

Áreas de Afloramiento: su exposición en los alrededores de la zona de estudio es muy dispersa y en extensiones variables. Se le puede observar principalmente en la zona de Tanque Regulador.

Litología y espesor: consiste en una lutita laminar de color gris pardo amarillento, muy deleznable. Su potencia es muy variable y no se puede medir con precisión debido a su carácter arcilloso; sin embargo se midieron más de 200 metros en la zona de tanque regulador.

Relaciones estratigráficas: se encuentra en contacto transicional con las formaciones Guzmantla y Atoyac.

Edad y correlación: la edad correspondiente a la Formación es de Santoniano-Campaniano y es correlacionable con la Formación San Felipe.

## Fm. ATUYAC (Kay).

Definición: según López R.E. (1982) esta formación fue inicialmente descrita por Mena, E. en 1958 como un cuerpo biógeno de calizas con estratos calcarení-ticos y lentes de paquiodontos.

Áreas de afloramiento: las manifestaciones de esta formación son muy escasas en el área del proyecto limitándola a la Zona de Tanque Regulador y Rampa ex-clusivamente.

Litología y espesor: se observa como una caliza arrecifal con abundante mi-crofauna, ligeramente arcillosa y ocasionalmente recristalizada y en estra-tos medios a gruesos. Su potencia media es de 250 a 430 m.

Relaciones estratigráficas: sobreyace a la Formación Guzmantla en forma con-cordante y presenta un contacto transicional con la Formación Necoxtla.

Edad y correlación: se le ha asignado una edad Campaniano-Maestrichtiano --correlacionándose con la Fm. Méndez.

## CUATERNARIO

Toda la secuencia litológica continental no se encuentra bien diferenciada --en edades y relaciones estratigráficas, por lo que el orden de descripción es --totalmente arbitrario.

## CONGLOMERADO CONTINENTAL (Qcg).

Consiste en un agregado de bloques, guijarros y gravas de origen ígneo princi-palmente, con material arcillo-arenoso como matriz. Los cantos son en su mayo-ría andesíticos y ocasionalmente basálticos con diámetro variable desde 5 cm --hasta 3 m y de forma subangulares a subredondeados. Se presentan algunos len-tes de ceniza volcánica.

Se le observa en distintas áreas rellenando las partes bajas del relieve, te--niendo un espesor sumamente variable, que sobrepasa los 175 m en distintas te--razas.

#### DEPOSITO DE TALUD (Qdt).

Esta constituido por bloques de muy diversos tamaños, lajas, fragmentos de calizas o de lutitas en menor proporción de acuerdo a la zona donde se encuentra. Se presenta con material arcillo-arenoso como relleno.

#### SUELO RESIDUAL (Qsr).

La presencia de diferentes tipos de suelos residuales en la región es debido a la desintegración "in situ" de los distintos tipos de rocas preexistentes, presentandose tres tipos de suelos: Suelo laterítico, en la zona del conglomerado, suelo cálcico-carbonatado donde predomina la caliza, y suelo arcilloso en las zonas de lutita.

Dichos suelos se presentan con o sin presencia de un suelo vegetal que los cubra.

#### ALUVION (Qa1).

Consiste en la acumulación de material limo-arcilloso y algunos fragmentos de arenas y gravas en las zonas de planicie de inundación. por lo que su distribución y presencia es muy escasa.

### III.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL, HISTORICA Y TECTONICA.

La región que circunda al P. H. Xúchiles se encuentra caracterizada por distintas estructuras geológicas entre las que destacan, por su abundancia y dimensiones, los pliegues volcados y recostados hacia el noreste y suroeste, fallas inversas escalonadas de dirección de desplazamiento al NE y fallas transcurrentes que cortan a las estructuras anteriores perpendicular y oblicuamente. (Ver figura 06). La descripción detallada de dichas estructuras se presenta en el siguiente capítulo al referirse a las distintas obras civiles

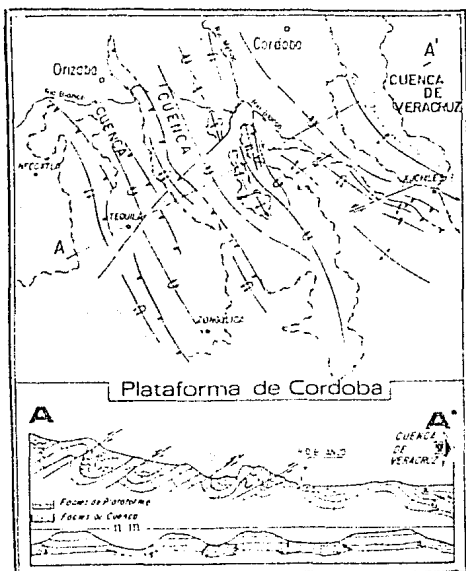


Figura 06: Principales estructuras geológicas y ambientes de depósito.  
(tomado del informe de avance de Xúchiles C.F.E., 1987)

- La evolución tectónica de la región está regida por dos factores principales
- 1º la presencia de dos secuencias sedimentarias distintas,
  - 2º la ocurrencia de dos eventos tectónicos diferentes.

La presencia de las dos secuencias sedimentarias es debida a la fluctuación del nivel del mar por períodos de tiempo muy largos y por los movimientos verticales de la corteza terrestre. Apparently la primera invasión de los mares a tierra firme se llevó a cabo durante el Jurásico invadiendo el Golfo de México y gran parte de la República Mexicana. Durante casi todo el Jurásico los mares mantuvieron un mismo nivel hasta la formación del gran Geosinclinal en el Jurásico Superior, dando lugar a rocas predominantemente arcillo-arenosas, como las de la Formación Tepexilotla.

Durante el Cretácico, el relieve marino presentaba dos niveles que dieron como resultado las dos secuencias: por un lado la Cuenca de Zongolica y por el otro la Plataforma de Córdoba, teniéndose para las primeras rocas de composición predominantemente arcillo-calcárea, las cuales fueron plegadas intensamente, debido a su poca competencia en pliegues escalonados de sinclinales y anticlinales volcados y recostados de dirección NW-SE con longitudes mayores a 20 km y que forman sinclinorios que afectan rocas de las formaciones Maltrata y Necoxtla.

Por otro lado, la litología de la secuencia de la Plataforma de Córdoba se caracteriza por un conjunto de sedimentos carbonatados de potente espesor que contrariamente a las rocas de cuenca, no sufrieron una deformación tan intensa, sino que se comportaron como un verdadero contrafuerte ante los esfuerzos tectónicos manifestándose solamente pliegues suaves, simétricos y ligeramente volcados en las calizas de las fms. Orizaba y Guzmanla.

Viniegra O., 1966, refiriéndose a zonas próximas al sitio de estudio dice: "... los movimientos tangenciales por deslizamientos deben haber producido, con el continuo movimiento compresional de las rocas competentes e incompetentes, un sistema original de flexuras que se extendieron de norte a sur ocupando toda la extensión y amplitud de la Cadena Orográfica, desde Perote hasta Jalapa, y desde los linderos de la Cañada Oaxaqueña hasta la parte más occidental de la Cuenca de Veracruz. Estas flexuras en el área de Córdoba, Orizaba y borde oriental de la Sierra, al incrementarse los esfuerzos tangenciales por elevación del 'traspais' y el movimiento de escurrimiento de las



calizas se tradujeron en grandes rupturas en las zonas de máxima tensión, transformándose el mecanismo tectónico de plegamiento recumbente original en fallas de sobrecorrimiento.

Los enormes cuerpos de caliza de la Serie Escamela\* hacia el oriente y poniente del mecanismo diastrófico parece que jugaron un papel importante funcionando como obstáculo semirígido de empuje tangencial occidental. En efecto estas sierras compuestas de facies arrecifales o bioquímicas de enorme potencia sedimentaria, no muestran una deformación tan intensa como las rocas de las facies arcillo-calcáreas más delgadas y de la misma edad, que se extienden al poniente y oriente y donde está presente el sistema de 'escamadura' de la región. Esto pudiera ser una evidencia de que la competencia de los cuerpos sedimentarios fue una de las causas principales del tipo de diastrofismo local."

En cuanto a los eventos de deformación se refiere, destaca por su importancia la Revolución Laramide, la cual indujo esfuerzos tangenciales con una dirección este - oeste, formando las estructuras antes mencionadas y que se observan en la figura 06. El inicio de estos esfuerzos es a fines del Cretácico finalizando a principios del Terciario.

El evento geológico anterior se vió favorecido por un levantamiento de las rocas del Basamento Metamórfico Oaxaqueño y su cobertura, que provocaron un basculamiento hacia el oriente, formando en su porción occidental la Sierra Madre Oriental.

En conclusión, la mezcla de estos factores dio como resultado la formación de dichas estructuras, las cuales presentan ligeras variaciones en su dirección debido a la distribución tan irregular de los sedimentos, que al ser sometidos a distintos esfuerzos respondieron de diferente forma.

\* La Serie Escamela se refiere a un potente cuerpo de calizas compuesta por las formaciones que se observan en la columna adyunta.

CRETÁCICO	Maestrichtiano	Méndez	Atoyac	SERIE ESCAMELA
	Companioniano	Necaxa	(Arrecife)	
	Comaciense	Moltrón	Quilmanit	
	Turoniano			
	Cenomaniano	Orizaba	(Arrecife)	
	Albiano			
	Apliano	Capulucan		
Neocomiano	Tuspanquillo			

IV.- G E O L O G I A D E L A S Z O N A S  
D E B O Q U I L L A Y E M B A L S E .

"A veces podemos aprender más  
observando los errores de un  
hombre, que observando sus  
virtudes."

Longfellow

#### IV.1.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

Las zonas de embalse y boquilla del P. H. Xúchiles se encuentran localizadas en la confluencia de los ríos Blanco y Metlac. El primero a proximidad del poblado de Zapopan, cubriendo hasta la cota 727.7 una extensión aproximada de 4 a 6 has. en sus dos brazos. Ver figuras 07 y 08.

La boquilla estará desplantada inmediatamente aguas abajo de la confluencia, a 8.5 km en línea recta S 33° W de la Ciudad de Córdoba.

Se puede llegar a la zona por varios caminos asfaltados y de terracería transitable en todo el año desde la Ciudad de Córdoba o desde Fortín de las Flores, pasando por Villa Unión y la Estación de Bombeo No. 05 de PEMEX.

Las coordenadas geográficas del sitio son:

18° 49' 54"	latitud norte
96° 50' 46"	longitud oeste.

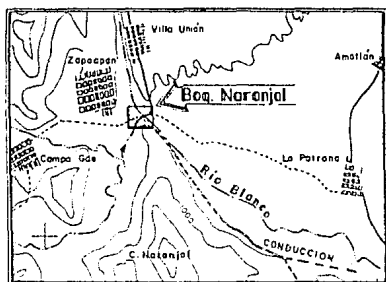


Figura 07.- Localización de la zona de la Boquilla. (Tomado del Informe de avance de Xúchiles de CFE, 1987.)

#### IV.2.-AREA DE INUNDACION. Y MORFOLOGIA.

Dada la poca altura de la cortina derivadora a desolantar, 6.7 m, el área que inundarán las aguas de los ríos Blanco y Metlac será de tan solo unas cuantas hectáreas sin afectar poblados o tierras aprovechables para el cultivo. Ver figura 08.

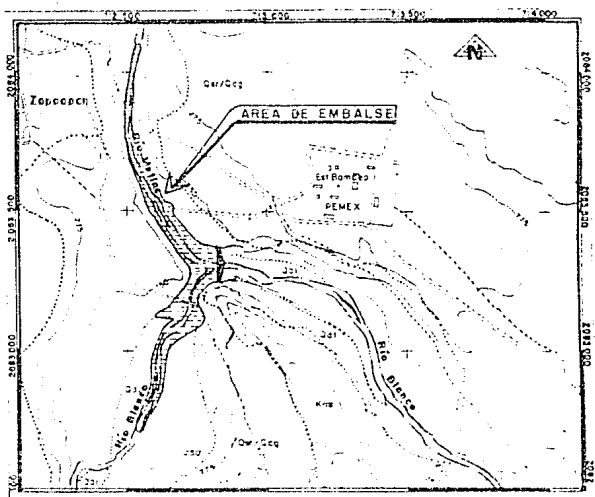


Figura 08.- Vías de comunicación a las zonas de boquilla y embalse. Area que inundará el P. H. Xúchiles.  
(Tomado del Informe de avance de Xúchiles, CFE, 1987)

El relieve topográfico del sitio de emplazamiento no se presenta muy abrupto mostrando perfiles asimétricos de 25 a 55 grados en la margen izquierda y de 25 a 50 grados en la margen derecha. La diferencia entre ambas márgenes es debida a la erosión diferencial como se aprecia en la figura 09.

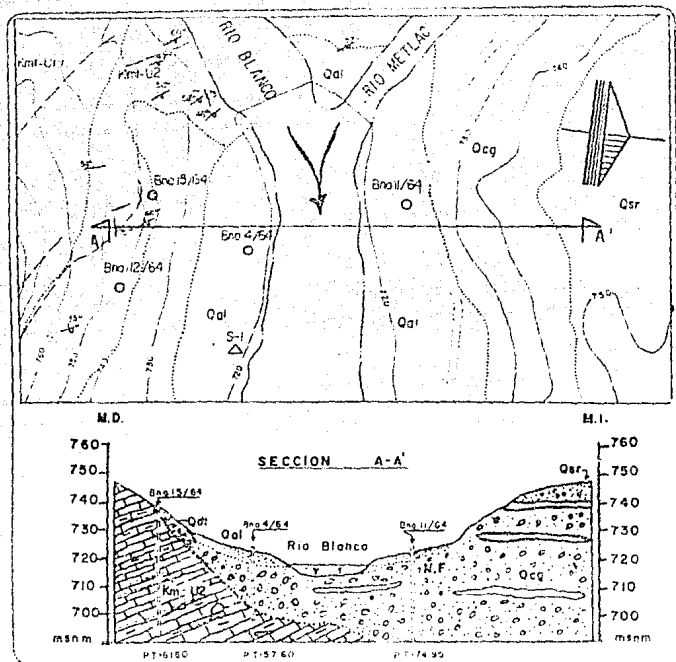


Figura 09: Planta y sección del sitio de emplazamiento de la cortina del P. H. Xúchiles, Edo. de Veracruz.

#### IV.3.- ESTRATIGRAFIA.

En las zonas de embalse y boquilla se observan aflorando rocas calizas de la Formación Maltrata y un Conglomerado continental que sobreyace a las primeras discordantemente y que a su vez se encuentra cubierto, parcialmente, por depósitos de talud y material aluvial. Se reporta la presencia de lutitas de la Formación Necoxtla a una profundidad de 46 m en el barreno 11/64 en la margen izquierda del río Blanco. Ver figura 10.

El embalse cubrirá aproximadamente en un 70 % al conglomerado continental y en un 30 % a las calizas.

EDAD	LITOLOGIA	COLUMNA	ESP.	OBRAS
CUATERNARIO	Aluvión, suelo vegetal y suelo residual. Deposito de talud.		10 m 4 m	Ataquia Canal de desvío
	Conglomerado de bloques y cantos de origen ígneo. <i>Discordancia</i> Kn Caliza arcillosa y lutita calcárea laminar		60 m 40 m	Cortina Canal de cond.
CRETACICO SUP.	U <sub>2</sub> Caliza delgada con pedernal y lutita interstratificada			Ataquia Cortina Canal de cond
	K Caliza gruesa o masiva con brecha intraformacional		200 m	Ataquia
	U <sub>1</sub> Caliza gruesa cársica, microcristalina			Cortina

Figura 10.- Columna estratigráfica de las zonas de Boquilla y Embalse. (Tomado del Informe de avance de Xúchilos, C.F.E., 1987)

Formación MALTRATA (Knt). Turoniano-Santoniano.

Con base en las observaciones de barrenos, geofísica y levantamientos de superficie y de acuerdo a sus características litológicas y estructurales, la formación fue dividida en dos unidades: Knt-U<sub>1</sub> la inferior y la Knt-U<sub>2</sub> la superior. Dichas unidades se describen a continuación.

Kmt-U1.- se presenta como una caliza de estratificación gruesa a masiva, de 2-10 m de espesor, microbrechoide intraformacional, con clastos de diferentes tonalidades y de 5 mm o menos de diámetro, con intercalaciones de caliza cárstica de 0.6 a 1.0 m de espesor y nódulos y bandas de pedernal negro.

Kmt-U2.- se caracteriza por ser una caliza de color gris oscuro a negro, en estratos de 2 a 30 cm de espesor, con bandas y nódulos de pedernal negro e intercalaciones de estratos de lutita color pardo amarillento. Aflora en ambos márgenes del Río Blanco y en la margen derecha del Río Metlac. Presenta un menor grado de carsticidad con respecto a la unidad anterior. Subyace a una caliza arcillosa sin pedernal convirtiéndose en la Fm. Necoxtla aunque en el sitio se encuentra en posición invertida sobreyaciendo a la unidad Kmt1

#### Formación NECOXTLA (Kn), Santoniano-Campaniano.

Pese a que estas rocas no afloran, en la margen izquierda del Río Blanco en el sitio de la boquilla, se detectó su presencia mediante el barreno 11/64, a 46 m de profundidad, cortando 40 m de caliza arcillosa, con estratificación laminar a delgada, con escasa pizarrosidad y ocasionalmente lutita bentonítica. Subyace al conglomerado continental en forma discordante.

#### CONGLOMERADO CONTINENTAL (Qcg), Cuaternario (?).

Cubriendo discordantemente a las rocas marinas del Mesozoico se encuentra un conglomerado continental que consiste principalmente de cantos y guijarros de roca ígnea, lentes de ceniza volcánica y material arcillo-arenoso. Algunos bloques pasan de 3m de diámetro y están empacados con grava, arena y material arcilloso. Presenta pseudoestratificación e intercalaciones irregulares de lentes arenosos y arcillosos.

Por el tipo de alteración que sufre el conglomerado al intemperizarse, se ha zonificado con una cubierta de suelo residual laterítico y vegetal de menos de 10 m de espesor. Dicha zona de alteración presenta clastos disgregados, teniendo el conglomerado 20 metros en esta zona y hacia abajo desaparece y se presenta como un conglomerado muy compacto.

#### DEPOSITO DE TALUD (Qdt), Reciente.

Se presenta como una mezcla de bloques, guijarros y clastos de caliza entre mezclados con material areno-arcilloso de color pardo oscuro a negro. Se le observa en los bordes inferiores de la margen derecha del río Blanco.

#### SUELO RESIDUAL (Qsr), Reciente.

Consiste en un suelo areno-arcilloso de poco espesor con abundante materia vegetal y está cubriendo a las rocas que le dieron origen, formando un suelo laterítico de color pardo rojizo, en el caso de la desintegración del conglomerado, y de color rojizo cuando resulta del intemperismo de la caliza y la lutita.

#### ALUVION (Qal), Reciente.

No se presenta muy distribuido en el sitio, observándose exclusivamente en las planicies de inundación, consistiendo en gravas, arenas y material limo-arcilloso y ocasionalmente fragmentos del conglomerado. Su espesor es de 1 a 5 metros.



#### IV.4.- GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.

El área circundante a las zonas de embalse y boquilla presenta como estructuras principales al Anticlinal Nexca y la Falla Naranjal, como se puede observar en la figura 11.

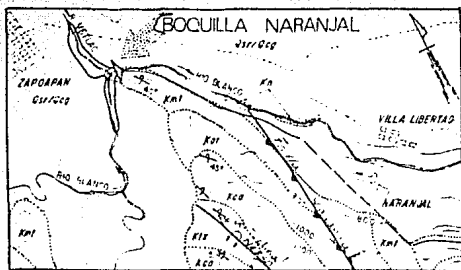


Figura 11.- Principales estructuras geológicas en las zonas de Embalse y Boquilla. Tomado del Informe de avance de CFE.

El primero se observa como un anticlinal recostado y erosionado de dirección NNW, prolongándose hacia el SSE de manera buzante y con rumbo y echado de los estratos variable de  $N 20^{\circ} - 50^{\circ} W$  y  $20^{\circ} - 70^{\circ} SH$ , respectivamente. Hacia el flanco NNE del Cerro Naranjal aflora una secuencia en forma invertida de estratos de caliza con bandas y nódulos de pedernal, correspondiente a la Formación Maltrata.

La falla Naranjal es una falla inversa con desplazamiento al ENE y de relativamente poco movimiento evidenciándose por un salto de los estratos de la Fm Orizaba sobre otros de la misma formación y parte de la Formación Maltrata. El fracturamiento cambia en sus características de una unidad a otra de la Fm. Maltrata, habiéndose reconocido cuatro sistemas de fracturamiento asociados a esfuerzos de compresión, tensión y cizalla producidos durante el plegamiento y relajación de esfuerzos de fines del Cretácico y principios del Terciario.

Los sistemas de fracturamiento identificados por la brigada de exploración en estas zonas mediante mediciones de 150 datos fueron los siguientes:

- 1.- 240/55° paralelo a la estratificación,
- 2.- 145° y 325/45° asociado a fallas normales,
- 3.- 210/50° que corta a los estratos, y
- 4.- 260/70° relacionado a esfuerzos tangenciales.

Los datos están dados en dirección del echado e intensidad del echado, tomando sus puntos medios respectivos.

Se observó también un desplazamiento entre estratos de caliza y lutita y entre las calizas masivas y las delgadas debido a la menor competencia de las lutitas y calizas delgadas, evidenciándose este rasgo por superficies de pizarrosidad y salbanda en los planos de deslizamiento.

Así mismo, se presenta un mayor desarrollo cárstico en las partes altas del Cerro Naranjal, debido al mayor fracturamiento de las calizas gruesas y competentes de la Kmt-U2.

#### IV.5.- PROBLEMAS PRINCIPALES.

Con base en la información recabada de las pruebas de permeabilidad Lugeon realizadas tanto en el conglomerado ( $10^{-3}$  y  $10^{-4}$  cm/s) como en las calizas (5 a 25 U. L.) en ambos márgenes de los 2 ríos, se puede observar que la permeabilidad representa un problema de importancia, siendo debida principalmente a las características propias del conglomerado por un lado y al alto grado de carsticidad de las calizas por el otro.

Así mismo, extrapolando la información de los registros de azolve que se tienen de la Presa Tuxpango, es de esperarse un volumen mayor en esta cortina ya que el volumen de material susceptible de azolverse por el río Metlac es mayor que el del río Blanco.

V.- GEOLOGIA DE LA ZONA  
DE CONDUCCION.

"Entre todos nuestros defectos  
el que con más facilidad dis-  
culpamos es la ociosidad."  
La Rochefocauld

## V.1.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

La ubicación de la conducción del P. H. Xúchiles se ha propuesto llevarla por la margen derecha del Río Blanco, a una cota de 720, con una longitud de 25 km aproximadamente a partir de la obra de toma, aguas abajo de la confluencia de los ríos Blanco y Metlac, pasando por un tanque sedimentador y un puente sifón, hasta llegar a un tanque regulador, éstos situados en las proximidades de los poblados Coetzala, Buenavista y Xúchiles respectivamente. La comunicación a los distintos sitios de la conducción está dada por caminos de primero, segundo y tercer orden en las planicies y veredas, y caminos de herradura en las zonas montañosas, como se aprecia en la figura 12.

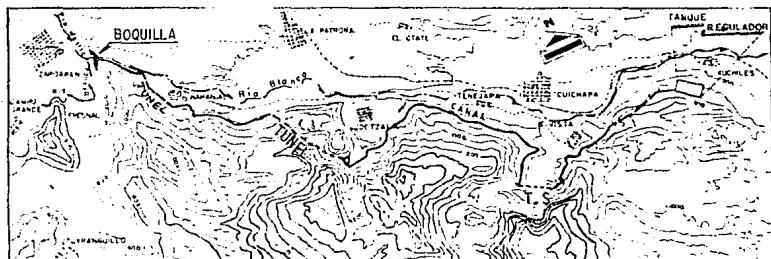


Figura 12: Localización de la zona de conducción del P. H. Xúchiles, en donde se indican los tramos de túnel y los tramos de canal. (Tomado del Informe de avance de Xúchiles, C.F.E., 1987).

## V.2.- ESTRATIGRAFIA.

Las rocas que afloran en el trazo de la conducción son casi en su totalidad sedimentarias marinas, de edades que van desde el Albiano hasta el Maestrichiano y en forma casi insignificante rocas continentales del Cuaternario, del Reciente. Ver figura 13.

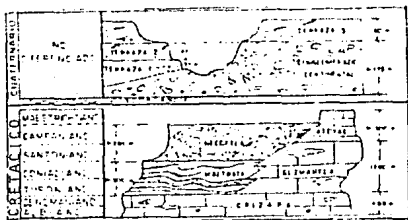


Figura 13: Columna estratigráfica de la zona de conducción. (Tomado parcialmente del Informe de avance de Xúchiles, C.F.E., 1987)

De la secuencia marina se presentan rocas de dos ambientes distintos: por un lado se tienen rocas de plataforma, caracterizadas por calizas puras, compactas, de gran espesor y poco deformadas pero con un intenso desarrollo cárstico, correspondiendo a las Formaciones Orizaba, Guzmantla y Atoyac y que cubre el 80 % aproximadamente del trazo propuesto; por el otro lado se observan rocas de cuenca, las cuales, de manera contraria, son menos competentes, de menor espesor y están altamente deformadas, debido a su carácter arcillo-arenoso, perteneciendo a las Formaciones Necoxtla y Maltrata, que comprenden el 20% restante de la conducción, tal como se aprecia en la figura 14.

El área ocupada por las rocas continentales es casi despreciable presentándose casi exclusivamente en las zonas de obra de toma y canal de llegada al tanque regulador.

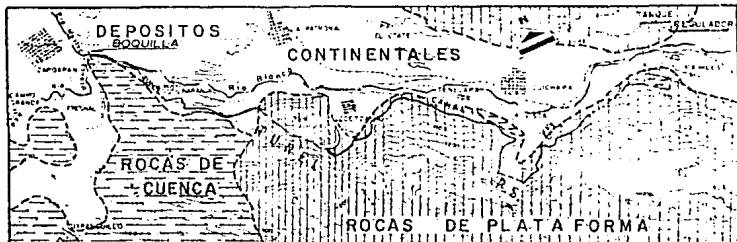


Figura 14.- Ambientes de depósito de las rocas mesozoicas.

(Tomado del Informe de avance de Xúchiles de C.F.E., 1987)

A continuación se describen cada una de las unidades:

**Fm. ORIZABA (Kor), Albiano-Cenomaniano.**

Consiste en una caliza arrecifal de color gris claro, de estratificación delgada a gruesa, con abundante micro y macrofauna, comúnmente dolomitizada hacia la base y con moderada carsticidad. Subyace a la Formación Guzmantla en esta zona y a la Fm. Maltrata en la zona de la boquilla en la obra de toma.

**Fm. MALTRATA (Kmt), Turoniano-Coniaciano.**

Se observa como una caliza de color gris oscuro, en estratos de 30-40 cm de espesor en la base y 60-120 en la cima. Presenta bandas y lentes de pedernal negro que disminuye hacia la cima y ocasionalmente horizontes delgados de caliza.

Sus afloramientos en la zona se restringuen a la obra de toma y a los primeros metros de la conducción, teniendo un espesor de 250 m aproximadamente. Está en contacto transicional con la Formación Necoxtla y sobreyace a la Formación Orizaba.

Fm. GUZMANTLA (Kg), Turoniano-Santoniano.

Es una caliza arrecifal pura, de color gris claro y de grano muy fino, en estratos gruesos a masivos, con abundante micro y macrofauna, con alto grado de disolución y ocasionalmente dolomitizada. Se le observa en el extremo SE de la zona de estudio en el área de llegada al tanque regulador, en contacto con la Formación Necoxtla en discordancia paralela y con la Formación Orizaba en contacto por falla y normal.

Fm. NECOXTLA (Kn), Santoniano-Campaniano.

Consiste en una lutita laminar de color gris pardo a gris oscuro, muy deleznable e intemperizada, formando un suelo arcilloso. Aflora en el flanco NE del Anticlinal Miahuatlán, presentándose en contacto tectónico con la Formación Orizaba.

Fm. ATOYAC (Kay), Campaniano-Maestrichtiano.

Corresponde a una caliza arrecifal de color gris claro, en estratos medios a gruesos, con abundante micro y macrofauna y ligeramente arcillosa. Sobreyace a la formación Guzmantla en la zona de Tanque regulador sin comprobarse aún su presencia en el canal de llegada.

## CONGLOMERADO CONTINENTAL (Qcg), Cuaternario.

Está conformado por bloques, gravas y guijarros de origen ígneo, andesítico y basáltico, material areno-arcilloso mal cementado como matriz y esporádicos horizontes y lentes de ceniza volcánica.

El diámetro de los cantos varía entre 5 cm hasta más de 3 m y se presentan subangulosos a subredondeados. Sus afloramientos se restringen a la obra de toma y a los primeros metros de la conducción. El espesor varía desde unos cuantos metros hasta 175. Sus contactos son discordantes con todas las formaciones.

### OTROS DEPOSITOS, Reciente.

Son principalmente depósitos de talud presentes en casi todas las laderas de la conducción y están acompañados de suelo residual y vegetal con diferentes características y espesores.

## V.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Las estructuras geológicas que se observan en la zona de conducción son principalmente pliegues y fallas de las rocas mesozoicas. Dichas estructuras tienen una dirección preferencial NW-SE y son resultado de los esfuerzos de fines del Cretácico y principios del Terciario.

Con base en las características morfológicas y estructurales, se ha dividido a la región en tres porciones a saber (Ver figura 15):

- a) Porción Noroeste: constituida por el anticlinal Nexca en posición volcada E-NE y la falla inversa Naranjal de movimiento SW-NE. Ambas estructuras tienen dirección N-NW.
- b) Porción central: presenta como estructuras principales al Anticlinal Miahuatlán, volcado al N-NE, sobre el cual se proyecta la construcción de una parte de la conducción por canal, teniendo una inclinación favorable de los estratos; el Anticlinal Axalpan, de dirección NW-ESE, en el que se planea la conducción por túnel cruzándolo casi perpendicularmente; la falla de trascendencia Coetzala, de dirección SW-NE y que corta a la estructura anterior, y



las fallas Coática y Buenavista de tipo normal e inversa, respectivamente.

c) Porción Sureste: caracterizada por la falla de transcurrancia Cuichapa de dirección NE-SW y que atravesará al sifón Buenavista; las fallas inversas Xúchiles, Buenavista y María Loma, que serán cortadas por la conducción en sus tramos de canal, las dos primeras y posiblemente en túnel la última; el anticlinal Tepecoxtla y el sinclinal Atitla, cuyos estratos serán atravesados en forma perpendicular por el trazo de la conducción

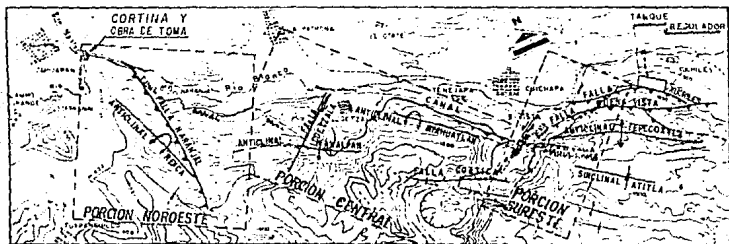


Figura 15.- Principales estructuras geológicas presentes en la zona de conducción divididas en porciones Noroeste, Central y Sureste.  
(Tomado del Informe de Avance de Xúchiles de C.F.E., 1987)

El cambio que se observa en la dirección de los sinclinales y anticlinales en esta zona, puede ser debido a la presencia de fallas de transcurrancia que cortan la continuidad de los primeros.

Así mismo, podría suponerse un control litológico de las estructuras, ya que la distribución de las distintas secuencias se presenta con cambios en la dirección de las estructuras correspondientes.

#### V.4.- PROBLEMAS PRINCIPALES.

A través de todo el trazo de la conducción, tanto en los tramos de túnel como en los tramos de canal se perciben una serie de problemas a analizar. Entre ellos destacan por su importancia:

i) Carsticidad: el grado de disolución que se observa en las rocas de las Formaciones Orizaba, Guzmantla, Maltrata y Atoyac, se ha calculado que puede afectar hasta en un 80% aproximadamente el área de conducción.

ii) Topografía: ésta se presenta muy abrupta a lo largo de toda la conducción, con pendientes que van desde 25 hasta 55 grados, en sus casos extremos. Esto trae consigo un problema en cuanto a la estabilidad de taludes, teniendo que excavar un gran volumen de roca para evitar deslizamientos en los tramos de canal.

iii) Heterogeneidad del conglomerado: las malas características geomecánicas y de permeabilidad del conglomerado representan un serio problema para la conducción tanto en túnel como en canal, ya que se trata de un material que puede ser removido con cierta facilidad.

iv) Estructuras geológicas: como se mencionó en el inciso anterior, el trazo de la conducción pasará un gran número de estructuras que pudieran dañar seriamente los trabajos de construcción y operación. Se sugiere cortar perpendicularmente el mayor número de estructuras.

v) Espesor del encape: en los tramos considerados para túnel, se presenta el problema de tener espesores de encape de hasta 200 m, pudiendo involucrar presencia de agua y dificultad en el desarrollo de la obra.

V I. - G E O L O G I A Y A L G U N O S A S P E C T O S  
G E O T E C N I C O S D E L A S Z O N A S D E \_  
T A N Q U E R E G U L A D O R , R A M P A Y \_  
C A S A D E M A Q U I N A S . .

"Es casi tan difícil hacer  
olvidar a un hombre sus e  
rrores, como desarraigar \_  
su conocimiento."

C. C. Colton

## VI.1.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

El área de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas está ubicada en las proximidades del poblado Xúchiles, a 18.5 km aproximadamente de la zona de la Boquilla y a 18 km al SE de la Ciudad de Córdoba, abarcando una extensión aproximada de 80 hectáreas, limitadas por las coordenadas geográficas: (ver figura 16 y fotografía 01).

18° 45' 45" - 18° 45' 50"      latitud norte  
96° 50' 33" - 96° 50' 43"      longitud oeste.

La zona se comunica principalmente por la Carretera Federal no. 150, Córdoba Veracruz, sobre la cual a 15 km adelante de la Ciudad de Córdoba se encuentra una desviación hacia Tierra Blanca, atravesando los poblados de Omealca y Providencia y llegando al poblado de Xúchiles 19 km adelante de dicha desviación.

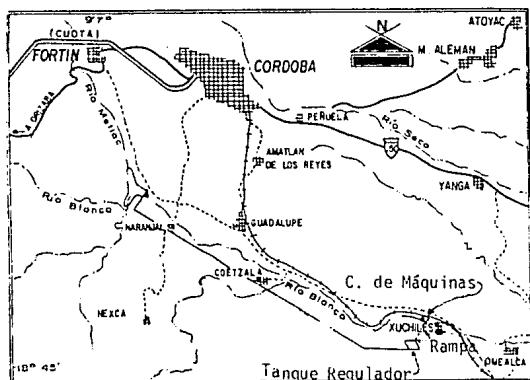
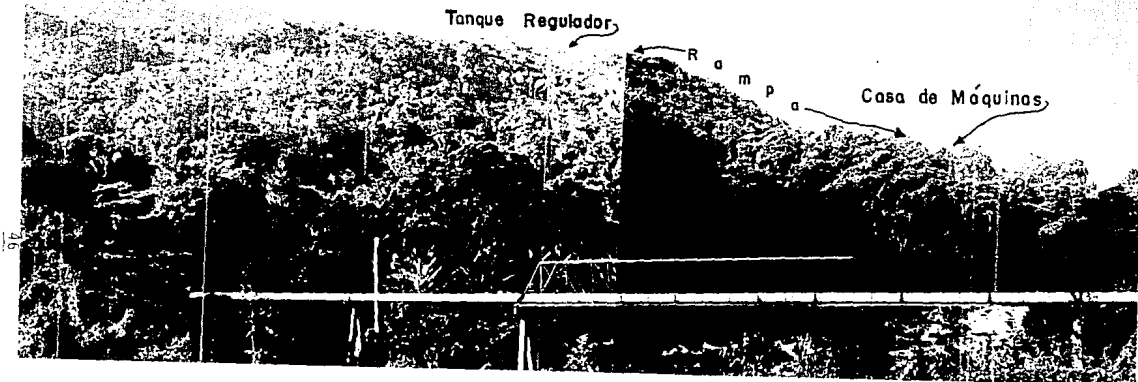


Figura 16.- Localización de las zonas de Tanque Regulador Casa de Máquinas y Rampa. (Tomado del informe de avance de Xúchiles de C.F.E., 1987)



Fotografía 01.- Vista panorámica de la margen derecha del río Blanco, desde aguas abajo hacia aguas arriba. En este sitio se ubicarán el Tanque Regulador y la Casa de Máquinas.

A partir de ese punto se puede continuar por caminos de terracería en buen estado hasta las distintas zonas. Al Tanque Regulador se puede subir ya sea en vehículo (de preferencia de doble tracción) o bien, caminando por alguna de las veredas. A la zona de Casa de Máquinas se llega siguiendo el camino hacia "El Mirador" llegando hasta el punto denominado "El Espolón". Finalmente, la zona de Rampa se puede recorrer ya sea bajando a partir del Tanque Regulador o bien, subiendo a partir de Casa de Máquinas. En ambos casos únicamente por veredas bastante accidentadas.

## VI.2.- DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS A REALIZAR.

Según la información proporcionada por la Unidad de Estudios de Ingeniería Civil (U.E.I.C.), las características de las obras a realizar en éste sitio son las siguientes: (ver figura 01)

**TANQUE REGULADOR:** el emplazamiento del Tanque Regulador se tiene proyectado sobre las lutitas de la Formación Necoxtla, la cual es muy susceptible de alteración rápida, formando fragmentos lajeados de dimensión aproximada de 1 cm y además se presenta un poco fracturada.

Para la construcción de dicho tanque será necesario levantar en las partes bajas un dique de 28.0 m de altura máxima con taludes de 2:1, colocando banquetas intermedias en alturas mayores de 10 m y en las partes altas los cortes tendrán taludes de 1.5:1 desde el desplante en la cota 680.0 hasta la cota 700.0.

El tanque se dividirá en dos depósitos con un muro perimetral formado de enrocamiento con taludes de 0.5:1; en el depósito ubicado del lado poniente se localizará la llegada del canal de conducción a la elevación de 695.0 m y en el extremo opuesto a dicho canal, se ubicará la obra de toma con el umbral a la elevación de 669.25 m y la corona a la cota 700.0.

La capacidad de almacenamiento será de 1.9 millones de m<sup>3</sup> cubriendo una extensión aproximada de 10 has. y con el fin de regular en forma horaria los escurrimientos al tanque.

RAMPA: constará de una tubería de acero de 4.7m de diámetro y 748.0 m de longitud, con bifurcación al llegar a Casa de Máquinas para alimentar dos unidades. Se instalarán 553.0 m de tubería exterior y 195.0 m de tubería en terrada.

CASA DE MAQUINAS: la ubicación de la Casa de Máquinas será 1.0 km aguas arriba del poblado de Xúchiles y será de tipo exterior emplazándola sobre el conglomerado continental que descansa sobre las calizas cársticas de la Formación Guzmantla y requiere una extensión aproximada de 816.0 m<sup>2</sup>.

El desplante se hará a la elevación de 433.95 msnm y el techo se tendrá a la cota 467.0. Finalmente el desfogue se tiene proyectado a la cota 452.0; el eje del distribuidor a la 441.12 y el piso del generador a la 453.32. Las turbinas serán marca Francis de eje vertical.

### VI.3.- ESTRATIGRAFIA.

Las rocas que afloran en esta zona pertenecen a las formaciones sedimentarias marinas del Cretácico Superior y a los depósitos continentales del Cuaternario. Ver figura 17.

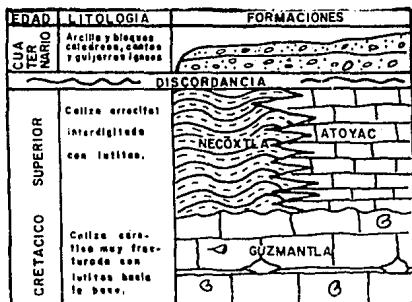


Figura 17.- Columna estratigráfica de las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas.

Las características petrológicas de las formaciones de esta zona son las siguientes:

Fm. GUZMANTLA (KgZ), Turoniano-Santoniano.

Es una caliza arrecifal de color gris claro a pardo que intemperiza en un color gris claro. Texturalmente se observa como una caliza microcristalina con algunos estratos calcareníticos de menor espesor hacia la base, así como también algunos horizontes de lutita. El espesor de los estratos es muy variable, debido a los cambios en el volumen y carácter de los aportes, presentando estratos de más de tres metros y en ocasiones, hasta de casi diez metros en las calizas puras y de menos de 15 cm en las partes calcareníticas. El grado de carsticidad de la formación en casi toda el área es muy avanzado formando cavernas de dimensiones de hasta 5 x 3 m en algunas zonas (Fotografía 02). Este rasgo disminuye en la misma proporción que la pureza de la roca. De manera inversa, el grado de fracturamiento se presenta mejor marcado hacia la base, al ser menor la disolución (Ver fotografía 03). La recristalización de la roca no es muy marcada y se pueden observar microfósiles en distintos niveles estratigráficos y microfaua en toda la formación. Según estudios petrográfico-paleontológicos, se define como un grainstone de bioclastos con abundantes ejemplares de Ammobaculites sp., muy escasas conchas magaloféricas de miliólidos, foraminíferos bentónicos, placas de equinodermos, bioclastos micritizados y otros restos biógenos no identificados.

Se presenta muy compacta y despide un olor fétido al ser golpeada con el martillo.

Su exposición es muy amplia en esta zona, siendo la de mayor afloramiento; se presenta en grandes cantiles de varios metros de altura y pendientes de más de 30° de inclinación. Comprende casi todo el trazo de la Rampa y es la base del conglomerado continental, sobre el cual se planea desplantar la casa de máquinas.

Subyace a la Formación Atoyac de manera concordante y se encuentra cabalgada por la Formación Orizaba y por si misma en la parte alta del Tanque Regulador. El conglomerado le sobreyace en las partes bajas, junto con un depósito de talud.





Fotografía 02.- Manantial en rocas calizas cársticas de la Fm. Guzmantla, aguas arriba del sitio de emplazamiento de Casa de Máquinas, en la margen derecha del río Blanco.



Fotografía 03.- Calizas de la Formación Guzmantla en estratos medios y masivos con horizontes de lutita.

#### Fm. NECOXTLA (Kn), Santoniano-Campaniano.

Se observa como una lutita calcárea, de color pardo ligeramente rojizo, de estratificación delgada a laminar y muy plegada. En algunos horizontes llega a formar casi una marga. Se encuentra muy intemperizada, deleznable con la mano y formando un suelo residual de pequeñas lajas de 1 cm. Presenta fractura concoidea muy marcada. Ver fotografía no. 04.

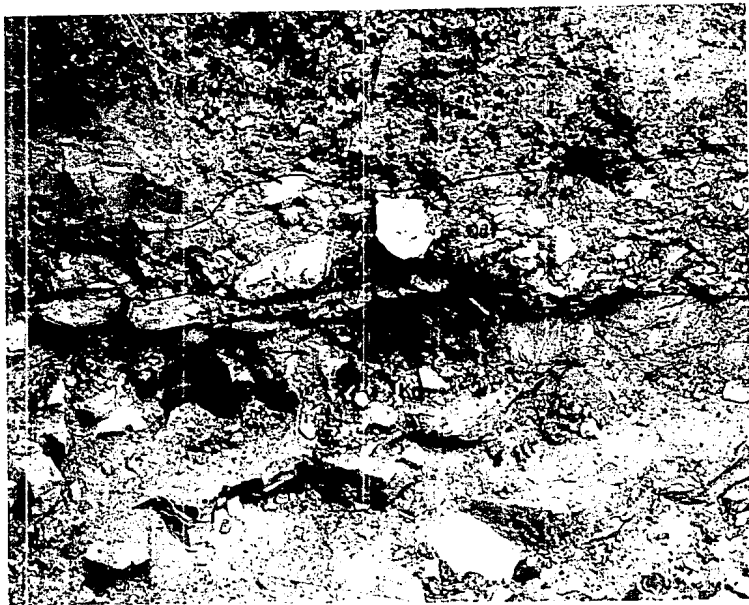
Su extensión es de aproximadamente 30 has. en la zona del Tanque y será el piso impermeable del mismo. Sus afloramientos son escasos y generalmente se encuentra cubierta por una capa de suelo y abundante vegetación.

Se presenta en forma interdigitada con las calizas de la Formación Atoyac debido a un cambio de facies, como se observa en la fotografía 05 y en las gráficas de recuperación de núcleos.

#### Fm. ATOYAC (Kay), Campaniano-Maestrichtiano

Se presenta como una caliza arrecifal de color gris cremoso de grano fino, estratificación gruesa, con abundante microfauna y con capas de material arcilloso. Ocasionalmente se le observa recristalizada. Presenta un avanzado grado de carsticidad y su diferenciación con la Formación Guzmantla solo se logra por medio de estudios paleontológicos, los cuales la reportan como un Packestone biógeno, wackestone fosilífero y wackestone con parches de cuarzo teniendo como fauna: Pseudorboides sp., Arktinorbitoides sp., conchas de miolólidos, foraminíferos planctónicos, Globotruncana sp., etc.

Su distribución en la zona no está perfectamente definida debido a la confusión con la Fm. Guzmantla a la cual sobreyace de manera concordante. Con la Fm. Necoxtla se presenta en contacto transicional o interdigitado (Ver fotografía no. 06).



Fotografía 04.- Pozo a cielo abierto excavado en la zona de Tanque Regulator. Obsérvese la secuencia lutita-depósito de talud- suelo.



Fotografía 05.- Afloramiento en la Trinchera 01, en donde se puede observar el contacto transicional de la lutita de la Fm. Necoxtla con la caliza de la Fm. Atoyac.



Fotografía 06.- Afloramiento de calizas de la Fm. Atoyac en la zona de Tanque Regulator. Obsérvese la poca inclinación de los estratos, 10°aproximadamente y la estructura debida a la composición.

#### CONGLOMERADO CONTINENTAL (Qcg), Cuaternario.

Consta de fragmentos de rocas de origen principalmente ígneo y de tamaños que oscilan entre bloques y material arcilloso encontrándose bloques de hasta 3 metros de diámetro. Los cantos están redondeados a subredondeados y se encuentran bastante bien consolidados y compactos. Dentro de la matriz se pueden observar esporádicos lentes de ceniza volcánica (Ver fotografía no.07) Su distribución en la zona se limita a las proximidades del Río Blanco en ambas márgenes, cubriendo una extensión de aproximadamente 5 has. en la zona de casa de máquinas.

Sobreyace discordantemente a las calizas de la Formación Guzmantla y está cubierto en parte por un depósito de talud, suelo residual y suelo vegetal. El espesor medido en la sección 10 fue, según valores de resistividad eléctrica, de 130 m (Ver sección correspondiente).

#### DEPOSITO DE TALUD (Qdt), Reciente.

Está formado por bloques angulosos de diversos tamaños de calizas de la Formación Guzmantla y cubre franjas semiparalelas a los cantiles con una amplitud variable y espesor reducido.

Cubre el contacto del Conglomerado con las calizas de la Fm. Guzmantla en la zona de Casa de Máquinas, así como la traza de la falla Xúchiles en la zona del Tanque. Dicha falla fue inferida por estar enmascarada con el depósito de talud.

#### SUELO RESIDUAL (Qsr), Reciente.

Consiste en un suelo arcilloso, laterítico, resultado de la desintegración "in situ" de las rocas preexistentes, lutita y conglomerado respectivamente. Barrenaciones y trincheras realizadas en la zona de Tanque Regulador revelan un espesor de más de 1 metro de suelo arcilloso. Estudios de laboratorio reportan la presencia de un suelo volcánico en la zona de obra de tona.



Fotografía 07.- Conglomerado continental en margen izquierda del río Blanco, frente al sitio donde se ubicará el canal de desfogue.



#### VI.4.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas quedan ubicadas estructuralmente en el flanco suroeste del Anticlinal de San José de Gracia, de dirección NW-SE, el cual es cortado por la falla inversa Xúchiles que coloca, en algunas zonas, a las calizas de la Fm. Guzmantla sobre las lutitas de la Fm. Necoxtla y las calizas de la Fm. Atoyac. Su identificación fue inicialmente inferida porque la traza de la falla está cubierta por un grueso depósito de talud. Sin embargo, los escarpes y la secuencia invertida y discordante de las formaciones, sugirió la idea de esta falla. Se ha hecho otra interpretación de la ubicación, suponiéndose que están en el flanco NE de un sinclinal recostado al que se le llamaría Xúchiles y que estaría afallado inversamente, según las evidencias del posible anticlinal; por otro lado, al SW de la falla anterior se tiene otra falla inversa, la Falla Buenavista, que sobrepone a las rocas de la Formación Orizaba sobre las de la Fm. Guzmantla. Dichos rasgos estructurales son resultado de los esfuerzos compresivos regionales de dirección SW-NE y ligados a ellos se tienen rasgos secundarios de tipo compresión-tensión y cizalla. (Ver plano 01).

La alta competencia de las rocas arrecifales de las formaciones Guzmantla y Atoyac permitió que fueran poco deformadas y de manera contraria a las lutitas, de cuenca, que exhiben un plegamiento muy intenso.

Mediante el levantamiento de 255 datos de fracturamiento y 100 de estratificación se pudieron definir los siguientes sistemas de fracturamiento:

$\alpha$ :	10-20° / 75-90°	y	190-200° / 75-90°,
$\beta$ :	80-95° / 75-90°	y	260-275° / 75-90° y
$\delta$ :	110-130° / 75-90°	y	290-310° / 75-90°,

los cuales se definieron mediante un análisis empleando un método gráfico, utilizando la proyección estereográfica de áreas iguales (red de Schmidt), proyectando los datos estructurales en el hemisferio inferior y representando los planos por medio de polos (Hoek-Bray, 1977). También se realizó un análisis estadístico para cuantificar las concentraciones mayores. Los resultados se presentan en las figuras 18 (A, B y C) y 20 (A, B y C).

Se realizó un análisis regional de fracturamiento sobre una roseta para determinar los rumbos preferenciales de los planos de fractura con el objeto de complementar la información estructural y determinar la existencia de desviaciones a nivel local. Sin embargo, existe congruencia entre los planos de fallas y fracturas regionales y los localmente encontrados en la zona del proyecto (Ver figura 19).

XUCHILES

CORDOBA

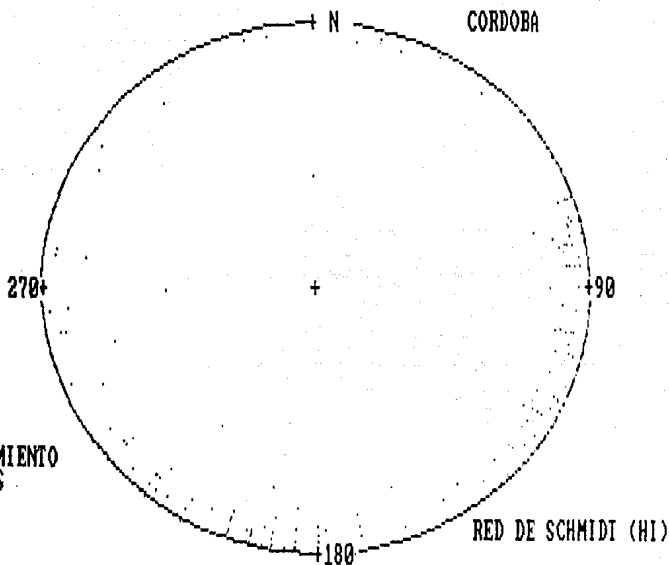


Figura 18A.- Diagrama de polos de fracturamiento de las zonas de Tanque Regulador, Rampa y Casa de Máquinas.

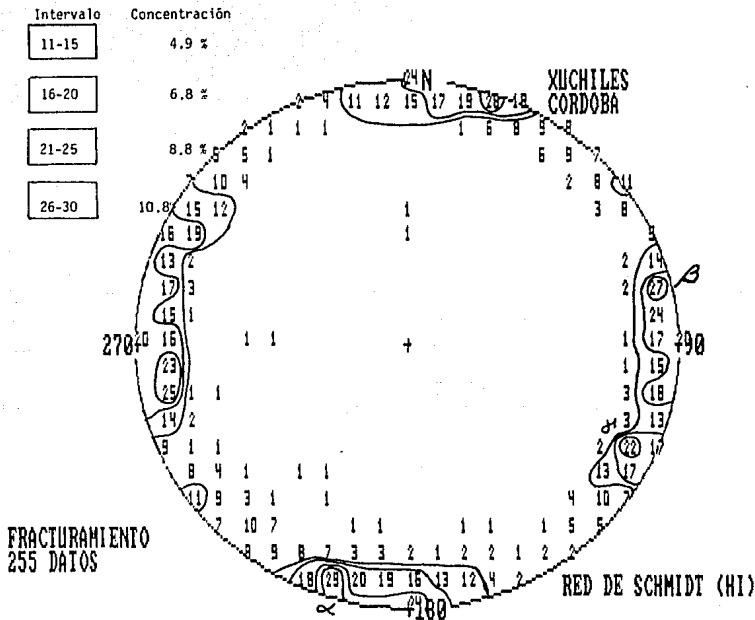


Figura 18B-Diagrama de conteo de polos de fracturamiento de las zonas de tanque regulador, rampa y casa de máquinas.

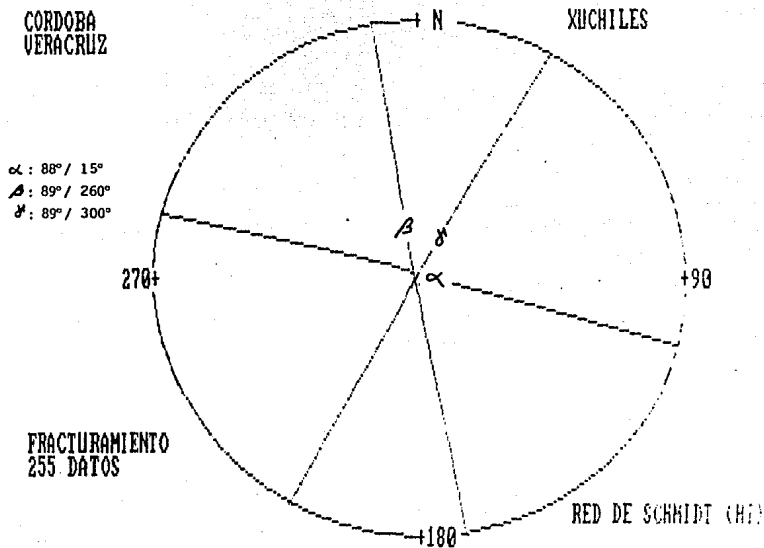


Figura 18C.- Diagrama de orientaciones preferenciales de fracturamiento de las zonas de tanque regulador, rampa y casa de máquinas.

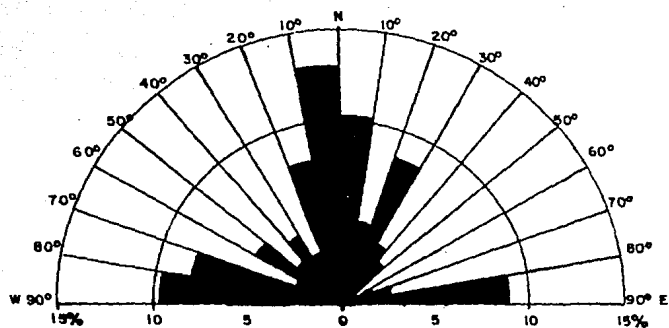


Figura 13: Roseta de fracturamiento. 237 datos

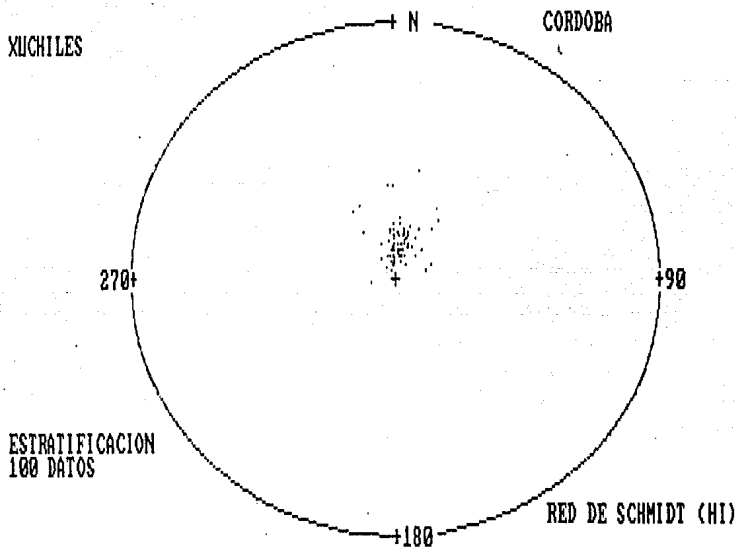


Figura 20A.- Diagrama de polos de estratificación de las zonas de tanque regulador, rampa y casa de máquinas.

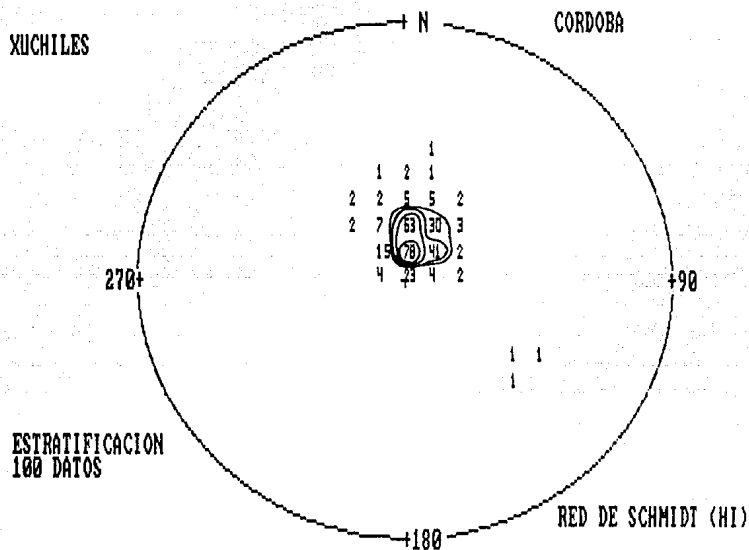


Figura 20B.- Diagrama de conteo de polos de estratificación de las zonas de tanque regulador, rampa y casa de máquinas.

Nota: el porcentaje de concentración es el indicado por los mismo números que se presentan en el diagrama.

CORDOBA  
VERACRUZ

XUCHILES

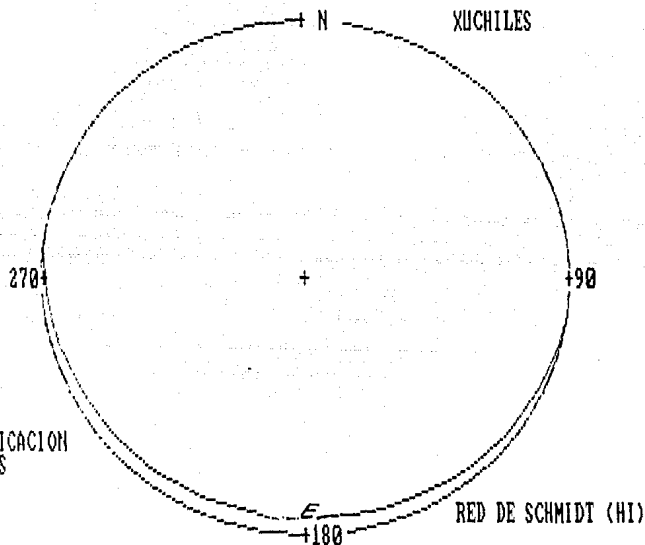


Figura 20C.- Diagrama de orientación del plano preferencial de estratificación de las zonas de tanque regulador, rampa y casa de máquinas.



## VI.5.- LEVANTAMIENTO A DETALLE.

El trabajo realizado en campo consistió en exploraciones directas de geología superficial, una trinchera y tres pozos a cielo abierto, con el apoyo de perforaciones y algunas exploraciones indirectas.

### A.- Exploraciones directas

Para conocer las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio, se realizó un estudio a detalle con el apoyo de un plano fotogramétrico escala 1:5,000 y fotografías aéreas de escala aproximada 1:8,000.

Mediante diversos caminamientos a lo largo de las diferentes secciones, se recogió toda la información litoestratigráfica y estructural posible de la zona, fijándose con precisión algunos de los contactos entre las formaciones Atoyac y Guzmantla, y entre las formaciones Atoyac y Necoxtla. El resto de los contactos fueron inferidos, ya que la vegetación y los suelos cubren la mayor parte del área de estudio, como se aprecia en la fotografía no. 08.

Como se puede observar en el plano base, la distribución de la lutita es muy irregular, debido a que su emplazamiento fue en forma interdigitada con la Formación Atoyac.

Con el apoyo de dos perforaciones de diámetro NQ con recuperación de núcleos, se pudieron observar las características estructurales y se determinó el RQD de las calizas de la Fm. Atoyac y las lutitas de la Fm. Necoxtla, la interdigitación de éstas y el contacto franco. Este contacto se encontró a los 14.20 m de perforación en el barreno TRI/87 y a 112.14 m en el barreno TRII/87. Los resultados de estas perforaciones se indican en los perfiles geotécnicos 01 y 02. De la misma forma, se realizaron 12 perforaciones con barreno helicoidal de 5 cm de diámetro, con el fin de delimitar los espesores de suelo, con contactos con la lutita y su zona de alteración. (Ver plano 02).

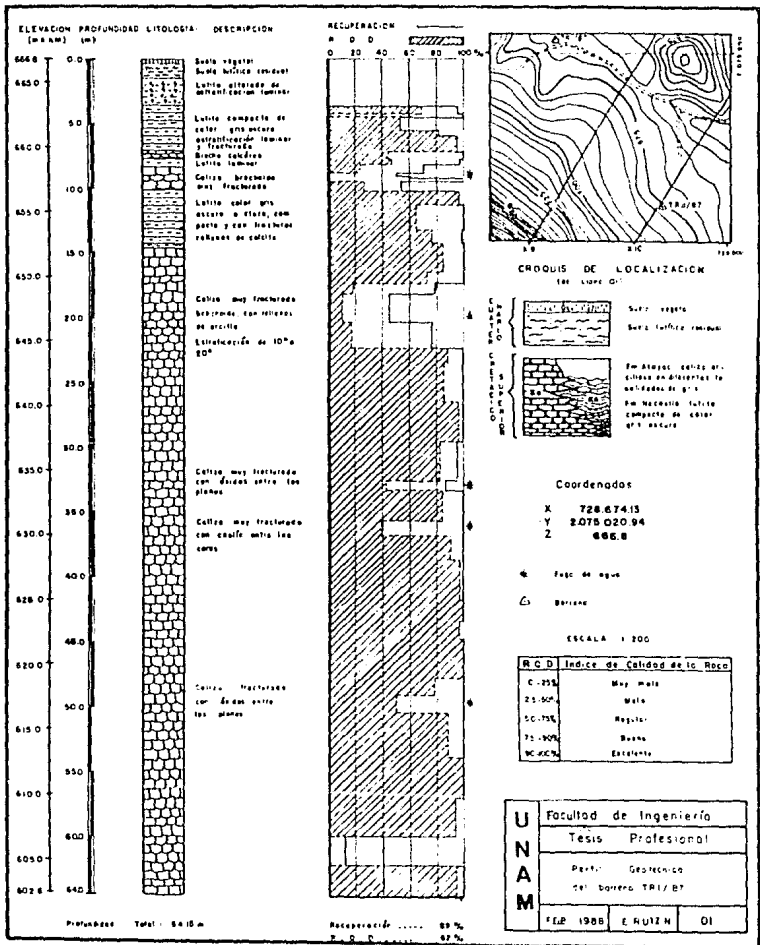
Se excavaron 1 trinchera y 3 pozos a cielo abierto en distintas partes de la zona de Tanque Regulador obteniéndose la siguiente información:

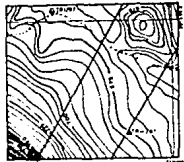
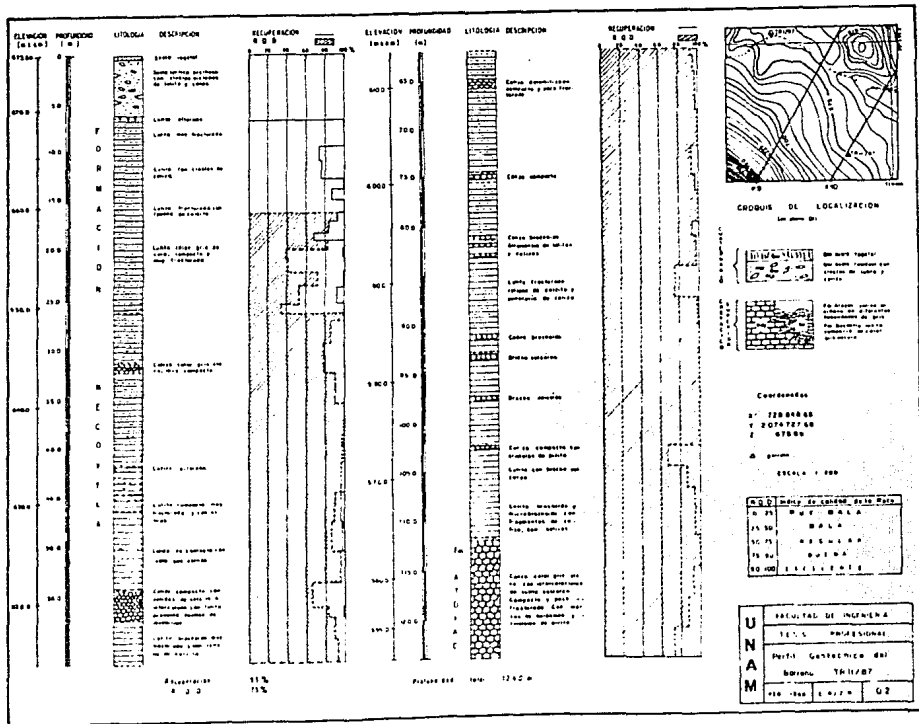
Trinchera: con una longitud de 32 m, 11.5 m de ancho y de 1 a 2 m de altura, en la cual se pudo observar el contacto interdigitado de las calizas y las lutitas, como se aprecia en la fotografía 09 y el plano 02. Las calizas presentan estrías, resultado del movimiento de las lutitas sobre las primeras, durante los esfuerzos al cierre del Cretácico.

TANQUE REGULADOR

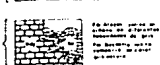
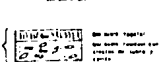


Fotografía 08.- Vista panorámica de la zona de Tanque Regulator.  
Obsérvese la abundante vegetación que cubre a las  
Tutitas de la Formación Necoxtla.





COORDENADAS DE LOCALIZACION



Coordenadas

N° 7200000  
E° 20707258  
Z 0700

A escala 1:200

ESCALA 1:200

ESCALA	PROFUNDIDAD	ESTRATIGRAFIA
0-25	0-25	Capa vegetal
25-50	25-50	Lodo estéril
50-75	50-75	Lodo con fragmentos de conchas
75-100	75-100	Lodo con fragmentos de conchas
100-125	100-125	Lodo con fragmentos de conchas
125-150	125-150	Lodo con fragmentos de conchas
150-175	150-175	Lodo con fragmentos de conchas
175-200	175-200	Lodo con fragmentos de conchas
200-225	200-225	Lodo con fragmentos de conchas
225-250	225-250	Lodo con fragmentos de conchas
250-275	250-275	Lodo con fragmentos de conchas
275-300	275-300	Lodo con fragmentos de conchas
300-325	300-325	Lodo con fragmentos de conchas
325-350	325-350	Lodo con fragmentos de conchas
350-375	350-375	Lodo con fragmentos de conchas
375-400	375-400	Lodo con fragmentos de conchas
400-425	400-425	Lodo con fragmentos de conchas
425-450	425-450	Lodo con fragmentos de conchas
450-475	450-475	Lodo con fragmentos de conchas
475-500	475-500	Lodo con fragmentos de conchas

UNAM	ESCUELA DE INGENIERIA
	TECNICO PROFESIONAL
	Nombre: GARCERAN DEL
	Borrador: TALIZ/87
110 - 100 - 100 - 100	



Fotografía 09.- Corte en trinchera 01, en el que se aprecia la lutita de la Fm. Necoxtla, la caliza de la Fm. Atoyac y de los suelos que las cubren discordantemente.

Pozo 1: ubicado entre las secciones X-9 y X-8 y de dimensiones 4 X 4 X 4 m. Presenta un suelo residual que cubre a una lutita sana. La permeabilidad es muy baja o nula. (Ver fotografía 10 y plano 02).

Pozo 2: localizado al W de la sección X-6, de dimensiones 2 X 4 X 4 m y que presenta un suelo vegetal sobre un suelo residual que cubre a las lutitas de la Fm. Necoxtla. (Ver plano 02).

Pozo 3: ubicado al SW de la sección X-18 parte alta, de dimensiones 4 x 3 x 2 m, en el que se aprecia la lutita sana en la base cubierta por un material de acarreo, con fragmentos subangulares y que a su vez está cubierto por una capa de suelo vegetal y residual. (Ver fotografía 04 y plano 02).

En las proximidades del barreno TR11/87, junto a la sección X-10, se presenta un pequeño manantial en el contacto del suelo vegetal-residual y la lutita, capa impermeable sobre la cual escurre el agua infiltrada de la zona. El gasto aproximado en este manantial es de 0.125 l/s. (Ver fotografía 11).

Así mismo, en la zona de Casa de Máquinas, a unos 250 m aguas arriba del frente del "Espolón" en la margen derecha del río Blanco, se tiene otro manantial que aparece en una caverna de dimensiones aproximadas 4 x 3 x 2 m, en las calizas cársticas de la Formación Guzmanitla y tiene un gasto estimado de 50 l/s. Ver fotografía 02.

De la zona de Tanque Regulador a la zona de Casa de Máquinas se levantaron las secciones X-14, X-15 y X-18, que cortan el trazo de la tubería forzada o Rampa, mediante las cuales se definieron las características geomecánicas de las rocas que exhiben un alto grado de carsticidad y fracturamiento. (Ver las secciones respectivas)

A lo largo de estas secciones se presentan extensos cantiles, que permitieron obtener la mayor parte de la información, la cual fue vaciada en una forma de descripción de discontinuidades adaptada por la compañía EXYCO, S. A., en base a la información que sugiere la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM) y que es la base para la evaluación de los macizos rocosos. Ver forma anexa.



Fotografía 10.- Pozo a cielo abierto 01 en el que se observa el contacto entre el suelo vegetal con el suelo residual. La lutita no se observa, por estar cubierta por agua.



Fotografía 11.- Manantial en el contacto del suelo y la lutita en la parte alta del Tanque egulador.





En la zona de casa de máquinas se definió el contacto de calizas depósito de talud-conglomerado a lo largo de todo el cantil que lo circunda. En dicha zona, en el frente NW del "Espolón", se pudo observar un fenómeno denominado Balanceo de Cabezas de Capa (ver fotografía 12) que es debido a la pérdida de soporte en la base de los estratos y a una relajación de los esfuerzos, lo que provoca que el frente de las capas tiendan a moverse hacia afuera, balanceándose por efecto de la gravedad y cayendo por volteo. Este fenómeno puede representar un serio problema de estabilidad de taludes, aun cuando los estratos tienen una inclinación favorable, pero con un fracturamiento desfavorable.

Finalmente, se realizó un levantamiento de discontinuidades en el "Espolón" observándose pequeñas fallas normales con desplazamiento de aproximadamente 30 cm y debido posiblemente también a la pérdida de un soporte en la base o bien a asentamientos diferenciales. (Ver fotografía no. 13).

#### B.- Exploraciones Indirectas.

Los trabajos realizados por la brigada de geofísica en esta zona de estudio y revisados en el presente trabajo, consistieron en 5 sondeos eléctricos verticales (SEV) en las secciones X-9, 10, 12, 14 y 15, así como también tendidos sísmicos de refracción a lo largo de las mismas secciones.

Los resultados de estos estudios se pueden apreciar en la tabla 01 de correlación geológico-geofísica y en las secciones geológicas respectivas. La realización de estos estudios fue de gran utilidad, ya que con ellos se pudieron definir algunos de los contactos de la caliza con la lutita; se determinó el espesor de la roca decomprimida y la presencia de zonas con alto grado de carsticidad y de fracturamiento.

Los datos obtenidos de estos trabajos se vaciaron en planos topográficos a detalle en cada una de las secciones levantadas.

\* Comprendido entre las secciones X-14 y X-15.



Fotografía 12.- Estratos de caliza de la Formación Guzmantla en el frente occidental del "Espolón". Nótese el fenómeno de Balanceo de Cabezas de Capa.



Fotografía 13.- Falla normal en calizas de la Fm. Guzmantla en el "Espolón" presentando un desplazamiento de 30 cm aproximadamente.

UNIDAD GEOFISICA	ESPESOR EN METROS	RESISTIVIDAD EN OHM-M	VEL. EN KM/S	CORRELACION GEOLOGICA	DESCRIPCION DE LA LITOLOGIA EN LAS ZONAS DE TANQUE REGULADOR Y CASA DE MAQUINAS.
U <sub>1</sub>	2-18	9 - 160	0.58-2.0	Roca decomprimida	Corresponde a suelo y roca decomprimida y en la parte alta a los depósitos de talud de caliza
U <sub>2</sub>	20-52	72 - 210	1.85-2.0	Conglomerado continental.	Conglomerado continental, exclusivo en parte baja de la sec. X-10. Roca de poca compactación.
U <sub>3a</sub>	22-15	14 - 95	2.8 - 2.9	Lutita y caliza arcillosa. (Fm. Necoxtla)	Corresponde a la lutita de la Formación Necoxtla. (subyace a la unidad U <sub>1</sub> ).
U <sub>3b</sub>	10-110	57 - 840	3.2 - 3.9	Caliza y caliza arcillosa. (Fm. Atoyac).	Corresponde a calizas de la Fm. Atoyac. Caliza ligeramente arcillosa. Las anomalías se deben posiblemente a la carsticidad.
U <sub>4b</sub>	Substrato	120 - 4400	4.1 - 4.2	Caliza arrecifal. Fm. Guzmantla.	Caliza de estratos gruesos a masivos, fracturada y cárstica. Formación Guzmantla.
U <sub>6</sub>	10-80	37 - 143	1.85- 4.1	Probable caliza fracturada con relleno de arcilla o lutitas y caliza. (Fm. Guzmantla)	Exclusivo del tanque regulador en parte baja de la sección X-10. Roca no identificada por ambigüedad de valores. Probablemente Fm. Guzmantla muy fracturada y alterada o caliza interestratificada con lutita.

Tabla 01.- Correlación Geológica-Geofísica.

# = L E Y E N D A =

C  
U  
A  
T  
E  
R  
N  
A  
R  
I  
O



SUELO VEGETAL Y SUELO RESIDUAL



DEPOSITO DE TALUD, FORMADO POR BLOQUES DE CALIZAS.



CONGLOMERADO CONSTITUIDO POR BLOQUES, CANTOS Y GUJARROS DE ROCA IGNEA MAL CEMENTADA CON MATRIZ ARENO-ARCILLOSA.

## DISCORDANCIA

C  
R  
E  
T  
A  
C  
I  
O  
S



Fm ATOYAC: CALIZA EN ESTRATOS MEDIOS A GRUESOS, LIGERAMENTE ARCILLOSA Y CON ABUNDANTE MICROFAUNA  
Fm. NECOXTLA. LUTITA PIZARROSA.



Fm GUZMANILLA: CALIZA EN ESTRATOS MEDIOS A MASIVOS, MUY FOSILIFERA CARSTICA Y FRACTURADA

# = SIMBOLOGIA =

BUZAMIENTO MEDIDO

FRACTURA

FALLA INVERSA

CONTACTO GEOLOGICO INFERIDO

CONTACTO GEOELECTRICO

CARSTICIDAD

INTERFASE RESISTIVA

RESISTIVIDAD EN OHM-M

VELOCIDAD DE ONDA COMPRESIONAL EN Km/seg

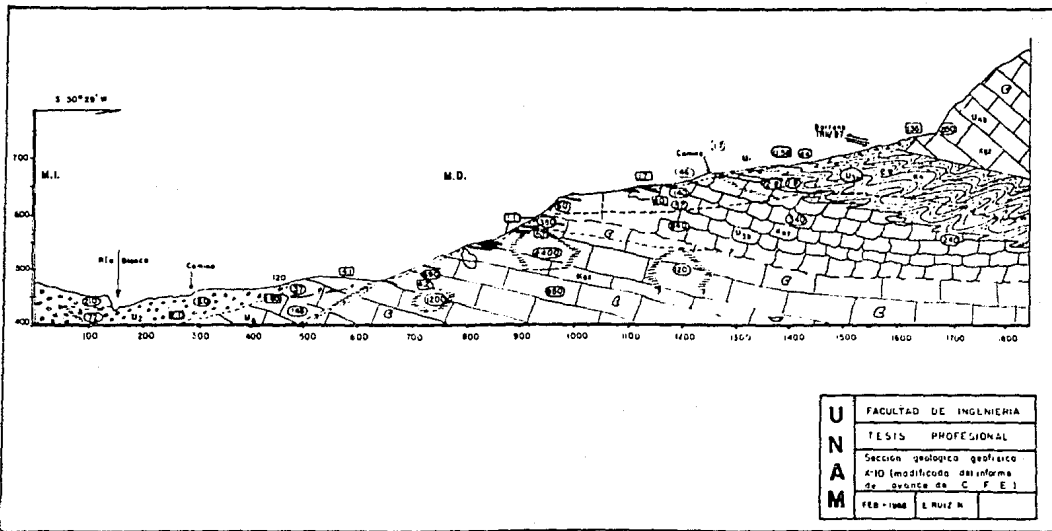
UNIDAD GEOFISICA

CRUCE DE SECCION

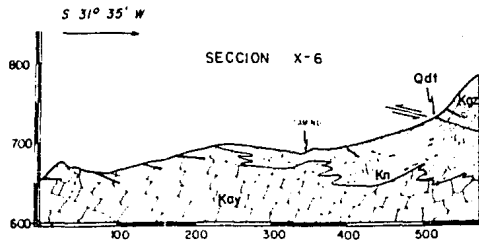
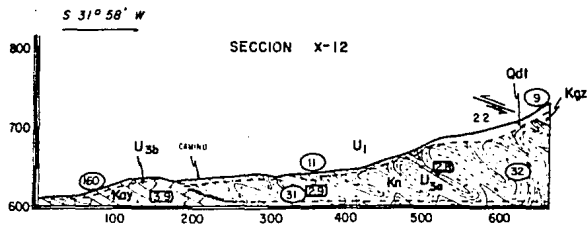
<b>U N A M</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	Simbología y leyenda para las secciones geológico-geofísicas.	
	FEB.-1988	E. RUIZ N.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

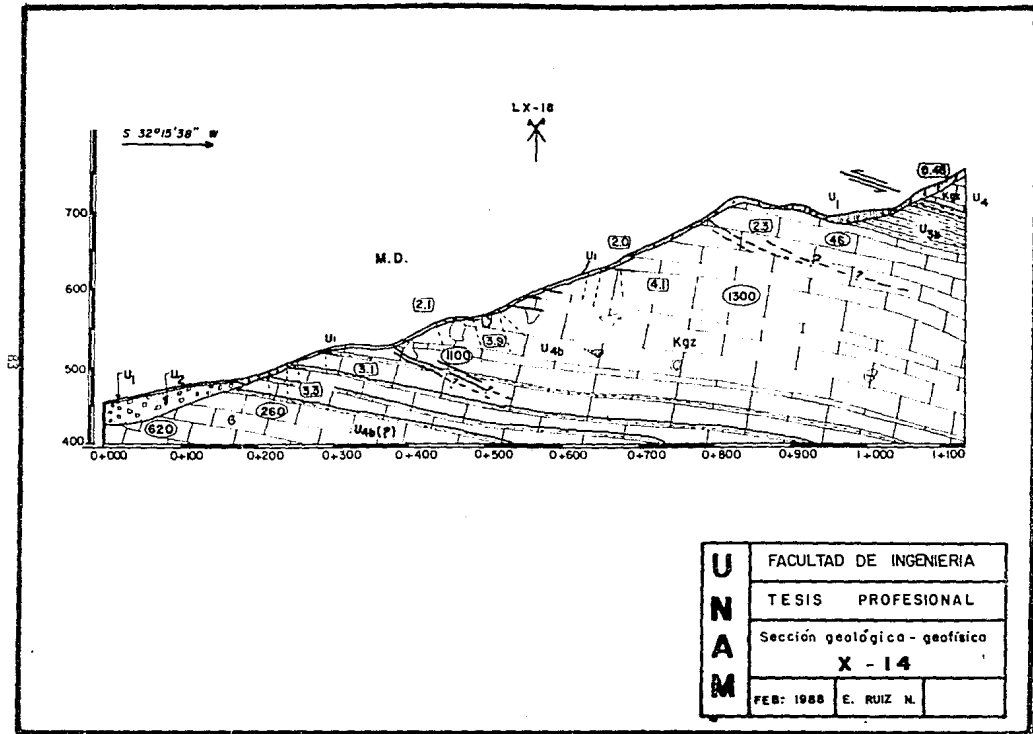


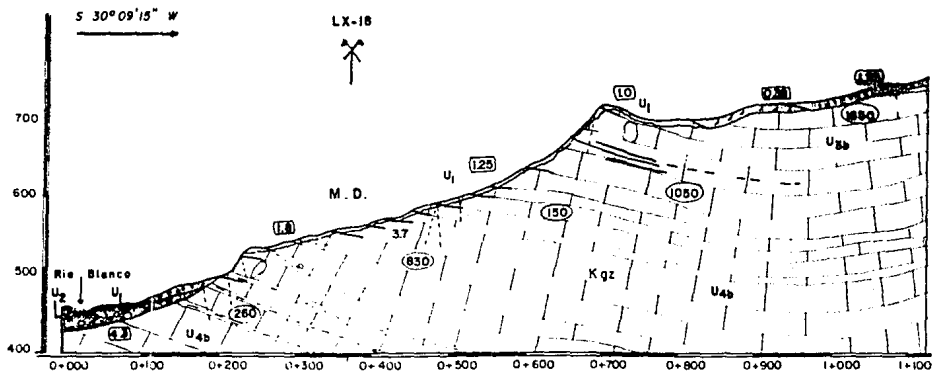




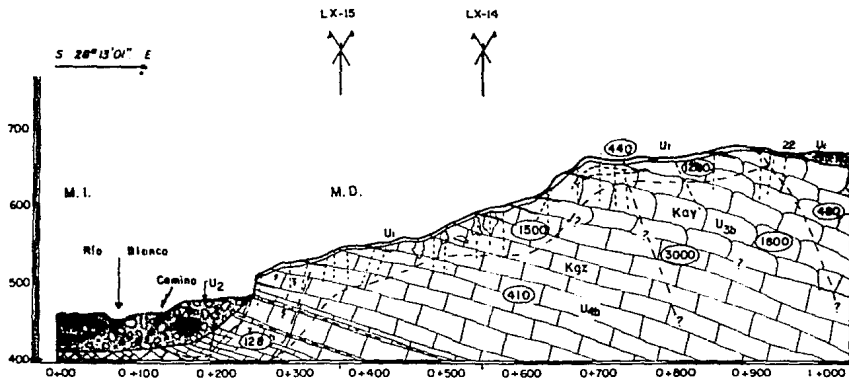


<b>U N A M</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	Secciones geológico geofisicas X-12 Y X-6 (tomadas del informe de C.F.E.)	
	FEB- 1988	E. RUIZ N.





<b>U N A M</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	Sección geológica-geofísica X-15	
	FEB.-1988	E. RUIZ N.



<b>U N A M</b>	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	Sección geológica-geofísica	
	X - 18	
	FEB: 1988	E. RUIZ M.

## VI.6.- EVALUACION DEL MACIZO ROCOSO.

Es de singular importancia en los proyectos de construcción de obras civiles conocer perfectamente las condiciones geológico-estructurales de los macizos rocosos en donde se pretenden emplazar dichas obras.

En la actualidad se cuenta con varios sistemas de clasificación de macizos rocosos, mediante los cuales se puede confrontar la problemática propia de un proyecto con la encontrada en otros. Dichos sistemas o métodos de clasificación sirven para que el proyectista pueda definir con una somera precisión las condiciones del macizo y de esta forma prever posibles problemas que acontecieron en otros proyectos con características similares.

Los sistemas con que se cuenta para hacer una evaluación de un macizo rocoso están enfocados principalmente a los estudios en excavaciones subterráneas; sin embargo, es posible hacer uso de estos sistemas para estudios de obras superficiales como en este caso.

De los métodos más útiles para la evaluación de los macizos rocosos se tiene el propuesto por Bieniawski (1976) del "South African Council for Scientific and Industrial Research"(CSIR) quien sugiere que se analicen los siguientes parámetros:

- |                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 1.- R.Q.D. (índice de calidad de la roca según Deere)                  | RQD |
| 2.- Resistencia de la roca inalterada                                  | Cj  |
| 3.- Espaciamiento de las fisuras                                       | Ej  |
| 4.- Estado de las fisuras (apertura, continuidad, rugosidad y relleno) | Rc  |
| 5.- Condiciones del agua subterránea                                   | Cw  |

Los cuales son sumados algebraicamente obteniendo un valor que indica un cierto estado del macizo.  $RMR = RQD + Cj + Ej + Rc + Cw$ .

Otro método útil y sencillo de aplicar es el propuesto por Barton, Lien y Lunde (1974) del "Norwegian Geotechnical Institute"(NGI) para determinar un índice de calidad del macizo en base a seis parámetros que nos proporcionan un valor numérico llamado índice "Q" que se define por:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

donde: RQD= índice de calidad de la roca según Deere,  
 J<sub>n</sub>= número de sistemas de fisuras,  
 J<sub>r</sub>= número de rugosidad de las fisuras,  
 J<sub>a</sub>= número de la alteración de las fisuras,  
 J<sub>w</sub>= factor de reducción por agua en las fisuras y  
 SRF= factor de reducción por esfuerzos.

Los cocientes del índice Q de éste sistema significan

$\frac{RQD}{J_n}$  = tamaño de los bloques

$\frac{J_r}{J_a}$  = resistencia al esfuerzo cortante entre los bloques

$\frac{J_w}{SRF}$  = esfuerzos activos.

Los valores de cada uno de éstos parámetros se obtienen de tablas que no se incluyen en el presente trabajo por no considerarse necesarias.

Además de estos dos métodos de clasificación de macizos rocosos, existen otros como el de Terzaghi y el de Stini y Lauffer los cuales no fueron utilizados para clasificar el macizo estudiado.

Con la información geológico-estructural recabada en el campo y su procesamiento en gabinete se pudo llegar a una evaluación de las condiciones ingenieriles del macizo rocoso.

Los diagramas estereográfico de fracturamiento y estratificación que se presentan en las figuras 18 y 20 permitieron definir los sistemas  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\delta$ , así como el plano preferencial de estratificación y mediante un análisis estadístico las características de las discontinuidades: espaciamiento, continuidad, rugosidad, resistencia e intemperismo del macizo, apertura, presencia de agua, tamaño y forma de los bloques y tipo de relleno entre las discontinuidades se determinó el estado del macizo rocoso. Los resultados obtenidos del análisis de las discontinuidades se presentan en la Tabla 02.

CARACTERÍSTICA	SISTEMA $\alpha$	SISTEMA $\beta$	SISTEMA $\delta$
Espaciamiento	Amplio 20-200 cm	Amplio a moderado 20 - 200 cm	Amplio 20-200 cm
Continuidad	Continua	Continua	Continua
Rugosidad	Plana rugosa	Plana rugosa Ondulada lisa	Plana rugosa Ondulada rugosa
Resistencia del macizo	Roca muy dura	Roca muy dura	Roca muy dura
Grado de intemperismo de macizo	La roca se presenta levemente intemperizada.	La roca se presenta levemente intemperizada.	La roca se presenta levemente intemperizada.
Apertura	Muy variable 0.1 - 10 mm	Muy variable 0.1 - 10 mm	Muy variable 0.25 - 25 mm
Presencia de agua	Se observa húmeda pero sin agua	Se observa húmeda pero sin agua	Se observa húmeda pero sin agua.
Tamaño de los bloques	Grandes	Grandes	Grandes
Forma de los bloques	Cúbicos	Cúbicos a masivos	Cúbicos a masivos
Tipo de relleno	Arcilloso	-----	-----

Tabla 02.- Cómputo de las características de las discontinuidades.

Con base en los resultados del cómputo de las características y con el apoyo de los métodos de clasificación antes mencionados, se determinó:

#### Clasificación CSIR

Parámetro	Calidad	Valor
1.- Resistencia del material inalterado	100-250 MPa	12 *
2.- R. Q. D.	70	14
3.- Espaciamiento de las fisura	20-200 cm	21
4.- Estado de las fisuras	Plana rugosa con poco relleno	12
5.- Agua subterránea	solamente húmeda	7

A estos cinco parámetros se les resta por ajuste en la valuación de la orientación de las fisura un determinado valor que obtenido de tablas corresponde en este caso a 10. De esta forma obtenemos que:

$$RMR = 12 + 14 + 21 + 12 + 7 - 10 = 56$$

De acuerdo a la relación propuesta por Bieniawski para clasificar a los macizos rocosos que se presenta a continuación, el macizo estudiado queda clasificado como de regular calidad.

Valuación	100-81	80-61	60-41	40-21	20
Clasificación	I	II	III	IV	V
Calidad	Muy buena roca	Buena roca	Regular roca	Mala roca	Muy mala roca

Los valores de algunos de los parámetros considerados fueron arbitrariamente aumentados o disminuidos por no ajustarse al valor propuesto ya que se encuentran entre dos intervalos.

\* Este dato fue estimado en base a una relación que existe entre el número de golpes necesarios que se deben de dar a una roca para fracturarla. No se han realizado pruebas de laboratorio.

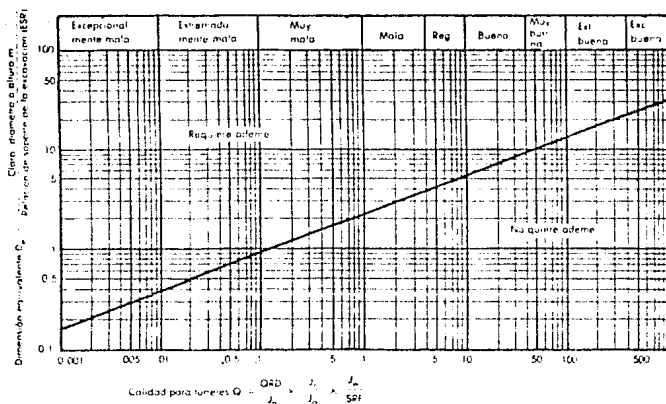


## Clasificación NGI

Parámetros	Calidad	Valor
1.- R. Q. D.	70%	70
2.- Número de sistemas de fracturas	3	9
3.- Número de rugosidad de las fisuras	Plana rugosa onculada rugosa	3
4.- Número de alteración de las juntas	Paredes ligera mente alteradas	2
5.- Factor de reducción por agua en las fisuras.	Húmeda pero sin agua visible	1.0
6.- Factor de reducción de esfuerzos	Roca decomprimida en superficie	2.5

$$Q = \frac{70}{9} \times \frac{3}{2} \times \frac{1.0}{2.5} = 4.66$$

de esta forma el macizo rocoso queda clasificado como de mala a regular calidad, de acuerdo a la escala propuesta por los autores y que se presenta a continuación.



Según se puede observar, aparentemente el macizo rocoso se considera como regular calidad; sin embargo, es necesario tomar en consideración el alto grado de disolución que se observa en algunas zonas comprendidas en el trazo de la rampa, lo cual puede llegar a disminuir considerablemente la calidad del macizo, aún cuando se contempló este fenómeno para la clasificación. Así mismo, pese a que la dirección preferencial de los estratos no resulta desfavorable, la presencia de los tres sistemas verticales de fracturamiento representan un factor de consideración para la estabilidad de taludes en puntos críticos, cantiles, aunado esto al fenómeno de "balanceo de cabezas de capa" que ha dejado como evidencia un amplio depósito de talud de bloques de grandes dimensiones en la base del cantil próximo al sitio de ubicación de la Casa de Máquinas.

Ahora bien, estos métodos de clasificación de macizos rocosos proponen además distintas soluciones para cada una de las categorías indicadas, enfocándose dichas soluciones a problemas en obras subterráneas; sin embargo, de acuerdo al uso de estos métodos en algunas obras de tipo superficial es posible proponer soluciones, como se podrá ver más adelante.

## VI.7.- PROBLEMAS PRINCIPALES.

Las condiciones geomecánicas de las rocas que se observan en las zonas de estudio aparentemente son de regular calidad, según los resultados obtenidos de los análisis anteriores.

La calidad del macizo rocoso se ve disminuido, como se dijo anteriormente, a causa de dos factores principales: por un lado destaca el grado de disolución que se presenta en algunas zonas, observándose en ocasiones cavernas que van desde una oquedad en el piso o en las paredes de los cantiles, hasta cavidades por las que puede pasar una persona con facilidad. La existencia de dichas cavernas implica una disminución en la resistencia a la carga por parte de las calizas de la Formación Guzmantla, sugiriendo un posible colapso de las rocas decomprimidas al verse sometidas a una carga excesiva, como lo es la tubería a presión, y de esta forma llegar a causar dificultades en la construcción y operación de las obras; por otro lado, la existencia de los tres sistemas verticales de fracturamiento, que han dejado como evidencia los enormes cantiles, resultan un factor importante a considerar, ya que pueden llegar a provocar el desprendimiento de bloques por volteo en las proximidades de las obras y dañar seriamente a las mismas.

Es importante mencionar que estos dos factores se conjugan y se complementan, ya que es precisamente por las zonas fracturadas en donde se observa el mayor número de cavidades, las cuales se presentan generalmente verticales; sin embargo, se infiere la presencia de otras cavernas a profundidad.

**VII. - CONCLUSIONES**

**Y**

**RECOMENDACIONES**

"Tener conciencia de la propia  
ignorancia es un gran paso ha  
cia el conocimiento."

Benjamín Disraeli

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La determinación de las características ingenieriles de un macizo rocoso en donde se pretenda emplazar una obra civil es de vital importancia para la seguridad de la misma y para garantizar un óptimo funcionamiento.

Con base en las exploraciones realizadas hasta la fecha, se puede anticipar que la zona estudiada presenta condiciones favorables para la construcción de las obras civiles; sin embargo es necesario tomar en cuenta que existen zonas como en el caso de la Rampa, en los cantiles, que se pueden considerar de debilidad y que deberán ser estudiados con mayor detalle, a fin de definir con precisión el trazo más adecuado de la tubería forzada, así como también determinar en que tramos es más conveniente llevar la tubería superficialmente o bien en forma subterránea.

Las condiciones topográficas existentes en el trazo propuesto no se considera que representen un serio problema, ya que su solución consiste en una disminución del grado de inclinación de los cantiles mejorando de esta forma su estabilidad. Para ello es recomendable la excavación de 3 socavones de aproximadamente 10 metros de longitud, para verificar si las condiciones de disolución y fracturamiento se continúan a profundidad. De la misma forma se podrá comprobar la presencia del fenómeno de "Balanceo de cabezas de capa" que se observa en la zona del "Espolón". Dichos socavones podrían ser utilizados posteriormente como guías del trazo de la tubería y se sugiere sean excavados en los cadenamientos 0+250, 0+650 y 0+500, que corresponden a las zonas más acantiladas. Ver sección X-18.

La realización de perforaciones con recuperación de núcleos podría ser de utilidad para conocer los cambios litológicos a profundidad en la rampa; sin embargo las dificultades para transportar la maquinaria hasta esta zona y -- por consiguiente un incremento en los costos de exploración desechan esta posibilidad no indispensable, que puede ser sustituida por levantamientos detallados en las paredes de los cantiles.

La presencia de pequeños hundimientos en la zona de Rampa han de ser tomados en consideración mapeando y midiendo cada uno de éstos, con el fin de delimitar zonas de mayor debilidad por disolución.

Ahora bien, en cuanto al Tanque Regulador, que se pretende emplazar sobre las lutitas de la Formación Necoxtla, aún cuando las observaciones realizadas en los pozos a cielo abierto nos indican una baja o nula permeabilidad, es conveniente realizar pruebas de permeabilidad Lugeon en los pozos TRI/87 y TRII/87, a fin de conocer con mayor precisión la permeabilidad de las rocas y con ello definir el posible tratamiento al piso del tanque, si así lo requiere. Para la realización de las pruebas será necesario probar solamente los primeros metros, ya que el tirante de agua será solamente de unos 15-20 m, lo que representa una carga de presión de 1 a 2 kg/cm<sup>2</sup>.

Es también recomendable llevar a cabo 15 ó 20 perforaciones con barreno helicoidal en las zonas periféricas de lo que será en Tanque Regulador para definir los espesores de suelo y los posibles contactos entre las formaciones Necoxtla y Atoyac.

Para la zona de Casa de Máquinas es necesario determinar con una buena precisión el espesor y la extensión del depósito de talud y del conglomerado continental, así como también realizar perforaciones con recuperación de núcleos en las proximidades del cantil.

Ya que se proyecta emplazar la Casa de Máquinas sobre el conglomerado, es conveniente realizar pruebas de mecánica de rocas sobre dicho material. Estas deberán ser preferentemente de campo, a fin de tener resultados más reales, ya que las pruebas de laboratorio serían muy relativas, dada la heterogeneidad del conglomerado.

De la misma forma es conveniente, en una etapa de factibilidad, realizar en el frente del cantil de Casa de Máquinas una retícula de geofísica (sísmica y eléctrica) con espaciamiento de aproximadamente 50 metros entre línea y línea para conseguir una buena resolución. La realización de esta retícula proporcionará información de calidad de roca, así como también espesores y contactos entre las distintas unidades geológicas. Se deberá de tomar en consideración para esta retícula el relieve topográfico, sugiriendo se realicen los tendidos, paralelos a las curvas de nivel para evitar efectos extraños.

Finalmente, considerando que se trata de un estudio de prefactibilidad, en el cual no se cuenta con toda la información suficiente, se recomienda para la zona de Rampa realizar cortes en el trazo de la conducción y construir soportes en forma de silla de caballo para darle estabilidad a la tubería.

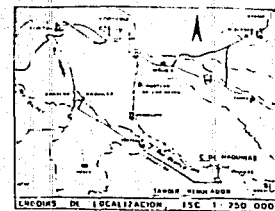
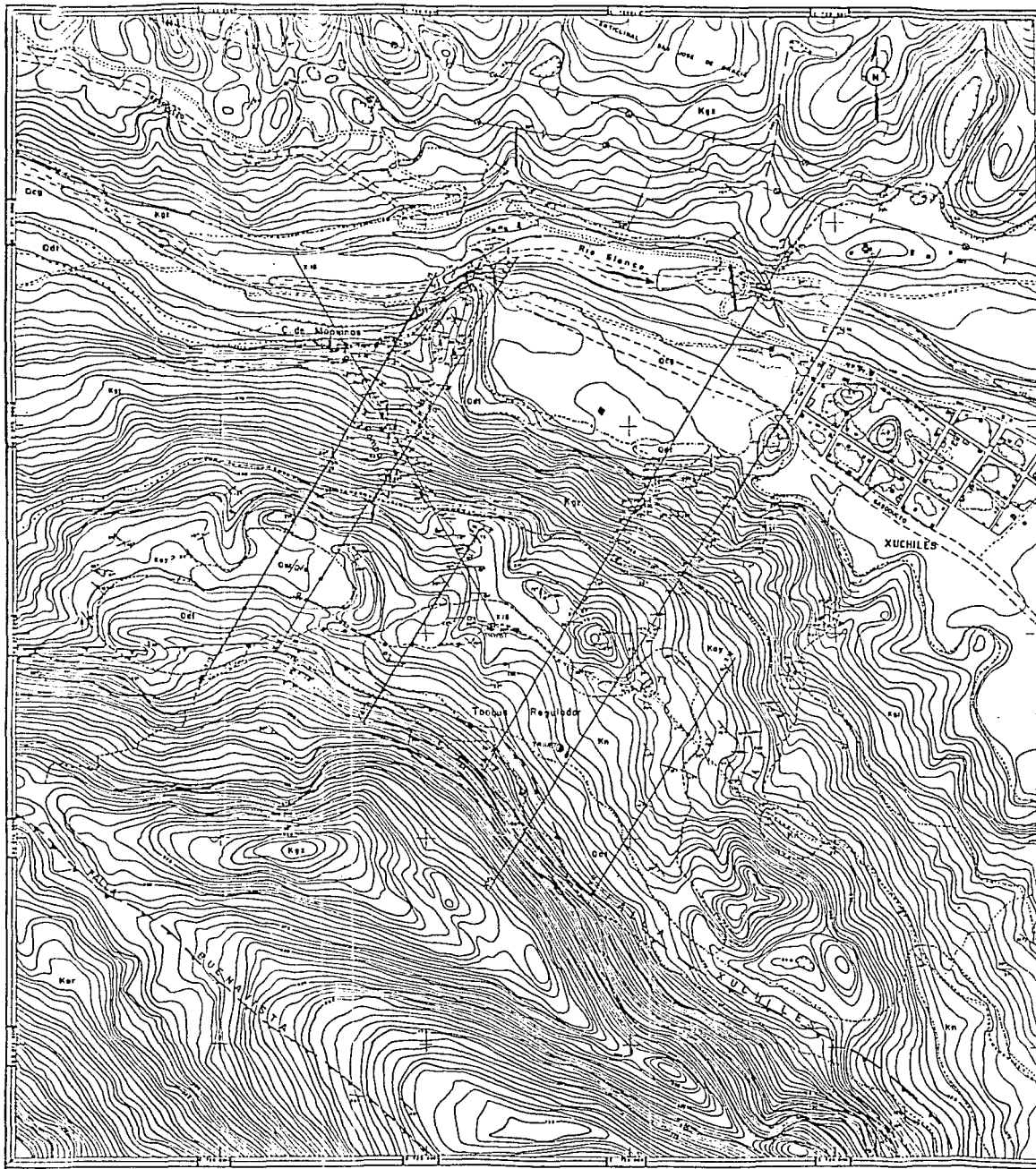
## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- 1.- Auvinet G. & Hiriart G., 1980; AN ARTIFICIAL COOLING POND FOR THE RIO ESCONDIDO COAL FIRED POWER PLANT.
- 2.- Carrasco V.B., 1974; SEDIMENTOLOGIA DEL BORDE OCCIDENTAL DE LA PLATAFORMA DE CORDOBA, IMP.
- 3.- C. F. E., 1979; MANUAL DE DISEÑO DE OBRAS CIVILES. GEOTECNIA. B.3.2.
- 4.- 1987; INFORME DE AVANCE DE LOS ESTUDIOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL P.H. XUCHILES, EDO. DE VERACRUZ. Inédito.
- 5.- 1987; ESTUDIOS GEOFISICOS EN EL 1er. SEMESTRE DE 1987 PARA LA PREFACTIBILIDAD DEL P.H. XUCHILES. Elaborado por Ing. Manuel Díaz M. e Ing. Marino Cruz L.
- 6.- 1987; INFORME DE AVANCE DE LOS TRABAJOS GEOLOGICOS DE PREFACTIBILIDAD EN EL P.H. Nvo. TUXPANGO, Ver. Elaborado por Ing. Martínez P.V. e Ing. Martínez R.E. Inedito.
- 7.- Corrales, I. et al, 1984; ESTRATIGRAFIA. Ed. Omega, España.
- 8.- Derrau M., 1983; GEOMORFOLOGIA. Ed. Ariel Geografía. Barcelona.
- 9.- González A.J., 1976; RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EXPLORACION DE LA PLATAFORMA DE CORDOBA Y PRINCIPALES CAMPOS PRODUCTORES. Bol. Soc. Geol. Mex. Tomo XXXVII, no. 2, pp 53-55.
- 10.- Griffiths D.H. & King R.F., 1972; GEOFISICA APLICADA PARA INGENIEROS Y GEOLOGOS. Ed. Paraninfo, España.
- 11.- Hoek E. & Bray J.W., 1977; ROCK SLOPE ENGINEERING. Institution of Mining and Metallurgy, London. 364 pp.
- 12.- 1985; EXCAVACIONES SUBTERRANEAS EN ROCA. Mc Graw Hill Editorial.
- 13.- INEGI, 1984; CARTA GEOLOGICA "ORIZABA", E14-6, esc. 1:250,000.
- 14.- 1986; "VERACRUZ", CUADERNO DE INFORMACION PARA LA PLANEACION.
- 15.- ISRM, 1975; RECOMENDATIONS ON SITE INVESTIGATION TECHNIQUES. Final report.
- 16.- Legget R.F. & Karrow P.F., 1986; GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA CIVIL. McGraw Hill editorial, México.



## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA (Continuación)

- 17.- López R.E., 1982; GEOLOGIA DE MEXICO. Tomo III, pp 106-138. Edición escolar. 3a. edición.
- 18.- Marsal R. y Resendiz N.D., 1979; PRESAS DE TIERRA Y ENROCAMIENTO. Editorial Limusa. 1a. reimpresión. pp. 35-76
- 19.- Mena R.E., 1960; EL JURASICO MARINO DE LA REGION DE CORDOBA. Bol. AMPG. Vol. XIV, nos. 7 y 8.
- 20.- Orantes L.E., 1984; ESTUDIO GEOTECNICO DEL P.H. TUXPANGO, EDO. DE VERACRUZ. TESIS PROFESIONAL.
- 21.- RAGAN D., 1980; GEOLOGIA ESTRUCTURAL. Ed. Omega, S.A. España.
- 22.- Raisz E., 1964; LANDFORMS OF MEXICO. PREPARED FOR THE GEOGRAPHY BRANCH OF THE OFFICE OF NAVAL RESEARCH, 2nd. corrected edition. Cambridge, Mass.
- 23.- Razo M.A., 1964; ESTUDIO GEOLOGICO DEL P.H. RIO BLANCO, VER. C.F.E. Inédito.
- 24.- Rosas L.J.L., 1986; DESCRIPCION DE MACIZOS ROCOSOS. SMMR.
- 25.- Ruiz V.M., 1956; LES ACTIVITES DU GEOLOGUE CONCERNANT LA CONSTRUCTION DE BARRAGES, TUNNELS ET ROUTES. Nancy, France. Tesis Doctoral.
- 26.- Stagg K.G. & Zienkiewics O.C., 1979; ROCK MECHANICS IN ENGINEERING PRACTICE. John Wiley & Sons. Cap. 1 y 2.
- 27.- Viniestra O.F., 1965; GEOLOGIA DEL MACIZO DE TEZIUTLAN Y LA CUENCA CENOZOICA DE VERACRUZ. Bol. AMPG. vol. XVII (7-12).
- 28.- 1966; PALEO GEOGRAFIA Y TECTONICA DEL MESOZOICO EN LA PROVINCIA DE LA SIERRA MADRE Y MACIZO DE TEZIUTLAN. Bol. AMPG. Vol. XVIII (7-8).
- 29.- Vázquez P.J.A., 1973; ESTUDIO GEOLOGICO DE DETALLE ESTRATIGRAFICO DEL AREA DE ZONGOLICA, VER. Tesis Profesional. IPN-ESIA.



### LEYENDA

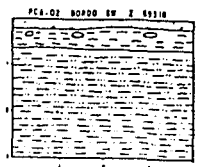
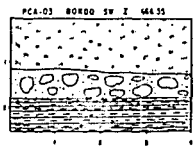
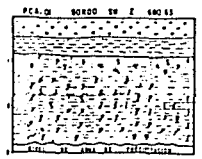
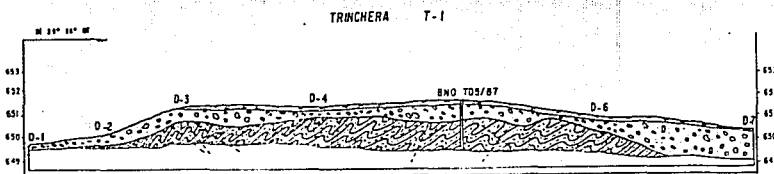
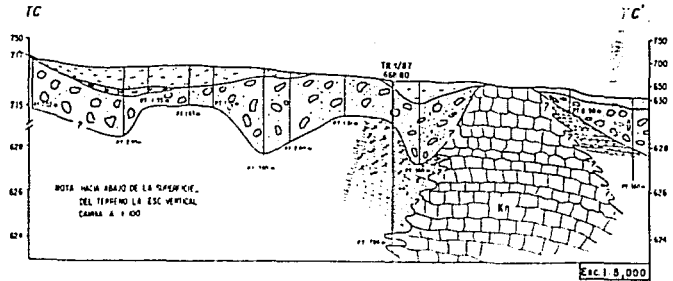
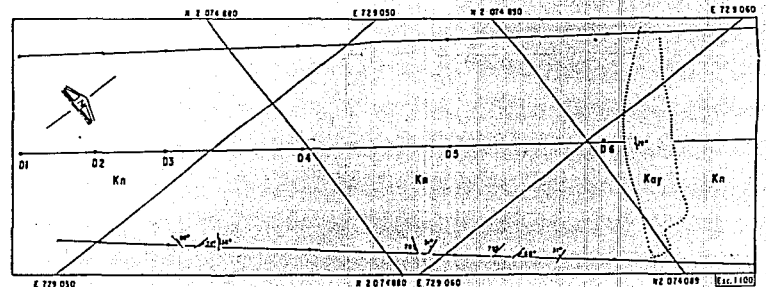
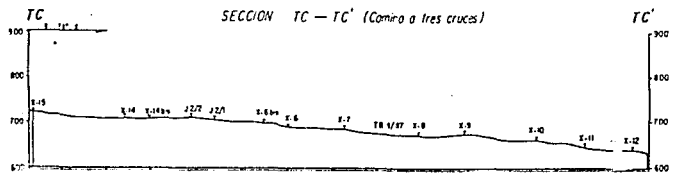
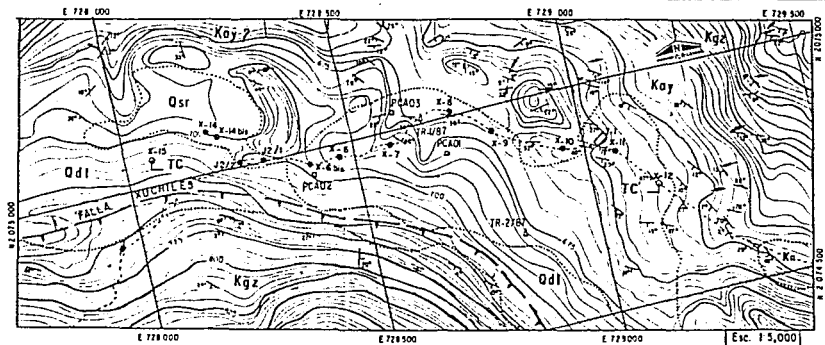
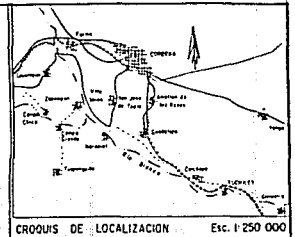
- C** Contorno de 100 metros  
**A** Arroyo de 100 metros  
**T** Terreno de 100 metros  
**R** Río de 100 metros  
**M** Camino de 100 metros  
**A** Asfalto de 100 metros  
**R** Rampa de 100 metros  
**I** Inclinación de 100 metros  
**D** Dique de 100 metros  
**C** Camino de 100 metros  
**R** Rampa de 100 metros  
**E** Estación de 100 metros  
**T** Terreno de 100 metros  
**A** Asfalto de 100 metros  
**C** Camino de 100 metros  
**I** Inclinación de 100 metros  
**D** Dique de 100 metros

### SIMBOLOGIA

- |                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| <b>Topográfica</b>        | <b>Geológica</b>          |
| Contorno de 100 metros    | Camino principal          |
| Arroyo de 100 metros      | Arroyo de 100 metros      |
| Terreno de 100 metros     | Terreno de 100 metros     |
| Río de 100 metros         | Río de 100 metros         |
| Camino de 100 metros      | Camino de 100 metros      |
| Asfalto de 100 metros     | Asfalto de 100 metros     |
| Rampa de 100 metros       | Rampa de 100 metros       |
| Inclinación de 100 metros | Inclinación de 100 metros |
| Dique de 100 metros       | Dique de 100 metros       |
| Estación de 100 metros    | Estación de 100 metros    |
| Terreno de 100 metros     | Terreno de 100 metros     |
| Asfalto de 100 metros     | Asfalto de 100 metros     |
| Camino de 100 metros      | Camino de 100 metros      |
| Inclinación de 100 metros | Inclinación de 100 metros |
| Dique de 100 metros       | Dique de 100 metros       |

ESCALA 1:5,000

**UNAM** FACULTAD DE INGENIERIA  
 TESIS PROFESIONAL  
 Plano geológico de las zonas de  
 Tanque Regulador, Rampa y Casa de  
 Máquinas del P.H. Xuchiles, Ver.  
 FEB 1988 E RUIZ N Plano 01

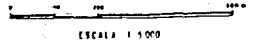


LEYENDA

- Suelo vegetal
- Suelo residual
- Material de construcción
- Muro de ladrillo, constituido por bloques angulosos de caliz
- Fm. Neocomia Luján color gris, estratos delgados, compacto
- Fm. Alameda color pardo claro a blanquecino, estratos medianos a gruesos, ligeramente arenosos
- Fm. Guayama color café claro fino a blanquecino, estratos gruesos arenosos, compacto
- Suelo arenoso-arcilloso
- Suelo limo-arcilloso
- Lodo fino arenoso de origen volcánico
- Suelo limo arenoso con abundante presencia de turba

SIMBOLOGIA

- E.E. DE COCOMPANZA
- BRECHA
- CONCRETO GEOLOGICO
- RUIDO Y ECHADO DE CAPA
- DIRECCION E INCLINACION DE FRACTURA
- FRACTURA VERTICAL
- FRACTURA EN SECCION
- FRACTURA INCLINADA
- VEREDA
- BARRERO CON PEDREGUEROS DE MUELLE
- PISO A CIELO ABIERTO
- TRONCHERA
- BARRERO EN SECCION
- LINEA DE SECCION



UNAM FACULTAD DE INGENIERIA  
TESIS PROFESIONAL  
Plano de reconocimiento geológico  
de la zona de Toluca - Toluca  
Elaborado por P.M. Escobar, Ing.  
FEB. 1988 E. M. P. H. Plano 02