



*Universidad Nacional Autónoma
de México*

Facultad de Ingeniería

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL P. H.
SAN JUAN TETELCINGO, GRO.

T E S I S

Que Para Obtener el título de :

INGENIERO GEOLOGO

P R E S E N T A N:

AGUILAR PEREZ LUIS ANTONIO

PALACIOS GONZALEZ EDUARDO

México, D. F.

1983



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

P R O L O G O

La generación de energía eléctrica a partir de la realización de obras de infraestructura en Ingeniería Civil, tales como las presas, constituyen una forma práctica y económica de satisfacer una de las necesidades básicas de cualquier país en desarrollo.

En el caso de México el rápido crecimiento demográfico ha determinado la necesidad de acelerar la construcción de estas obras. Una de ellas la constituye el P.H. Sn. Juan Tetelcingo, que a la par con otros proyectos, generarán energía, aprovechando el caudal de uno de los ríos más importantes de México, como lo es el río Balsas.

Los estudios tanto geológicos como geotécnicos son de vital importancia para llevar a cabo una obra de tal magnitud, ya que a partir de los mismos, es posible determinar la viabilidad de construcción en determinado sitio, así como también predecir las zonas que presentarán problemas durante la construcción en caso de llevarla a cabo, y a su vez esto dará opción a prevenir y tomar las medidas de seguridad necesarias.

Una de las áreas que podrían considerarse de mayor aplicación práctica de la geología, la constituye la geotécnica, y en la medida en que se le ha dado un carácter cada vez más cuantitativo ha cobrado una gran importancia para la realización de obras civiles en general. Esta importancia se refleja en el hecho de que el no realizar los correspondientes estudios exploratorios en tales obras, trae como consecuencia grandes pérdidas de tiempo y dinero.

I N D I C E

	PAG.
CAPITULO I INTRODUCCION	1
Resumen	1
Objetivos	3
Método de trabajo	3
CAPITULO II GENERALIDADES	5
Estudios previos	5
Situación geográfica y vías de comunicación	5
Clima y vegetación	6
Cultura y economía	8
Fisiografía	10
Geomorfología	12
CAPITULO III GEOLOGIA REGIONAL	17
Estratigrafía	17
Formación Morelos	18
Formación Cuautla	20
Formación Mexcala	22
Formación Balsas	27
Miembro Volcanoclástico Tetelcingo	27
Formación Oapan	30
Depósitos Continentales	32
Geología Estructural	34
Geología Histórica	36
CAPITULO IV SISMICIDAD	39
Actividad sísmica en el Estado de Guerrero	39
Riesgo sísmico	41
CAPITULO V GEOLOGIA DEL SITIO	44
Descripción de los sitios estudiados	44
Litología	45
Estructuras y discontinuidades	47
Permeabilidad y condiciones hidrogeológicas	49

	PAG.
Intemperismo	51
Clasificación Geomecánica del macizo rocoso	52
CAPITULO VI ASPECTOS GEOTECNICOS	61
Condiciones geológicas en la región de embalse	61
Carta de densidad de disección	61
Carta de pendientes	63
Carta de procesos geomorfológicos	64
Condiciones geotécnicas de las obras	66
Alternativa a la elevación 650 m.s.n.m.	67
Obra de desvío	70
Cortina	72
Obra de control y excedencias	74
Atagufa aguas arriba	75
Atagufa aguas abajo	76
Planta hidroeléctrica	76
Alternativa a la elevación 597 m.s.n.m.	77
Canal de desvío	77
Atagufas	78
Cortina	79
Obra de control y excedencias	81
Obras para generación	83
Bancos de materiales	84
CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	90
Bibliografía y Referencias	94

INDICE DE FIGURAS

	PAG.	
Fig. 2.1	Plano de localización del área de estudio	6
Fig. 2.2	Mapa de Isoyetas e Isotermas	7
Fig. 2.3	Mapa de las provincias fisiográficas del- centro y sur de México (Raisz 1959).	11
Fig. 2.4	Mapa de la red hidrológica de la cuenca - del alto Rfo Balsas.	12
Fig. 3.1	Plano de Geología Regional del P.H. Sn. - Juan Tetelcingo, Guerrero.	18
Fig. 3.2	Columna Estratigráfica del área.	19
Fig. 3.3	Cuadro de correlación Estratigráfica.	22
Fig. 4.1	Mapa de macrozonas sísmicas del mundo (Esteva, 1968).	39
Fig. 4.2	Carta sísmica de la República Mexicana (Figueroa, 1959).	39
Fig. 4.3	Mapa de zonas sísmicas de México.	39
Fig. 4.4	Localización de los epicentros de los tem- blores en la región circundante al P.H. - Sn. Juan Tetelcingo (Maycotte, 1981).	40
Figs.4.5	Mapas de regionalización sísmica.	42
Fig. 5.1	Localización de las alternativas en el - P.H. Sn. Juan Tetelcingo.	44
Fig. 5,2	Diagrama de frecuencias del fracturamien- to en la boquilla, margen derecha Forma- ción Mexcala.	48
Fig. 5.3	Diagrama de frecuencias de fracturamiento en la boquilla, margen izquierda Forma- ción Mexcala.	48
Fig. 5.4	Diagrama de frecuencias del fracturamien- to en la zona de la boquilla (Formación - Mexcala, margen izquierda y derecha).	48
Fig. 5.5	Diagrama de frecuencias del fracturamien- to de las rocas del miembro Volcanoclásti- co Tetelcingo.	48

	PAG.	
Fig. 6.1	Carta de pendientes.	64
Fig. 6.2	Carta de procesos Geomorfológicos	66
Fig. 6.3	Plano que muestra la disposición de las - obras civiles para la alternativa 650 - m.s.n.m.	70
Fig. 6.4	Sección a través de la obra de desvío.	71
Fig. 6.5	Sección longitudinal al eje de la cortina.	73
Fig. 6.6	Sección a través del vertedor.	75
Fig. 6.7	Sección transversal a la cortina y atagufas	75
Fig. 6.8	Sección a través de la obra de toma, casa- de máquinas y desfuegos.	76
Fig. 6.9	Disposición de las obras civiles para la - alternativa 597 m.s.n.m.	77
Fig. 6.10	Secciones longitudinales a través del ca-- nal de desvío y de la obra de control y - excedencias.	78
Fig. 6.11	Sección longitudinal a través del vertedor margen derecha y sección transversal a la- cortina y atagufas.	79
Fig. 6.12	Localización de bancos de materiales.	85
Anexo 1	Plano de zonificación del macizo rocoso - para la zona de la boquilla de la alterna- tiva número 4.	
Anexo 2	Zonificación de la permeabilidad para la - zona del vaso del P.H. Sn. Juan Tetelcingo.	

CAPITULO IINTRODUCCIONRESUMEN:

El área estudiada se encuentra localizada en la cuenca del río Balsas, en la parte centroseptentrional del estado de Guerrero. De acuerdo a Raisz (1959) se encuentra en la subprovincia fisiográfica de la cuenca Balsas Mexcala, esta subprovincia se encuentra incluida dentro de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur. Esta región está ubicada principalmente en un terreno accidentado donde solo el 6 por ciento de la extensión total corresponde a terreno plano, el elemento más importante de la red hidrológica lo constituye el río Balsas.

En términos generales, se puede aseverar que en la mayor parte de la región el clima es cálido subhúmedo con lluvias en el verano.

En la zona de estudio se pueden diferenciar dos secuencias estratigráficas, una de origen sedimentario, constituida por las formaciones Morelos, Cuautla y Mexcala, la segunda de origen continental, compuesta por el miembro volcanoclástico Tetelcingo, la Formación Oapan y otros depósitos más recientes como material de talud, aluvión, etc.

La formación más antigua en la zona es la Formación Morelos, constituida por una interestratificación de calizas y dolomias, con una edad que abarca desde el Albiano medio al Cenomaniano temprano. La formación suprayacente es la Formación Cuautla quien Fries (1960) le asigna una edad Turoniana, constituida litológicamente por calcarenitas y calcilutitas de color gris oscuro-claro, presenta estilolitas, nodulos de pedernal y tiene horizontes de lutitas laminares. Sobre la Formación Cuautla descansa la Formación Mexcala, la cual consta de calcarenitas, lu-

titas calcáreas, limolitas, areniscas y en algunas partes conglomerado de grano fino, su edad va del final del Turoniano en la parte basal mientras que en la parte superior Fries (op. cit.)-plantea como probable que no sea más reciente que el Santoniano.

Sobre la Formación Mexcala descansando en discordancia angular se encuentra el miembro volcanoclástico Tetelcingo de la Formación Balsas, cuya litología está constituida por tobas, tobas brechoides, brechas tobáceas y brechas, la edad del miembro oscila entre el Maestrichtiano y el Eoceno.

La Formación Oapan constituida por tobas y areniscas tobáceas con intercalaciones y vetas de yeso, se encuentra descansando discordantemente sobre el miembro volcanoclástico Tetelcingo, finalmente los depósitos más recientes del área son depósitos de terraza, aluvión, depósitos de talud y suelos. La Orogenia Laramide ejerció esfuerzos compresionales que actuaron desde el poniente hacia el oriente y afectó a la región en el período Campaniano-Paleoceno.

El estado de Guerrero es una zona de gran actividad sísmica, considerando relacionada la sismicidad a la subducción a lo largo de la fosa México-Mesoamericana.

En el eje No. 4 las rocas aflorantes son areniscas y lutitas de la Formación Mexcala y las rocas del miembro volcanoclástico Tetelcingo.

De acuerdo a la clasificación geomecánica de Bieniawski, se determinaron cuatro unidades geotécnicas, de las cuales la que resultó de mejor calidad de roca es la U_1 que consiste de estratos gruesos (hasta 3 m) de arenisca, con intercalaciones de lutita de 15 cm. de espesor en promedio y es sobre ésta donde se alojaron la mayoría de las obras civiles.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente trabajo fueron elaborados en base a las necesidades que se presentaron en el proyecto hidroeléctrico - Sn. Juan Tetelcingo, tales objetivos son los siguientes:

- a) Realizar un análisis morfométrico en la zona de embalse para determinar las zonas potenciales de deslizamiento y elaborar una zonificación de la permeabilidad en el mismo.
- b) Discutir la sismicidad en el estado de Guerrero y plantear los valores de riesgo sísmico en la zona del P.H. San Juan - Tetelcingo.
- c) Para la zona del eje cuatro, zonificar el macizo rocoso en cuanto a la calidad de roca y discutir las dos alternativas más viables de construcción.

METODO DE TRABAJO

A fin de lograr los objetivos planteados, se elaboró un método de trabajo, el cual consistió primeramente de recabar la información disponible de la zona en estudio, así como discutirla y asimilarla; posteriormente se realizó un reconocimiento tanto en el sitio número cuatro como en la zona de embalse, a la par se elaboró el análisis morfométrico con cartas topográficas con escala 1:50 000 elaboradas por DETENAL y fotografías aéreas de la zona de embalse, contando con la asesoría del Dr. José Lugo-Hubp para la realización de este análisis.

Posteriormente se recopiló toda la información sobre sismicidad en el estado de Guerrero y se plantearon los valores de riesgo sísmico.

En base a los parámetros de la clasificación geomecánica de Bieniawski se procedió a la elaboración de la zonificación del macizo rocoso en cuanto a la calidad de roca, para lo cual se obtuvieron los datos en la zona del eje cuatro y se vaciaron a un plano topográfico escala 1:5 000. Finalmente tomando en cuenta los resultados obtenidos se procedió a discutir las dos alternativas más viables como son la alternativa a la elevación 650 de materiales graduados y la de tipo gravedad a la elevación 597.

CAPITULO IIGENERALIDADESESTUDIOS PREVIOS

El sitio en estudio se encuentra localizado en la cuenca del río Balsas, la cual ha sido estudiada durante más de 35 años; los primeros informes fueron preparados por Ordóñez (1946), Raisz (1959), Lesser Jones y Torres Izabal (1959), Palacios Nieto (1959, 1960, 1963), Fries (1960) y de Cserna (1965).

La Comisión Federal de Electricidad suspendió los estudios geológico exploratorios por casi diez años, hasta que fueron reanudados por Palacios Nieto (1973, 1974, 1975); Razo Montiel (1976), Electroconsult (1975), Kostenko (1977) y actualmente por los geólogos de la propia Comisión (Maycotte, J. I., 1981 - p. 7).

Con respecto a las investigaciones de carácter regional, los estudios realizados hasta la fecha en orden cronológico son los siguientes: Otto Bohnenberger (1955), Fries (1960), Najera Garza (1965), Jiménez Domínguez (1965), estudios de M. F. Campa y Salomón Rangel (1978, 1979) bajo el auspicio de Pemex, de Cserna (1979), Chávez Quirarte (1980), Ortega Gutiérrez (1980), y estudios realizados por los geólogos de la Comisión desde 1959-hasta la fecha.

SITUACION GEOGRAFICA Y VIAS DE COMUNICACION

El área en estudio se localiza en la parte centroseptentrional del estado de Guerrero y queda comprendida entre las coordenadas geográficas 99° 32' y 99° 36' de longitud Oeste y de 17° 54' a 17° 56' de latitud Norte. Su límite septentrional es una línea que va de poniente a oriente a partir de la Colonia Valerio Trujano, su límite al poniente es el poblado de Mezcala,

al oriente el paraje de el Platanar, al sur una línea que pasa por el km 222 de la Carretera Federal México-Acapulco (ver fig. 2.1).

El área en estudio está comunicada con la Ciudad de México por la autopista de peaje México-Acapulco que pasa por la ciudad de Taxco y continua hasta Acapulco a partir de Iguala, en donde se le une la autopista de peaje México-Iguala.

El área de estudio dista de Iguala unos 43 km por la carretera federal y a partir del km 218 de dicha carretera parten hacia el oriente dos brechas una en la margen izquierda con 6 km de longitud aproximadamente, que llega casi hasta el Platanar, esta brecha es transitable en todo tiempo y permite llegar a todas las obras exploratorias en dicha margen. La brecha situada en la margen derecha también es transitable todo el tiempo y tiene aproximadamente 5.3 km de desarrollo. Ambas brechas fueron construidas por la Comisión Federal de Electricidad.

CLIMA Y VEGETACION

Debido a la variación en altitud y en latitud en la zona de estudio tenemos una zonificación climática. Sin embargo generalizando encontramos en la región los siguientes tipos de climas: - El tipo $Aw_0(w)(i')g$ que es el cálido subhúmedo con lluvias en verano, con un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual y con una oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 5° y 7° C, el cual corresponde a las partes más bajas, por donde corre el río Balsas.

En las partes más altas tenemos el subtipo de humedad intermedia $C(w_1)$ del clima templado subhúmedo con lluvias en verano.

En la región del poblado de Mezcala tenemos el tipo $Bs_1(h')w(w)$

(i')g es decir, el menos seco del clima estepario, con temperatura media anual mayor de 22°C y la del mes más frío mayor de 18°C, con régimen de lluvias en verano y un porcentaje de lluvia invernal menor de 5 de la anual, con una oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 5° y 7°C. (Cetenal - Ito. de Geografía, 1970).

En las partes más bajas el total de la precipitación es de 730 mm y la temperatura media anual es de 27.8°C (ver fig. 2.2).

Las precipitaciones mínima y máxima respectivamente corresponden al mes de marzo, con 0.1 mm. y al de agosto con 142.5 mm.

Con respecto a la vegetación, esta varía tanto con la altura como con la litología del terreno. Así tenemos que en la depresión del Balsas su clima y vegetación son parecidos a los de la provincia de la costa Pacífica, de la cual constituye quizá sólo un ramal. (Rzedowski J. 1978, p. 108).

En dicha cuenca el bosque tropical caducifolio ^{1/} es el tipo de vegetación más extendido y su naturaleza se conoce principalmente gracias a los estudios de Miranda (1943, 1947) y de Leavenworth (1946).

El género *Bursera* ha tenido un espectacular centro de diversificación en esta provincia (en el estado de Guerrero aproximadamente 48 especies) que localmente se conocen como "cuajjotes", y sus miembros forman una parte tan importante de la vegetación, que relegan por lo general a segundo término a las leguminosas. En algunas zonas caracterizadas por un clima más árido, aumenta considerablemente el número de elementos comunes con la región-

^{1/} Caducifolio: que permanece sin hojas durante una parte del año.

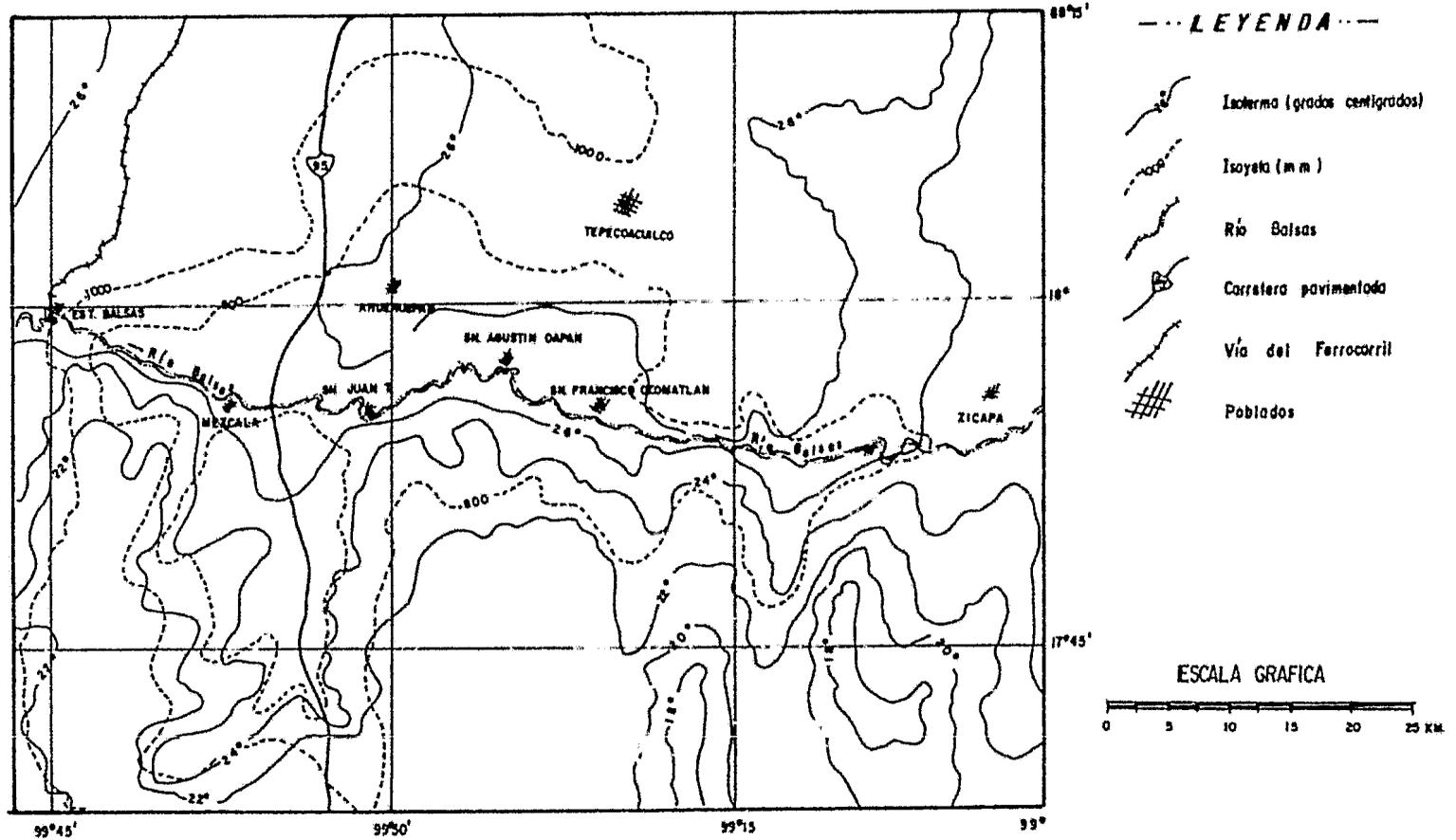


Fig. 22. MAPA DE ISOYETAS E ISOTERMAS (Cetnal- Ito de Geografía UNAM. 1970)

Xerofftica Mexicana, como son: Castela, Cercidium, Fouquieria, -
Gochnatia (Miranda, 1943 p. 408; 1947 p. 111).

Los géneros aparentemente exclusivos de la depresión del Balsas son: Backebergia, Haplocalymma, Pseudolopezia.

Las especies dominantes son (Bursera longipes) y (B. morelensis) "cuajotes colorados"; el cuajote amarillo (B. odorata), el verde (B. fagaroides) y el chino (B. lancifolia). El copal santo (B. jorullensis), copal chino (B. bipinnata) y copalaca (B. bicolor), en los lugares secos tenemos el lináloe (B. aloexylon) y el pochote (Ceiba parvifolia).

En las zonas más áridas se encuentran organos ramificados (Le--
maireoceus weberi) y sencillos (Cephalocereus mezcalensis).

En las rocas yesosas tenemos el "rabo de iguana" (Fouquieria -
ochoterena), en las calizas se desarrolla el palmar formado -
por el soyal (Brahes dulcis).

En las márgenes del río y de los afluentes el higuero (Ficus -
cokiistandl), el sauce (Salix chilensismol), el guamúchil (Pi--
thecolobium dulceberth). En los suelos delgados, con menor gra-
do de humedad y con pendientes de regular a fuerte el mezquite-
(Prosopis juliflora), el huizache (Acacia farmesiana) y el gua-
je (Leucaena collinsii).

CULTURA Y ECONOMIA

En la región la población es indígena, en algunas zonas se -
habla el dialecto náhuatl, y se conservan algunas tradiciones -
autóctonas que se reflejan en sus celebraciones religiosas, -
así como también en su vestimenta.

Con respecto a la educación, ésta es muy precaria debido a la falta de maestros y escuelas. El nivel de enseñanza que se imparte en la zona es hasta el sexto año de primaria, la secundaria más cercana se encuentra en Xalitla, Gro.

La religión predominante en la región es la católica y le sigue en importancia la evangelista. La iglesia del poblado es una construcción antigua, la cual es cuidada celosamente por la comunidad, sosteniéndose con aportaciones económicas de las misma y de los extraños en menor cantidad.

En relación a la economía, la agricultura es la actividad principal de los habitantes de la región, siguiendo en importancia la ganadería en pequeña escala de: bovinos, caprino, porcino y aves de corral.

Aunque la agricultura es la actividad principal, solo la desempeñan durante los meses de junio a diciembre, los otros seis meses del año se dedican a la elaboración de artesanías o emigran a centros urbanos como Iguala o Acapulco.

La economía característica de las poblaciones indígenas es la economía de subsistencia en donde el cultivo básico es el maíz, después de este cultivo, en importancia, está el ajonjolí, frijol, sandía, chile criollo, calabaza y melón. (Martínez B. 1979 p. 11).

Los poblados en la margen derecha están comunicados por un camino de terracería, con una longitud aproximada de 40 km desde la desviación de la carretera México-Acapulco (unos cinco km antes del puente de Mezcala en dirección Iguala-Acapulco), hasta el poblado de Sn. Francisco, Ozomatlán, por lo que ha facilitado que los pueblos en esa margen cuenten con energía eléctrica, hidrantes y transportes foráneos.

Con respecto a la vivienda, los materiales empleados en la construcción son adobe y palma principalmente, siguiendo en importancia adobe y teja, vara y palma, adobe y lámina de asbesto y en mínimo existencia tabique y lámina de asbesto.

Otro problema importante en la región es la salud, ya que los servicios médicos no son suficientes, siendo las enfermedades más frecuentes las gastrointestinales y pulmonares, esto aunado a la mala alimentación causan un alto índice de mortalidad especialmente en niños. (Martínez B., op. cit., p. 15).

En Sn. Juan Tetelcingo existe un centro de salud del IMSS-Copla mar.

FISIOGRAFIA

De acuerdo con la carta de provincias fisiográficas elaborada por Raisz (1959), la zona de estudio está localizada dentro de la subprovincia fisiográfica de la cuenca del Balsas - Mexcala, denominada por Ordoñez (1946) simplemente como Cuenca del Balsas. Esta subprovincia se encuentra incluida dentro de la provincia fisiográfica llamada Sierra Madre del Sur.

La cuenca del Balsas - Mexcala tiene un rumbo SE-NW (casi E-W) y en esta dirección se extiende unos 645 km de longitud.

Esta región tiene una superficie aproximada de 113,000 km² y está ubicada principalmente en un terreno accidentado donde sólo el 6 por ciento de la extensión total corresponde a terreno plano (De la O - Carreño 1954).

El área de estudio se encuentra en la parte central de la cuenca, donde el ancho de la misma es aproximadamente de 160 km de longitud.

El borde austral de la Cuenca Balsas - Mexcala colinda con la - Subprovincia denominada Vertiente Meridional de la Sierra Madre del Sur. El borde septentrional de la cuenca está determinado - por la provincia que Raisz (op. cit.) denomina altiplanicie Neó volcánica, también llamada Eje Volcánico (Galindo y Villa 1946).

Al oriente la cuenca la encontramos limitada por la provincia - de la Altiplanicie Oaxaqueña, mientras que en el borde Occiden- tal tiene como limite la Sierra Madre del Sur (ver fig. 2.3). - El desagüe de la cuenca se lleva a cabo por medio del río Bal- sas, el cual corre en una dirección E-W y antes de desembocar - en el Oceano Pacífico sirve como límite geográfico entre los es- tados de Guerrero y Michoacán. En la zona de estudio el elemen- to más importante de la red hidrológica lo constituye este río, que junto con sus afluentes forman la red hidrológica de la - región.

El río Balsas se origina por la confluencia del río Atoyac, des- de el norte, con el río Mixteco, desde el sur, ésta unión se en- cuentra junto al poblado de Sn. Juan del Río, Puebla. Al tramo- comprendido entre Sn. Juan del Río y la estación Balsas, Guerre- ro, se le ha llamado Río Mezcala y su tramo restante como Río - Balsas. El nivel de este río junto a Sn. Juan del Río está a la cota de \pm 820 m.s.n.m., mientras que en Sn. Juan Tetelcingo, - unos 180 km río abajo, se encuentra a una altura de 514 m.s.n.m. lo cual evidencia una pendiente hidráulica de 0.017 por ciento- en la parte central de la cuenca del alto río Balsas.

Los afluentes más importantes dentro de la región en estudio de oriente a poniente son los siguientes: Río Nexapa, río Tlapane- co, río Amacuzac, río Tlapahualapa, río Tepecoacuilco y río Co- cula. Todos estos afluentes tienen un curso general N-S, direc- ción que también presentan las estructuras plegadas de la zona, mientras que el curso del río Balsas es de E-W, o sea perpendi-

TESIS PROFESIONAL



Fig 23 — MAPA QUE MUESTRA LA RELACION DEL AREA ESTUDIADA CON LAS PROVINCIAS FISIOGRAFICAS DEL CENTRO Y SUR DE MEXICO (maiz 1998)

cular al patrón estructural en la región. (Ver fig. 2.4).

Con esta red hidrográfica integrada, a la altura de Sn. Juan - Tetelcingo, el río Balsas tiene un escurrimiento medio anual de 5 239 000 000 m³, lo cual corresponde a un gasto promedio de 166 m³/seg. La región está bien drenada debido a la alta densidad de la red hidrográfica, lo cual evidencia un alto porcentaje en la disección de la región, a pesar de la poca precipitación pluvial.

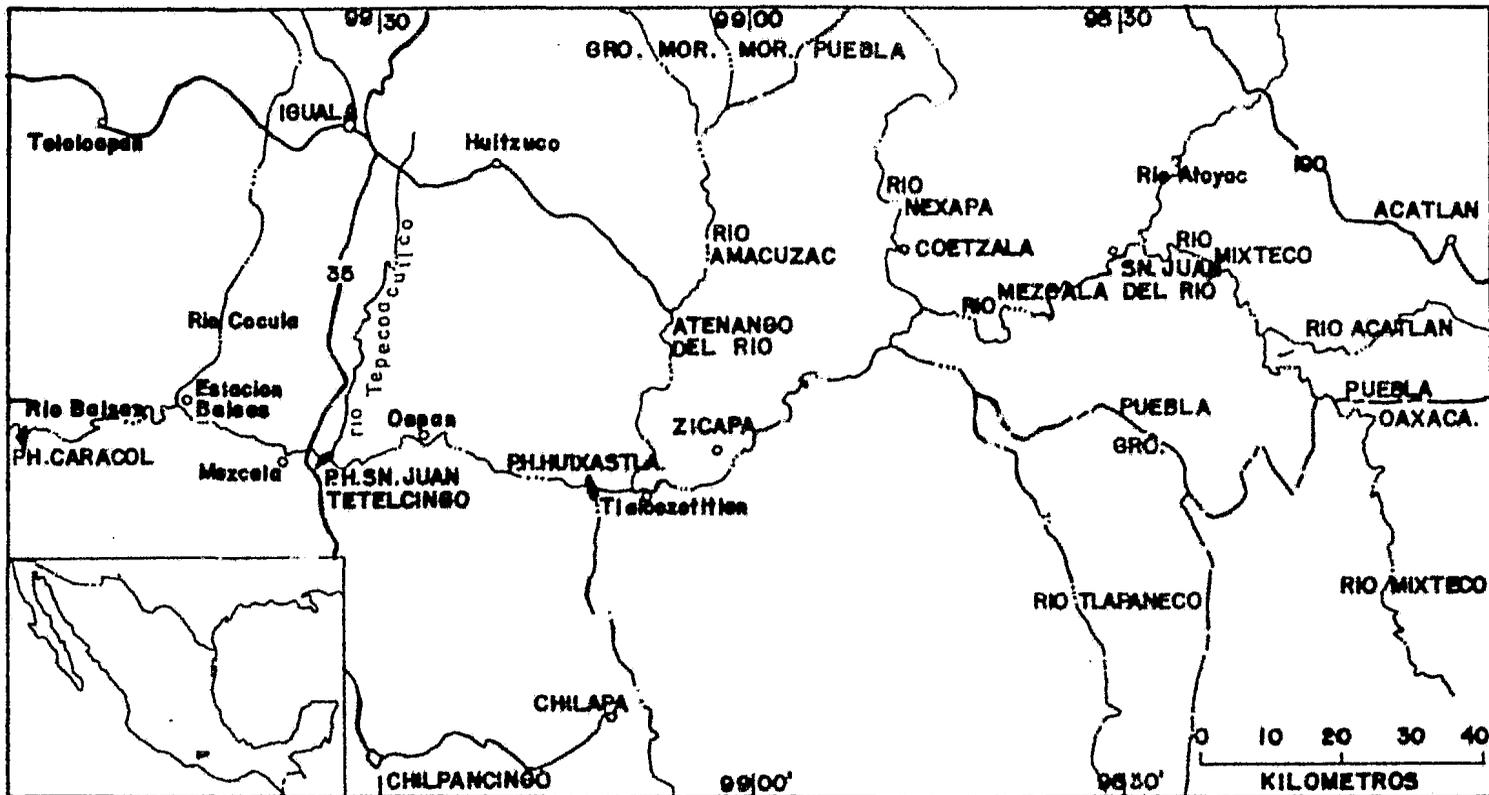
En términos generales, se puede aseverar que en la mayor parte de la región el clima es cálido subhúmedo con lluvias en el verano. En estas condiciones, la erosión fluvial se efectúa solamente durante la temporada de lluvias y refleja de manera fiel la naturaleza relativamente poco resistente a los efectos de la erosión fluvial en las regiones semiáridas que tienen las rocas que subyacen en el terreno.

Esta, a su vez, muestra también que los arroyos, o sea los elementos efímeros de la red hidrográfica de la región, acarrean cantidades considerables de material en suspensión durante la temporada de lluvias.

La avanzada disección de la región, por la red hidrográfica es aún más notable, si se toma en cuenta que el escurrimiento superficial corresponde sólo al 19.6 por ciento de la precipitación y la infiltración al 14 por ciento, mientras que la evaporación constituye el 66.5 por ciento de la precipitación (De la O - Carreño, 1954).

GEOMORFOLOGIA

La elevación promedio de la región es de unos 350 - 400 m. con un relieve constituido por valles en forma de "V" separados por



TESIS PROFESIONAL

FIG. 2.4 Mapa que muestra la localización de la parte central de la cuenca del río Balsas (tomado de la III Región Nacional de Geotecnia y Geotermia C.F.E.)

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

cerros y promontorios. Los cerros generalmente están redondeados por la erosión, siendo las partes planas escasas y pequeñas, - por lo anterior se puede concluir que la región se encuentra - dentro de la etapa de madurez en cuanto a su disección, de acuerdo al ciclo geomórfico.

En la región es evidente la interacción de los procesos tanto - endógenos (formadores del relieve) como exógenos (niveladores - de la superficie). Los endógenos generando el levantamiento y - formación del relieve, así como también la actividad volcánica - manifestada en varios lugares de la región, y los exógenos suavizando el relieve de la zona, actualmente presentándose con - mayor intensidad estos últimos.

Los altos topográficos de la región son característicos y están constituidos por rocas calizas, presentando un aspecto redondeado con drenaje ampliamente espaciado, mientras que las zonas topográficamente bajas, forman un relieve suave, están constituidas por lutitas, areniscas y rocas volcánicas, con un aspecto - mucho más angular y una red de drenaje también más densa. Lo anterior evidencia la menor resistencia a los procesos erosivos - de las lutitas, areniscas y rocas volcánicas existentes en la - región, en contraste con las calizas, las cuales ofrecen mayor - resistencia a estos procesos.

Las formas cársticas (dolinas y sumideros), son abundantes al SE de Sn. Juan Tetelcingo en calizas y dolomias de la Formación - Morelos. La carsticidad es elevada en estos terrenos calizos a los cuales subyacen evaporitas de la Formación Huizucó. La mayoría de las dolinas se podrían clasificar como pequeñas, teniendo de 100 a 200 m de diámetro, alcanzando en algunos casos - hasta 50 m de profundidad, las mismas se caracterizan por sus - paredes con pendientes muy pronunciadas y muchas completamente - verticales. Según Fries (1960, p. 28) "Los poljes y dolinas se-

formaron en tiempos posteriores al principio del pleistoceno, - puesto que son más recientes que la Formación Cuernavaca, pero algunos pudieron haberse iniciado antes".

Parece ser que los sumideros pequeños son permeables, ya que - no contienen material atrapado, ni agua en la temporada de lluvias. Los mayores parecen ser impermeables, debido a la presencia de aluvi6n así como también de aguas encharcadas durante la lluvia.

El río Balsas presenta un curso sinuoso en la zona de estudio, - el cual fluye a través de meandros encajados o encajonados, teniendo en varios tramos cañones estrechos, algunos de los cuales han sido elegidos como posibles alternativas para la construcción del P.H. Sn. Juan Tetelcingo. La excelente calidad de los afloramientos en numerosos sitios, da ocasión a observar - la continuidad y estructura de las rocas de un lado al otro del río y descartar la presencia de fallas. Lo anterior también permite constatar que el curso actual del río se desarrolló por medio de una erosión fluvial vertical, notándose una lenta injerencia de la erosión lateral.

El hecho de hacer mención con respecto a la presencia de carsticidad en la zona, recobra un interés especial no sólo en la localización del eje de la cortina, sino también en la impermeabilidad de su vaso. Considerando que el desarrollo de la carsticidad está en función de la fácil penetración del agua y su circulación subterránea, así como de la pureza, resistencia y dureza de la caliza, es interesante tomar en cuenta que este desarrollo se observa principalmente, como ya se dijo anteriormente, - en la Formación Morelos.

De acuerdo con Derruau (1980 p. 128-129), generalmente los meandros que se tienen en el Balsas son los llamados meandros de -

valle o meandros encajados, ya que las curvas descritas por el valle coinciden en tamaño con las dibujadas por los meandros, - aunque también se llegan a presentar meandros de llanura alu- - vial (según Derruau llamados erroneamente meandros libres o - meandros divagantes), en donde las sinuosidades del río son - independientes o en menor escala que los del trazado del valle.

Con respecto al origen de los meandros (Maycotte, J. I. y De - Cserna 1981) dice: "El tamaño y las formas de los meandros sugieren varias relaciones: 1) que en el pasado los volúmenes de agua que fluyen por el río eran mucho mayores. 2) que las descargas del río han sido siempre constantes dicho de otro modo, - que nunca ha ocurrido reposo y esto parece haber permitido la - erosión de los pliegues y escarpes de las fallas. 3) que el actual patrón fluvial, podría haber sido heredado de un antiguo - río del que no se guardan evidencias. 4) que la erosión y los - ajustes a cambios litológicos pueden explicar la irregularidad - en el cauce del río y 5) que las diferentes condiciones climáti - cas estuvieron asociadas a la formación de los meandros. La com - probación de uno o varios de estos puntos explicará el estado - actual del río Balsas".

"Los ríos labrados en roca firme, implican procesos y mecanis - mos suficientemente efectivos para desarrollar un patrón sinuo - so. Comparando las relaciones entre longitud y anchura del cau - ce del río en los meandros en roca, así como también en aluvión, se tiene mayor diferencia en los meandros formados en roca. Sin embargo se puede concluir que en ambos casos la longitud del - meandro es proporcional al ancho del río".

"Frecuentemente se plantea que la dirección que siguen los mean - dros originalmente se desarrolló en una roca más suave la cual - sobreyacía a otra de mayor dureza que fue cortando verticalmen - te su cauce. El hecho de que la roca de menor dureza haya sido -

erosionada dificulta la comprobación de la afirmación anterior".

"Powell (1875), continua De Cserna; dice que un río antecedente tiende a mantener su curso, cortando las estructuras que se - están formando. Pero cuando no se dispone de evidencias estratigráficas, es imposible distinguir entre un río antecedente y - uno superpuesto. Lo más razonable sería pensar que el río no ha alcanzado la etapa de senectud, que la erosión vertical no ha - cesado y que su erosión lateral es lenta".

"De Cserna concluye que debido a la existencia de una zona tectónicamente activa, que posee estructuras antiguas, que fueron-sepultadas por depósitos continentales jóvenes y donde existen-evidencias de "agradación" en el río, se puede decir que lo más factible es pensar en un levantamiento progresivo y que existió un río antecedente del actual río Balsas. Sin embargo, ésta no es la única razón de nuestra discusión. Es de suponer también,- que otras características superficiales han contribuido a la - formación de los meandros de un modo natural. Respecto a esto - Fries (1960) dice: El curso de este río es anómalo en un sentido, pues atraviesa casi en ángulo recto el rumbo predominante - de los pliegues de las rocas cretácicas, que es casi al norte,- lo que sugiere que el río fue antecedente o quedó sobrepuesto - desde una cubierta clástica terciaria, aunque también participa-ron en su desarrollo otros factores, tales como el fallamiento- y el combamiento ocurridos durante el terciario.

De Cserna y Fries concluyen homogéneamente con respecto a la - genesis de los meandros en el Balsas, lo cual no es muy diver--gente a lo que dice Derruau (1980 p. 119): "todo meandro evolu-ciona en el transcurso del encajamiento, puede crearse, exage--rarse o disminuir hasta desaparecer, pero no se sobreimpone pu-ra y simplemente".

ESTRATIGRAFIA

El proyecto hidroeléctrico de Sn. Juan Tetelcingo se encuentra localizado en una región constituida por dos secuencias estratigráficas, una de origen sedimentario, integrada por las formaciones Morelos, Cuautla y Mexcala, la segunda de origen continental, constituida por el miembro volcanoclástico Tetelcingo, la Formación Oapan y otros depósitos. Estas formaciones varían en edad desde el Mesozoico al Reciente.

La formación más antigua aflorante en la zona es la Formación Morelos, constituida por una interestratificación de calizas y dolomías, que según Fries (1960 p. 57-58) su edad abarca desde el Albiano medio al Cenomaniano temprano. Sobre esta formación descansan las calizas de la Formación Cuautla a la cual Fries (1960 p. 31,70) le asignó una edad Turoniana.

Suprayaciendo a la Formación Cuautla se encuentra la Formación Mexcala, la cual consta de una interestratificación de calcarenita, lutita calcárea, limolita, arenisca y en ciertas partes conglomerado de grano fino. La base de esta formación varía en edad desde el final del Turoniano hasta principios del Coniaciano, mientras que a la parte superior de la formación no se le ha podido definir una edad, sin embargo Fries (1960 p. 32-90) plantea como probable que no sea más reciente que el Santoniano.

Sobre la Formación Mexcala descansando en discordancia angular se encuentra el Miembro Volcanoclástico Tetelcingo de la Formación Balsas, debido a la ausencia de fósiles y dataciones no muy precisas por otros métodos, no se ha podido definir una edad exacta a esta formación, esto se discutirá más adelante.

Asimismo la Formación Oapan constituida por tobas y areniscas-tobáceas con intercalaciones y vetas de yeso, se encuentra descansando discordantemente sobre el Miembro Volcanoclástico Tetelcingo.

FORMACION MORELOS

Definición.-

"El nombre de Formación Morelos se propone para una potente sucesión de caliza y dolomita de edad Cenomaniano-Albiano que -- aflora en Morelos y en los estados contiguos de México y Gue--rrero" (Fries 1960 p. 44). Debido a que la base de la forma--ción no está expuesta en la zona de mayor espesor nõ se ha po--dido determinar una localidad tipo, sin embargo se considera -- como área tipo a los afloramientos que exponen el mayor espe--sor, localizados en el estado de Morelos.

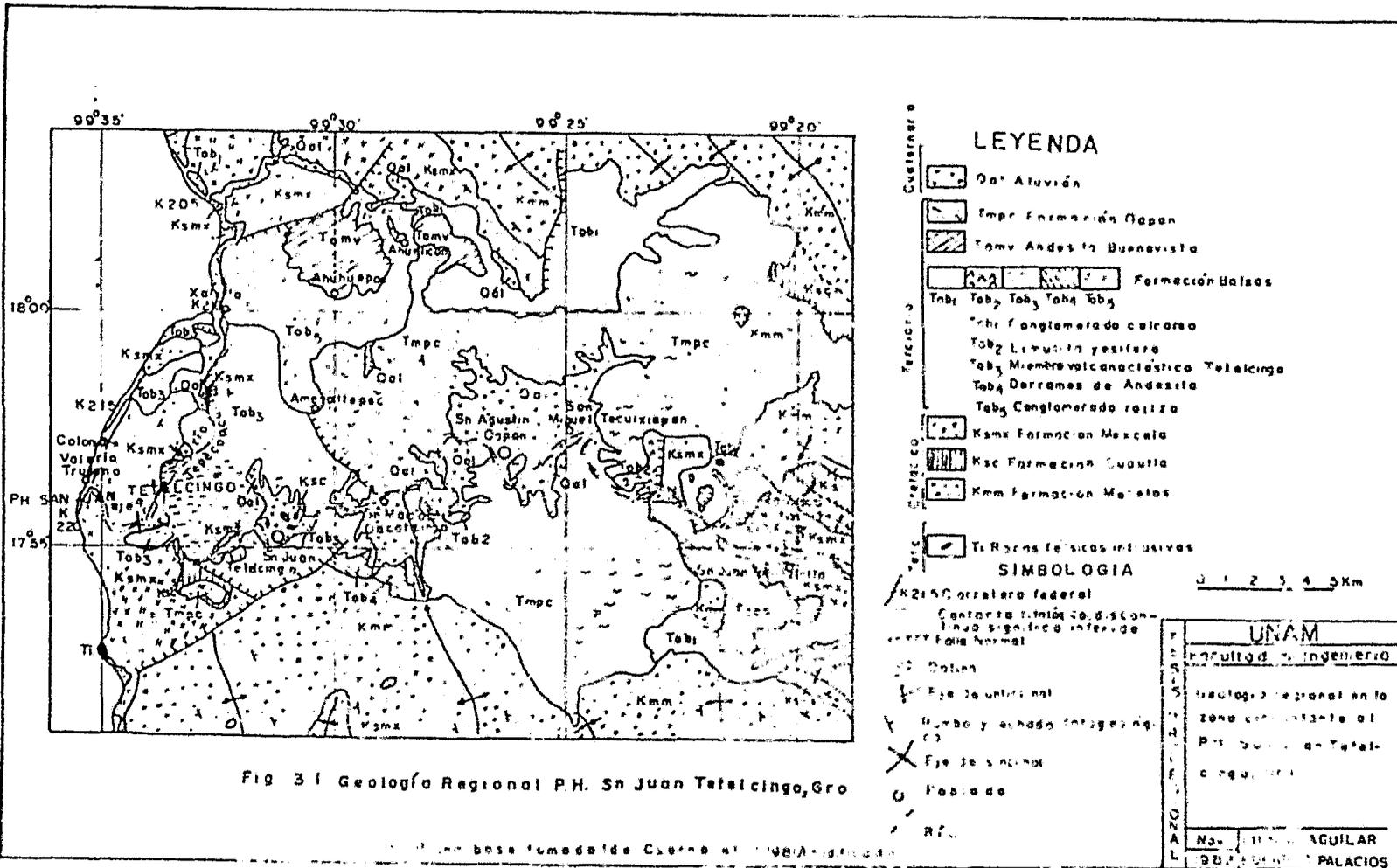
Distribución.-

La distribución de la Formación Morelos es muy extensa, aflora en la mayor parte de la cuenca sedimentaria de Morelos-Guerre--ro. En la zona de estudio la Formación Morelos aflora al N-E--de Sn. Francisco Ozomatlán, así como también al sur de Sn. Juan Tetelcingo. (ver fig. 3.1).

Litología y espesor.-

En la zona de estudio la Formación Morelos está constituida -- por capas de caliza y en menor cantidad de dolomía interestra--tificadas.

Las capas de caliza presentan un color que varía del gris oscu--ro al gris claro y se clasifican dentro de las calcarenitas y-



calcilutitas, se observan nodulos de pedernal de color negro - y gran parte de los fósiles se encuentran silicificados. El color de las dolomías varía del crema al negro. El espesor de los estratos va desde unos cuantos centímetros hasta un metro aproximadamente.

Con respecto a su espesor Fries (1960 p. 52) plantea que "En la parte central del estado de Morelos el espesor probablemente llega cuando menos a 900 m, siendo desconocida la cifra exacta porque no está expuesta la base".

"En la zona de estudio se le determinó un espesor de 700 m" -- (ver fig. 3.2). Informe Geológico del P.H. Sn. Juan Tetelcingo 1981, C.F.E.

Relaciones estratigráficas.-

En la zona de estudio no aflora la base de esta formación por lo cual no ha sido posible determinar el carácter del contacto con la formación que la subyace. Sin embargo se podría decir que dentro de los límites regionales la Formación Morelos tiene un carácter transgresivo con relación a todas las unidades litológicas más antiguas.

En cuanto a su contacto superior, en realidad ha causado divergencias, debido a la falta de estudios tanto litológicos como paleontológicos, a partir de los cuales se podría concluir con mayor veracidad.

Sin embargo los geólogos de la C.F.E. plantean la presencia de la Formación Cuautla en base a los cambios tanto litológicos, como de espesor de los estratos que se presentan superficialmente, esto también es posible apreciarlo en los barrenos perforados en el eje de la alternativa No. 3.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL AREA

SISTEMA	SERIE	PISO	UNIDAD LITOLÓGICA - STRATIGRAFICA	Espesor (m)	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION			
C R E T A C I C O	MIOCENO	Recente	Plioceno	Depositos continentales DISCORDANCIA	0.50		Traveritinos, terrizas, derrames de andesita, pólvora y aluviás		
				FORMACION OAPAN	0.200		Tobas y areniscas tobáceas de color verde, con intercalaciones y velas de yeso		
	MAESTRICHITIANO - EOCENO			DISCORDANCIA		0.1000		Brechas proclásticas, brechas tobáceas, tobas brechales y tobas de composición andesítica, en estratos bien definidos en las rocas de grano más fino, con litología la parte basal tobas y tobas brechales. Los colores van respectivamente del rojo a gris verdoso - verde claro.	
									MIEMBRO VOLCANOCLASTICO TETELCINGO
									DISCORDANCIA
									MIEMBRO SUPERIOR MEXCALA
	COMACIANO			DISCORDANCIA		0.538		Areniscas arenosas (Subarenosas), de color gris oscuro, en estratos delgados a muy gruesos con intercalaciones de lutitas calcáreas, de color gris oscuro fino, mente laminadas que son mas frecuentes hacia la base y con algunos estratos de composición polimictica de grano fino	
									MIEMBRO MEDIO FM
									0.545
									0.145
TUNOBIANO			DISCORDANCIA		0.220		Calcarenas y calcilutitas de color gris claro-oscuro, en estratos delgados, con nodulos de pedernal, estalactitas y lutitas		
								FORMACION CUAUTLA	
MIDIO	COMACIANO		DISCORDANCIA		0.100		Calcilutitas y calcarenas con intercalaciones de dolomitas, con nodulos de pedernal y fosiles silicificados, en colores del gris claro-oscuro a color crema y aun negro, en espesores gruesos		
								FORMACION MORELOS	
		ALBIANO							

TESIS PROFESIONAL

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS G

Fig. 3 2

Edad y correlación.-

La gran abundancia de macrofósiles (Fam. Miliolidae) es característica de esta formación e inclusive sirve como elemento diferenciador con la formación Cuautla (Bolivar 1960, p. 14).

El amplio rango en tiempo que ocupan estos fósiles no indican una edad determinada, pero Fries (1960 p. 57-58) asigna a la formación una edad que varía del Albiano medio al Cenomaniano-temprano.

La Formación Morelos se correlaciona en la parte oriental de Queretaro con la caliza El Doctor denominada así por Wilson (1955 p. 2-3), a esta formación también se le da el nombre de El Abra y Tamaulipas superior, las cuales ocurren dentro de la misma caliza El Doctor, representando cada una de ellas una facies diferente, dentro de la cuenca Tampico Misantla.

Sedimentología.-

Debido a las características que presenta la Formación Morelos, se puede concluir que se trata de un depósito de plataforma somera sin aporte de terrígenos, con alta evaporación y poca circulación, lo cual generó el depósito de yesos y dolomías así como también zonas de depósitos calcáreos con desarrollo de organismos bentónicos.

FORMACION CUAUTLA

Definición.-

Esta formación fue definida formalmente por Fries en 1960, tomando el nombre de la ciudad de Cuautla y proponiéndolo para los afloramientos de calizas en las serranías bajas situadas -

hacia el poniente de esta ciudad.

Distribución.-

En la zona de estudio esta Formación se tiene cartografiada al SW de Sn. Juan Tetelcingo, así como también existen pequeños afloramientos al norte de este mismo poblado (ver fig. 3.1).

Litología y espesor.-

Litologicamente la Formación Cuautla está constituida por calcarenitas y calcilutitas de color gris oscuro al fresco y gris claro al intemperismo, presenta estilolitas y se tienen horizontes de lutitas calcáreas laminares, debido a las cuales existen zonas de intenso plegamiento.

En ocasiones la caliza se torna masiva, con gran cantidad de vetillas de calcita; es en esta caliza donde se pueden apreciar con más claridad las estilolitas.

El espesor aproximado en la zona de estudio es de 220 m, aunque Bohnenberger (1955 p. 25) dice que el espesor varía entre 15 y 25 m., siendo posible que falte por completo.

Relaciones estratigráficas.-

En la zona de estudio no aflora la base de la Formación Cuautla, por lo cual no es posible decir si el contacto es concordante o discordante. Mientras que su contacto superior está determinado por la Formación Mexcala de forma concordante.

Edad y correlación.-

"La Formación Cuautla no se distingue litológicamente de la -- Formación Morelos, pero sí en fauna, puesto que no contienen -- miliolidos y en Morelos se han encontrado en numerosas localidades rudistas del género Hippurites", lo cual clasifica a estas calizas como Turonianas (Bohnenberger 1955 p. 23), él mismo plantea como manera práctica de dividir a estas formaciones, tomar como base la última capa de calizas con miliólidos, considerando las siguientes de la Formación Cuautla de edad Turoniana.

Cabe hacer mención que esta división aunque práctica no es correcta pues las unidades litoestratigráficas como lo son las - formaciones Cuautla y Morelos, se reconocen por su litología y no por sus límites paleontológicos, ni cronológicos.

La Formación Cuautla se correlaciona por su edad con la Formación Agua Nueva de la Cuenca Tampico-Mizantla (ver fig. 3.3).

Sedimentología.-

La litología de la Formación Cuautla evidencia un ambiente de depósito en cuencas marginales de profundidades someras.

FORMACION MEXCALA

Definición.-

El nombre de Formación Mexcala fue propuesto por Fries (1960 - p. 72) para una sucesión de capas interestratificadas de areniscas, limolita, y lutita calcáreas, calcarenitas y en ciertas partes conglomerado de grano fino, en base a la sección tipo que levantó Bohnenberger-Thomas (1955) entre la colonia - -

Fig. 3.3 CUADRO DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS G.

TESIS PROFESIONAL

BALONES DE AÑOS	ERATENA	SISTEMA	SERIE	PISO	PH SAN JUAN TETELCINGO	SAN AGUSTIN OAPAN GRO	SOBRE LA CARRETERA IGUALA-CHILPANCIANGO	REGION DE MUTZUCO	NE - E DE MEXICO (TAMPICO - MISANTLA)	
1	CENOZOICO	TERCIARIO	RECIENTE		ALUVION, TERRAZAS TRAVERTINOS	ALUVION	ALUVION Y CALICHE	SALMON Y CALICHE	ALUVION	
10			PLIOCENO			FORMACION OAPAN	MARGAS	ROCAS METEORICAS MAFICAS	FM TUXPAN	
20			MIOCENO			FORMACION OAPAN	SABANA GRANDE	Grupo Thapsalis		
40			OLOCENO					CLASTICOS CONTINENTALES	GRUPO BALSAS	
60			EOCENO							
60			PALEOCENO							
70			CRETACICO	CRETACICO	THROTIAN					
	AMPELIANO					FORMACION MEXCALA	FORMACION MEXCALA	FORMACION MEXCALA	FORMACION MEXCALA	FORMACION SAN FELIPE
	AMPELIANO					FM MEXCALA				
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
	AMPELIANO					FM CUAUTLA		FM CUAUTLA	FM CUAUTLA	
150	MESOZOICO	MESOZOICO	MEDIO		FM MORELOS	FM MORELOS	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	FORMACION MORELOS	
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
			AMPELIANO							
200	JURASICO	JURASICO	SUPERIOR						FORMACION TAMALIPAS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
250	TRIASICO	TRIASICO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
300	PERMIANO	PERMIANO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
350	CARBONIFERO	CARBONIFERO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
400	DEVONIANO	DEVONIANO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
450	SILURICO	SILURICO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
500	ORDOVICICO	ORDOVICICO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
550	CAMBRICO	CAMBRICO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
600	PRE CAMBRICO	PRE CAMBRICO	SUPERIOR						FM MORELOS	
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS
			AMPELIANO							FM MORELOS

(1) Informe Geológico CFE 1981
 (2) R. Néjaro B., 1965, Fig. 4
 (3) D. Bokkenberger T. 1935, Pag. 16
 (4) J.M. Bolwer, 1963, Pg. 4
 (5) E. López R., 1979, Fig. VI-17, Pag. 348

Valerio Trujano y el Río Balsas, a la altura de su confluencia con el Río Tepecoacuilco.

Distribución.-

Esta Formación se encuentra predominando en la zona de estudio, presentando gran cantidad de afloramientos, e incluso es aquí donde se encuentra la localidad tipo.

La Formación Mexcala aflora en todos los grandes sinclinales de la región central de Guerrero. En la zona de estudio se encuentra aflorando en el sinclinal Carrizal al W del Río Tepecoacuilco.

Litología y espesor.

La Formación Mexcala es muy variable en su litología, tanto lateral como verticalmente. En la zona de estudio, particularmente en la localidad tipo, existe una variación vertical tanto litológica como granulométrica, por lo cual ha sido dividida en tres miembros. Cabe hacer notar que esta división de la Formación Mexcala no se le puede considerar de manera formal debido a que no cumple los requerimientos planteados por el Código de Nomenclatura Estratigráfica, sin embargo por utilidad práctica se seguirá esta división.

Miembro inferior.-

Se encuentra aflorando formando el núcleo del Anticlinal Valerio Trujano.

Este miembro es la base de la Formación Mexcala que descansa concordantemente sobre la Formación Cuautla. Uno de sus mejores afloramientos se encuentra en la margen derecha del Río --

Balsas (490 m., al oriente del puente Mezcala). (Chávez Qui--
rarte 1980, p. 30).

Litológicamente está compuesto por calcilutitas y calcarení--
tas interestratificadas con lutitas calcáreas laminares ffsi--
les, predominando estas últimas con un color al fresco gris --
oscuro variando a negro, e intemperizan a un color que va de -
café perdusco a crema.

"El espesor inferido para este miembro en la zona de estudio--
es de 145 m., de los cuales solo afloran 40 m., que correspon--
den a la parte superior del mismo". (Informe Geológico del -
P.H. Sn. Juan Tetelcingo 1981).

Miembro medio.-

Este miembro aflora en los flancos del anticlinal Valerio Tru--
jano y se encuentra descansando concordantemente sobre el miem--
bro inferior. El límite entre el miembro inferior y medio se--
determinó en el momento en que había una predominancia de luti--
tas y desaparecían las calcilutitas, no se fijó una capa lími--
te para delimitarlo.

Los afloramientos en la localidad tipo se encuentran sobre la--
margen derecha del Río Balsas, desde los 490 hasta los 1480 m.,
al oriente del puente Mezcala. (Chávez Quirarte 1980 p. 31).

Este miembro está constituido por lutitas laminares ffsiles, -
presentando un color al fresco gris oscuro, e intemperizan a -
un color café pardusco, la misma se encuentra en alternancia --
con pequeños espesores (15 a 20 cm.,) de arenisca calcárea. -
A lo largo de este miembro se tienen gran cantidad de pliegues--
de arrastre, debidos a la incompetencia de las lutitas las - -
cuales se encuentran predominando.

"En la zona de estudio a este miembro se le determinó un espesor de 545 m." (Informe Geológico del P.H. Sn. Juan Tetelcingo 1981).

Miembro superior.-

Este miembro también aflora en ambos flancos del anticlinal Valerio Trujano.

Los afloramientos se encuentran desde los 1480 m., al oriente del puente Mezcala hasta unos 400 m., al oriente del Río Tepeacoacuilco.

La división entre el miembro medio y superior se determinó de acuerdo a la predominancia de areniscas sobre las lutitas. El contacto entre ambos miembros se observa perfectamente en la margen izquierda del Río Balsas. En el contacto se observa -- descansando concordantemente sobre las lutitas un conglomerado polimíctico de grano fino, el cual se ha tomado como capa índice para delimitarlos.

Litológicamente este miembro está compuesto por una interstratificación de areniscas calcáreas de color gris oscuro e intemperizan a un color café pardusco, con espesores que van de 15-cm., hasta 3 m. Las mismas se encuentran en alternancia con lutitas calcáreas laminares fisiles de color gris oscuro, también se tienen intercalaciones de conglomerado polimíctico de grano fino, con matriz arcillosa y cementante calcáreo. En este miembro las areniscas son las que predominan, esto se ve -- con mayor claridad al subir estratigráficamente sobre esta formación.

"El espesor medido para este miembro es de 530 m." (op. cit.).

Relaciones estratigráficas.-

El contacto inferior de la Formación Mexcala dentro del área - de estudio se muestra en actitud estructural concordante sobre las calizas de la Formación Cuautla.

El contacto superior está determinado por el Miembro Volcano--clástico Tetelcingo de la Formación Balsas, el cual descansa - en discordancia angular sobre la Formación Mexcala.

Edad y correlación.-

Agustín Ayala Castañares, colectó muestras al norte del Cerro - Grande el cual se localiza al N-W de la zona de estudio quien - reportó los siguientes microfósiles.

Calcisphaerula innominata

Foraminíferos planctónicos indeterminados.

Globotruncana Sp.

Hedbergella Sp.

Heterohelix Sp.

Phithonella Ovalis.

Radiolarios indeterminados.

La presencia de *Globotruncana* comprueba que la base de la Formación Mexcala es del Cretácico superior y debajo de ella la - presencia de la caliza Cuautla demuestra que no es más antigua que el Turoniano superior. La parte superior de la Formación - Mexcala fue erosionada antes de que comenzara el depósito de - la Formación Balsas, que es la unidad suprayacente y no ha sido posible determinar exactamente su edad por lo cual no es posible saber hasta que edad haya seguido depositándose la Formación - Mexcala.

Esta Formación puede correlacionarse con la Formación Sn. Felipe de la cuenca sedimentaria de Tampico-Mizantla.

Sedimentología.-

"Se piensa que la Formación Mexcala representa un depósito exogeosinclinal, que se acumuló encima de una región cratónica -- que se hallaba al lado oriental de la zona eugeosinclinal, o sea la región que ahora abarca las partes central y oriental de México" (Fries 1960 p. 75).

Una parte del material clástico fue erosionado de las rocas carbonatadas que afloraban, pero la mayor parte fue derivado probablemente de varias rocas metamórficas e ígneas en forma de arcillas y arenas con algo de gravas finas.

FORMACION BALSAS

Miembro Volcanoclástico Tetelcingo.-

En la región circundante al P.H. Sn. Juan Tetelcingo, se tiene una secuencia de rocas volcanoclásticas cuya litología varía - desde tobas brechoides hasta brechas tobaceas, las cuales fueron incluidas por Fries (1960 p. 91) dentro del grupo Balsas, - designándolas como brechas, tobas volcánicas y corrientes lávicas interestratificadas. Sin embargo Zoltan de Cserna (1965 - p. 27) optó por bajar a rango estratigráfico de formación al grupo Balsas, debido a lo inadecuado que significaría el seguir llamándole grupo, de acuerdo a la publicación del nuevo Código de Nomenclatura Estratigráfica (Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica, 1970). En este Código se utiliza el término grupo para designar a una unidad estratigráfica de rango superior al de formación, el cual debe de consistir por lo menos de dos formaciones.

Ortega Gutiérrez (1980 p. 43) propone asignarle el rango de Formación Tetelcingo a la facies volcánica de la Formación Balsas. No obstante, en este trabajo, por utilidad práctica la facies volcánica será considerada como miembro de la Formación Balsas.

Distribución.-

En el área de estudio la mayor cantidad de afloramientos se localizan en las inmediaciones de Sn. Juan Tetelcingo, principalmente al NE y NW de dicho poblado (ver fig. 3.1).

La localidad tipo fue propuesta por Ortega Gutiérrez a unos 5 Km, al poniente de Sn. Juan Tetelcingo, en el cerro Coamanco.

Litología y espesor.-

Litológicamente este miembro está constituido por una secuencia de tobas y tobas brechoides en la base, graduando a brechas tobáceas y coronando la secuencia se tienen brechas piroclásticas de composición intermedia, con fragmentos angulosos de rocas ígneas y sedimentarias, aunque se encuentran predominando los primeros, los cuales están dentro de una matriz tobácea bien consolidada de color rojo ladrillo, estas brechas gradúan a brechas tobáceas, asimismo estas rocas gradúan a tobas brechoides y tobas, las cuales están compuestas por fragmentos piroclásticos cuyo tamaño varía de ceniza a lapillis.

En el área de estudio este miembro tiene un espesor promedio de 530 m, lógico es pensar que este no es su espesor original ya que han estado expuestas a la erosión.

Relaciones estratigráficas.-

El miembro Volcanoclástico Tetelcingo se encuentra descansando en fuerte discordancia angular sobre la Formación Mexcala, esto puede ser constatado claramente en una pequeña barranca localizada al oriente del eje 4.

El contacto superior también está definido por una discordancia angular, donde la Formación Oapan descansa sobre el miembro Volcanoclástico Tetelcingo.

Las relaciones de este miembro con la Formación Balsas no están lo suficientemente aclaradas, sin embargo en la zona comprendida entre Xalitla y Ameyaltepec se observa la interdigitación entre las rocas del miembro Volcanoclástico Tetelcingo y las de la Formación Balsas, lo cual comprueba la contemporaneidad entre los mismos en esta zona.

Edad y correlación.-

En cuanto a la edad del miembro Volcanoclástico Tetelcingo, -- Ortega Gutiérrez (1980) publicó de la base del mismo dos edades Maestrichtianas, obtenidas una de un basalto y la otra de biotita concentrada de brecha volcánica.

Debido a la presencia de calcita secundaria, posteriormente la misma muestra de basalto fue tratada con HCl diluido, y la muestra así lixiviada fue analizada nuevamente por J.E. Harkal con el método de K-Ar, obteniendo una nueva edad que corresponde al Eoceno temprano (52.4 ± 1.8 m.a.) la cual (según de Cserna 1981 p. 30) no invalida necesariamente la edad Maestrichtiana planteada por Ortega Gutiérrez, sin embargo hay que constatar que en realidad son necesarias más dataciones para establecer satisfactoriamente la edad de este miembro. Por lo

tanto no es posible correlacionarlo actualmente.

Sedimentología.-

El depósito de este miembro se llevo a cabo en cuencas bajas -- contiguas a serranías montañosas, como resultado de fallamiento.

Su mayor espesor, por lo tanto, se encuentra en lugares donde los bloques se hundieron más profundamente y los depósitos que dieron protegidos de la erosión posterior.

FORMACION OAPAN

Definición.-

Najera Garza (1965 p. 30) denomina informalmente como Formación Oapan a una sucesión de capas que consisten en areniscas tobáceas verdes y yeso con arcilla, de edad Miocénica o Pliocénica que aflora en los alrededores de Sn. Agustín Oapan, poblado del cual se ha tomado el nombre para esta formación.

Señalando como localidad tipo al cerro Misuehue, situado 2000 m., al N de Sn. Agustín Oapan, así como también los cerros situados al NW y al sur del mismo poblado (ver fig. 3.1).

Distribución.-

El área de afloramiento de esta formación en la zona de estudio, se extiende aproximadamente 15 Km en dirección E-W, desde los cerros situados al noreste y al sureste de Sn. Miguel Teacuixiapan, hasta los situados al noroeste y suroeste de Sn. -- Agustín Oapan. En dirección N-S, pasando por este poblado, se extiende por 12 Km, aproximadamente.

Litología y espesor.-

Esta formación litológicamente está constituida en la base por areniscas tobáceas de color verde e intermperizan a un color verde más claro, presentan vetillas que cortan la estratificación e intercalaciones de yeso de color blanco con espesor de 1 a 3 cm. En la parte superior se tienen tobas de color verde, contienen clastos con un diametro de 0.5 a 2 cm., así como también vetillas de yeso.

Según Nájera Garza (1965 p. 32) la composición mineralógica de las areniscas tobáceas, bajo el microscopio es la siguiente: - cuarzo, feldespatos, calcita, minerales opacos y algunos máficos, cementados con celadonita, lo cual les da su característico color verde.

El espesor de esta formación en el área de estudio es de 200 m. (informe Geológico del P.H. Sn. Juan Tetelcingo 1981).

Relaciones estratigráficas.-

La Formación Oapan descansa discordantemente sobre el miembro volcanoclástico Tetelcingo de la Formación Balsas. Mientras que en la parte superior de esta formación se encuentran depósitos continentales.

Edad y correlación.-

La horizontalidad de sus estratos en los afloramientos y la ligera ondulación en otros, así como su posición estratigráfica discordante encima de la Formación Balsas, comprueban que la Formación Oapan es más joven que ésta, es decir, que empezó a depositarse pasado bastante tiempo de la acumulación de la --

Formación Balsas, probablemente fines del Mioceno.

La época en que esta formación dejó de sedimentarse, a causa de que se volvió a establecer el desagüe exorréico, al erosionarse la barrera conglomerática que la limitaba, no se ha establecido con seguridad, pero se le asigna una edad Miocénica -- tentativa, ya que la formación se encuentra muy erosionada y el río Balsas tiene su cauce actual a más de 150 m., debajo de la antigua barrera.

Esta formación se puede correlacionar con las margas Sábana -- Grande que consisten en arcillas y calizas margosas lacustres -- de color crema a amarillento, cuyos afloramientos se localizan entre el km., 119 y el 193 de la carretera México-Acapulco, al sur de Sábana Grande, Guerrero. Estas margas fueron descritas por Bohnenberger Thomas (1955 p. 41-44) quien les asignó una edad Miocénica, basándose en las conchas de ostracodos que --- abundan en algunas capas.

Sedimentología.-

Las relaciones estructurales y estratigráficas, así como su -- extensión y composición, sugieren que esta formación se depo-- sitó en una cuenca lacustre originada por el fallamiento en -- bloques que afectó a los depósitos de la Formación Balsas, que impidieron el desagüe exorréico del área.

Depósitos continentales.-

Se designan así a las rocas más jóvenes del área e incluyen -- travertino, depósitos de terraza, Jerrames de andesita, alu-- vión, depósitos de talúd, y suelos.

Travertinos.-

Se localizan al sureste del área de estudio, formando la meseta de Tepeyahualco; son de color crema, con abundantes impresiones de restos vegetales, así como fragmentos de regular tamaño de calizas, presentando un espesor aproximado de 70 m., - en estratos horizontales.

Se encuentran descansando con gran discordancia angular sobre las calizas de la Formación Cuautla.

No se conoce la continuidad lateral de estos depósitos que probablemente se formaron en pequeñas depresiones con aporte constante de aguas termales, y bicarbonatos en solución, con alta evaporación, derivados de la disolución posiblemente de las calizas de la Formación Cuautla y Morelos.

Depósitos de terraza.-

Se encuentran en partes cercanas al Rfo, están compuestos por materiales de diferentes tamaños, desde arcillas hasta cantos rodados, conformando estratos poco litificados, y comportándose como rocas duras cuando tienen cementante calcáreo.

Derrames de andesita.-

Se trata de unos derrames de andesita localizados en el cerro de Coamanco.

Es un pórfido de composición intermedia de color rojo al fresco y rojo ladrillo al intemperismo, presenta abundantes vetillas de calcita. La roca se encuentra ligeramente alterada y descansa discordantemente sobre el Miembro Volcanoclástico Tetelcingo.

Depósitos de aluvi3n y paleocanal.-

Fueron examinados mediante los sondeos que se perforaron en el cauce del R3o para los estudios geol3gicos de las diferentes - alternativas, variando el espesor de los acarrees de 6 a 14 m., siendo el promedio de 8 m., aproximadamente.

Estos dep3sitos est3n constituidos por arenas y gravas, con -- bloques de gran tama3o, los mismos se pueden observar tambi3n- en los playones distribuidos a ambas m3rgenes del r3o.

Se localiz3 un paleocanal en el eje de la alternativa n3mero - 4, el cual est3 relleno de acarrees que pertenecieron a un antiguo cauce del r3o Balsas. Este paleocanal se puede observar muy bien en el socav3n 10, donde se observa su base descansando sobre las areniscas y lutitas del miembro superior de la -- Formaci3n Mexcala.

GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La variaci3n existente de la secuencia estratigr3fica en la re- gion influy3 en el desarrollo de las estructuras que se presen- tan en ella, ya que en las zonas donde tenemos predominancia- de lutitas encontramos que la secuencia presenta mayor plega-- miento, y el recostamiento de algunos de los pliegues en la par- te meridional del anticlinorio de Huixastla-Tuzantlan al orien- te de la zona de estudio, as3 como el viraje abrupto de sus -- ejes, claramente atestiguan el papel lubricante evapor3tico du- rante el proceso de plegamiento. (De Cserna et. al. 1980 p. - 7.).

Las estructuras que se encuentran en el 3rea de estudio, for-- man parte de un sinclinorio al cual de Cserna designa como sin- clinorio de Tonalapa-Mexcala (Maycoite, J. I., 1981, p. 33), -

en donde la Formación Mexcala aflora principalmente en las estructuras sinclinales. En dicho sinclinorio los pliegues que afectan a las rocas mesozoicas siguen un rumbo general N-S con variaciones al NW-SE principalmente, aunque también se encuentran variaciones al NE-SW en menor escala, se presentan también fallas tensionales en la dirección NE-SW.

En el área de estudio las estructuras que se encuentran consisten de un anticlinal conocido con el nombre de Anticlinal Valerio Trujano, localizado al oriente de la carretera Federal México-Acapulco, en el cual la cima ha sido intensamente erosionada y es ligeramente asimétrico al Poniente. Dicha estructura es una flexura del Anticlinal Tonalapa-Balsas que se localiza al poniente de Mezcala (Chávez Q. 1980 p. 53).

Al poniente del Río Tepecoacuilco se encuentra el sinclinal conocido como sinclinal Carrizal, orientado NE-SW, en donde en el flanco poniente se encuentra la localidad tipo de la formación Mexcala. Entre estas dos estructuras tenemos un pequeño anticlinal y un sinclinal, así como una gran cantidad de pliegues de arrastre en las zonas donde predominan las lutitas, como en el miembro medio de la Formación Mexcala.

Las fracturas se encuentran orientadas principalmente al NW-SE 10° y al NE-SW (Casi E-W). Al SE del área de estudio se encuentra una falla normal que afecta a la Formación Cautla.

La Orogenia Laramide, ejerció esfuerzos compresionales que actuaron desde el poniente hacia el oriente y afectó a la región en el período Campaniano-Paleoceno.

La presencia del miembro volcanoclástico Tetelcingo introduce una fase de volcanismo explosivo cuando ya los esfuerzos de la Orogenia Laramide habían cesado y la región se encontraba emer-

gida (Ortega G., 1980 p. 45).

Simultáneamente a este evento, la zona sufrió los esfuerzos --
tensionales post-orogénicos cuya dirección preferencial es de --
N-S.

GEOLOGIA HISTORICA

La acumulación de la Formación Morelos, durante el Albiano me--
dio y principios del Cenomaniano, se generó debido a una am--
plia transgresión marina, depositándose una interestratifica--
ción de calizas y dolomías en un ambiente somero, lo anterior -
constatado por la presencia de foraminíferos, peliciópodos y --
gasterópodos.

El origen de las dolomías se debió a un proceso penecontemporá--
neo a la acumulación de las calizas, porque la dolomitización--
se efectuó dentro del ámbito de determinadas capas sin atrave--
sar los planos de estratificación, como sucedería si la dolomi--
tización hubiese venido en una época posterior a la litifica--
ción de la caliza (Fries 1960 p. 161). Hacia mediados del Ce--
nomaniano la región debió haber emergido del mar, una laguna -
de duración desconocida, pero que probablemente se extendió --
cuando menos al principio del Turoniano, separa la Formación Mo--
relos, erosionada, de las capas calcareníticas y calizas basa--
les de la Formación Cuautla. El depósito de esta última pare--
ce haber comenzado hacia principios del Turoniano y continuo --
hasta final de dicha edad, en un medio con un tirante de agua--
reducido y con las condiciones necesarias para el desarrollo en--
partes de bancos arrecifales.

Hacia finales del Turoniano un cambio de sedimentación inte--
rrumpió la acumulación de la caliza de la Formación Cuautla e--

iniciando el depósito de lodo, limo, arena y conglomerado de grano fino que ahora constituyen la Formación Mexcala.

La mayor parte de la Formación Mexcala es claramente de origen marino, aunque no queda excluida la posibilidad del origen continental de algunas capas superiores. No se sabe exactamente en que momento cesó el depósito de esta formación, en respuesta al levantamiento de esta región, no obstante Fries (1960 - p. 162) plantea que pudo haber sido en el Santoniano tardío o Campaniano temprano.

Estos clásticos, junto con los depósitos calizos anteriores, fueron plegados probablemente, en un tiempo que va desde el Campaniano tardío, hasta el Paleoceno tardío, es decir que la Orogenia Laramide o Hidalguense se llevó a cabo en un tiempo anterior al depósito del miembro volcanoclástico Tetelcingo, esto en base a que en la zona de estudio no se encuentra plegamiento alguno en este miembro.

Después del plegamiento de las rocas Cretácicas, sobrevino una tafrogenia o fallamiento en bloques, que impidió el libre curso de los ríos y favoreció el desarrollo de un desagüe endorréico. Simultáneamente al fallamiento en bloques se originó un volcanismo explosivo, generando el depósito del miembro volcanoclástico Tetelcingo, la depositación del mismo obstaculizó el curso de las corrientes que desaguaban el área, por lo cual se formó un lago durante el Mioceno, donde se depositaron las tobáceas y areniscas tobáceas con vetas e intercalaciones de yeso que constituyen la Formación Oapan, la presencia del yeso en la Formación Oapan indica que el clima de la región en esa época fue lo bastante árido para producir una sobresaturación de las aguas del lago, donde se precipitó el yeso. No se sabe con seguridad cuando terminó esta acumulación, no obstante con base en la erosión que afectó a estos depósitos, se supone que su

acumulación terminó en el Plioceno, después que la erosión de la Formación Balsas fue lo suficientemente profunda para que permitiera el desarrollo de un desagüe exorréico.

A partir del Plioceno tardío se comenzaron a depositar en pequeñas depresiones los travertinos, originados por corrientes-termales.

En el cuaternario la erosión y formación de suelos con caliche, han sido los fenómenos que actúan predominantemente.

CAPITULO IVSISMICIDAD

Debido a que el estado de Guerrero, es una zona de gran actividad sísmica, como lo confirman los datos estadísticos e históricos que existen, y a que uno de los problemas principales geotécnicos en presas es la sismicidad, ya que los sismos pueden ocasionar rupturas, deformaciones o deslizamientos ocasionados por las severas sacudidas del terreno, se discute la sismicidad en el estado de Guerrero, así como también se proponen diversos valores de intensidades para diferentes períodos de recurrencia, en base a estudios realizados para tal efecto.

ACTIVIDAD SISMICA EN EL ESTADO DE GUERRERO

De acuerdo a Esteva (1968) el litoral del pacífico de México -- queda comprendido en la macrozona sísmica del Cinturón Circumpacífico (ver fig. 4.1).

Según la carta sísmica de la República Mexicana del ingeniero - Figueroa A. (1959), el estado de Guerrero se encuentra localizado en la zona de sismos frecuentes. (ver fig. 4.2).

La región de estudio en particular se localiza en la zona dos - del mapa de zonas sísmicas de México elaborado por Esteva (1970) (ver fig. 4.3). La cual es una de las zonas con más alta sismicidad.

En el estado de Guerrero para el período de 1900 a 1971 se registraron 1735 movimientos, con magnitudes entre tres y 8.5 en la escala de Richter y de III a XII escala de Mercalli. De los cuales 153 tuvieron una magnitud mayor que cinco en la escala - Richter (Figueroa A. 1972, p. 5). Figueroa presenta un resumen de los sismos ocurridos dentro del mencionado estado, localiza-

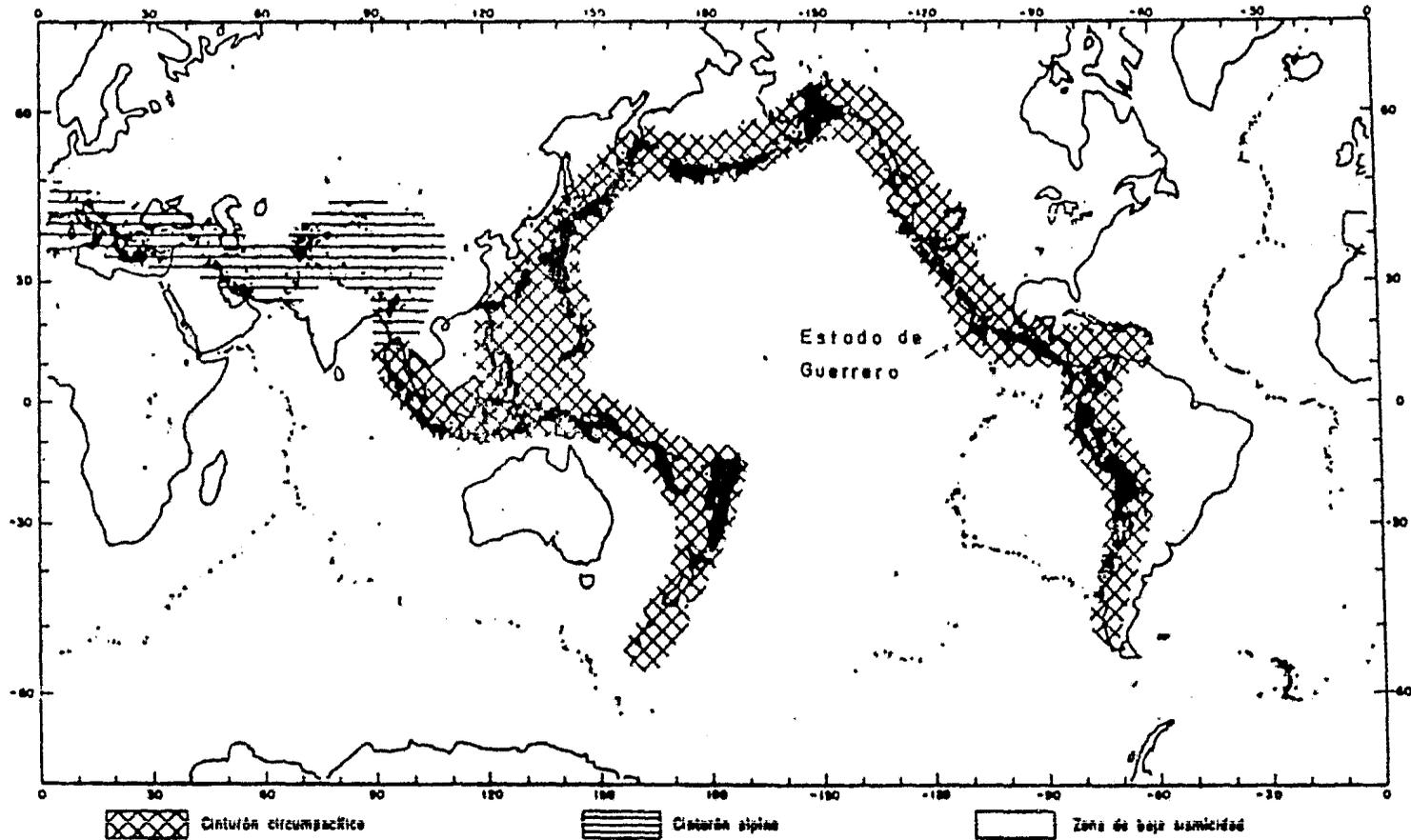


Fig 4.1 Las tres macrozonas sísmicas del mundo (Esteva, 1948)

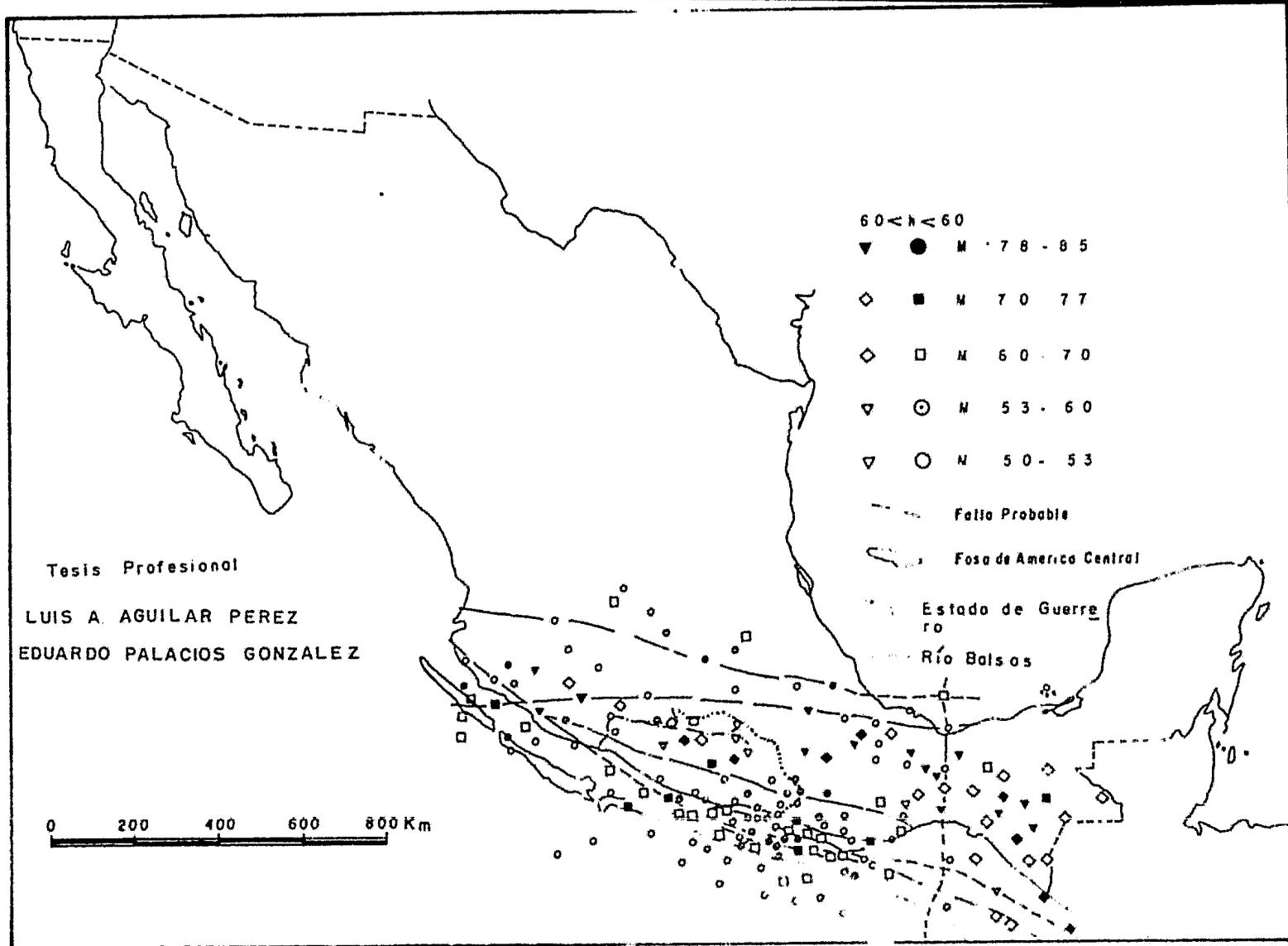


Fig 4.2 — EXTRAIDO DE LA CARTA SISMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA (FIGUEROA, 1959)

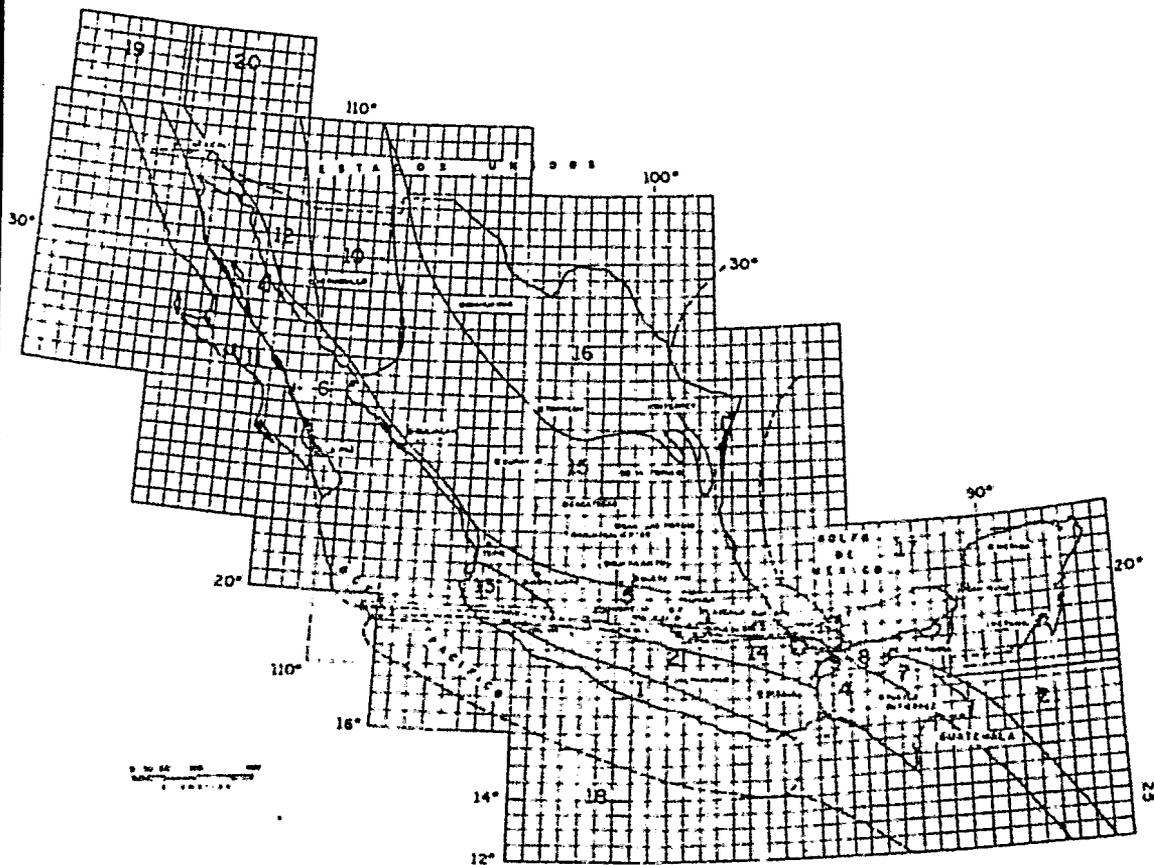


Fig. 4.3 Zonas sísmicas de México (Estevo 1970a)

EXPLICACION

∩ Límite entre las diferentes zonas sísmicas

Las áreas 10, 12, 15, 16, 17 y 20 pertenecen a la zona de baja sismicidad de la tierra y el resto al Cinturón Circumpacífico (ver fig 4.1)

Tesis Profesional

LUIS A. AGUILAR PEREZ

EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

dos en el mar frente a Guerrero y próximos a las fronteras de Guerrero para el período mencionado (op. cit. n. 3).

Así tenemos que dentro del estado, han ocurrido 437 sismos con una magnitud entre 3 y 3.9, 160 entre 4 y 5, 17 entre 5 y 7, -- dos entre 7.1 y 7.7 y uno entre 7.2 y 8.5 en la escala de Richter. Por lo que se infiere que los más comunes son los primeros, es decir los que oscilan entre 3 y 3.9 en la escala de -- Richter.

En base a la comparación de la propagación de los frentes de -- onda con los planos de isosistas elaborados por Figueroa A. se puede apreciar la preferencia de las ondas en seguir la dirección SW-NE, es decir la dirección Acapulco- Orizaba, como así -- lo demuestra el temblor del 3 de Diciembre de 1965 registrado -- por el Instituto de Ingeniería de la UNAM: En Acapulco, Ciudad de México y presa del Infiernillo, -- el cual da una clara idea de la propagación de los frentes de onda en sentido de fractura- -- miento tectónico NE-SW (Falla de Papalutla-Melínche). Tal frac turamiento corresponde aparentemente a los límites entre los -- bloques crátonicos de Oaxaca y Guerrero (Informe geológico del P.H. Sn. Juan Tetelcingo Guerrero, 1991).

La región circundante al proyecto hidroeléctrico Sn. Juan Tete lcingo, en el período de 1908 y 1974 fue sujeta a 43 temblores, -- en la figura 4.4 se presenta la localización de los epicentros -- de dichos temblores. Debido a que no se dispone de soluciones -- de planos focales de los temblores someros que ocurrieron en la corteza, en dicha zona, es difícil establecer conclusiones tec -- tónicas.

Sin embargo, los sismos de focos profundos se relacionan con el proceso actual de la subducción a lo largo de la Fosa México-Me

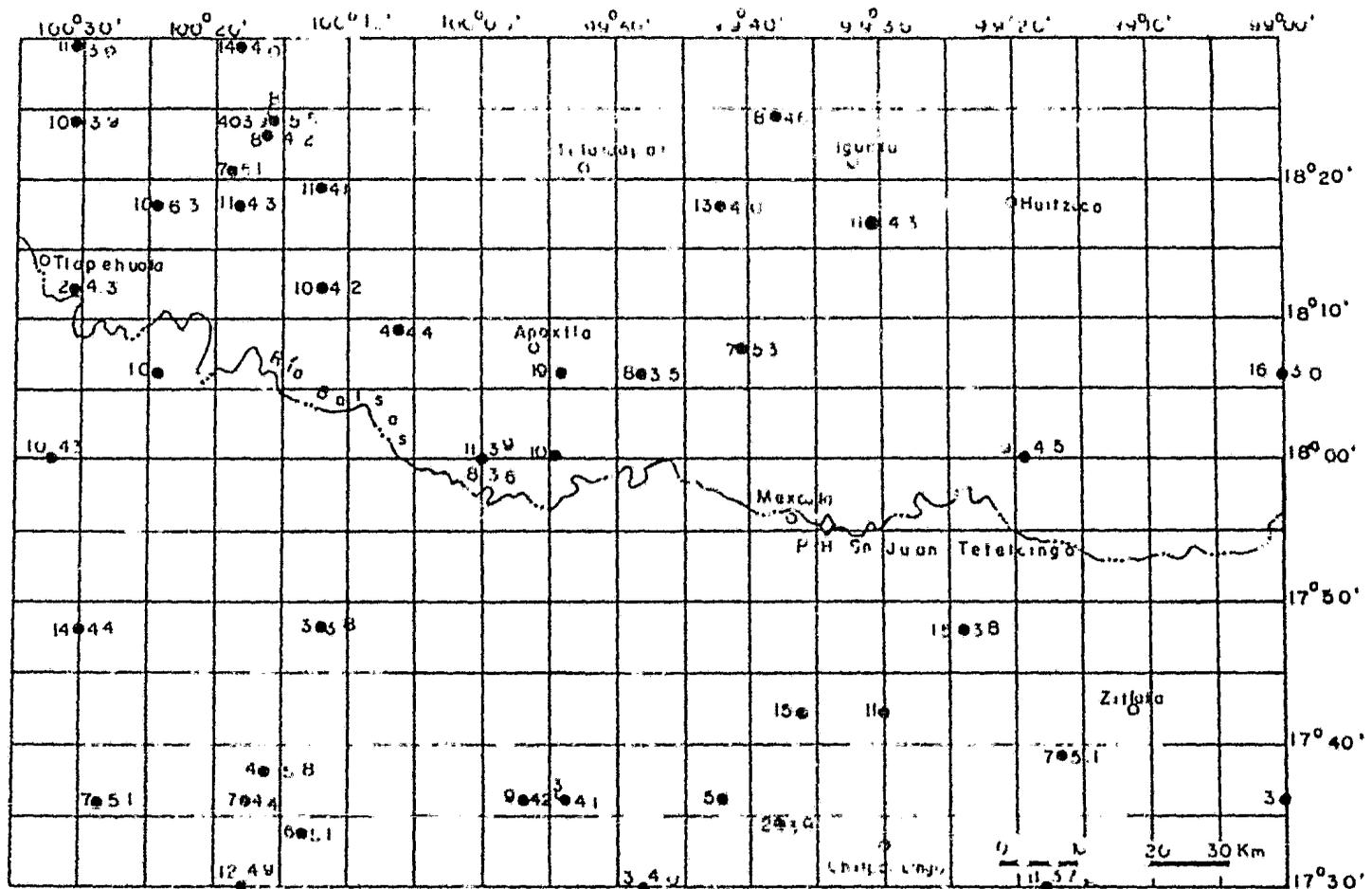


Figura 4.4 Localización de los epicentros de los temblores en la región circundante al PH Sn Juan Tetelcingo. El número a la izquierda de cada epicentro corresponde a la Profundidad del foco en decenas de kms; el número a la derecha señala la magnitud calculada con ondas P, cuando la magnitud no está señalada se indica falta de datos

Tesis Profesional

Tomado de Maycotte, 1981

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

soamericana, cuyos efectos directos en la región se traducen en una tendencia de levantamiento regional y condiciones de tensión en dirección N-S (De Oserra 1980, p. 22).

RIESGO SISMICO

El riesgo sísmico se define en términos de las relaciones entre intensidades sísmicas y sus períodos de recurrencia. En donde las intensidades sísmicas se expresan por medio de los valores máximos absolutos de la aceleración o de la velocidad del terreno. El criterio que se sigue para estimar la sismicidad es el de emplear conceptos probabilísticos Bayesianos con objeto de incluir la información disponible en otras zonas sísmicas de características tectónicas similares. Se estima la distribución de probabilidades del proceso de generación de temblores, en términos de excedencia de diversas magnitudes, en volúmenes dados de la corteza terrestre a partir de estas y mediante el uso de relaciones entre intensidad, magnitud y distancia focal, se calcula la influencia de cada uno de dichos volúmenes en la sismicidad del punto de interés. Mediante un proceso de integración que incluye a todos los volúmenes de la vecindad de dicho punto, se obtiene la relación entre intensidad y período de recurrencia. Los resultados de este procedimiento pueden servir de base para estudios costo-beneficio orientados a determinar parámetros óptimos de diseño sísmico. (Bazán E. et al 1980, pág. 33). Se lleva a cabo el procedimiento anterior debido a que generalmente no se cuenta con registros instrumentales, en el sitio de interés y la información estadística sobre datos de máxima aceleración del suelo durante los temblores ocurridos en dicho sitio es escasa. Si contamos con dichos datos se podrían utilizar métodos estadísticos tradicionales para definir las características de temblores futuros en ese lugar y, por tanto, la solicitación sísmica de diseño de la presa.

Esteva (1970 a) ha construido mapas de sismicidad regional para períodos de recurrencia de 50, 100 y 500 años, y para la aceleración y velocidad máximas del terreno como medidas de intensidad. En base a tales mapas los valores de las intensidades máximas para el sitio en estudio son: (T= período de recurrencia) ver figs. 4.5.

V (cm/seg)	T (años)
22	50
30	100
60	500

Para aceleración: a (cm/seg ²)	T (años)
160	50
200	100
360	500

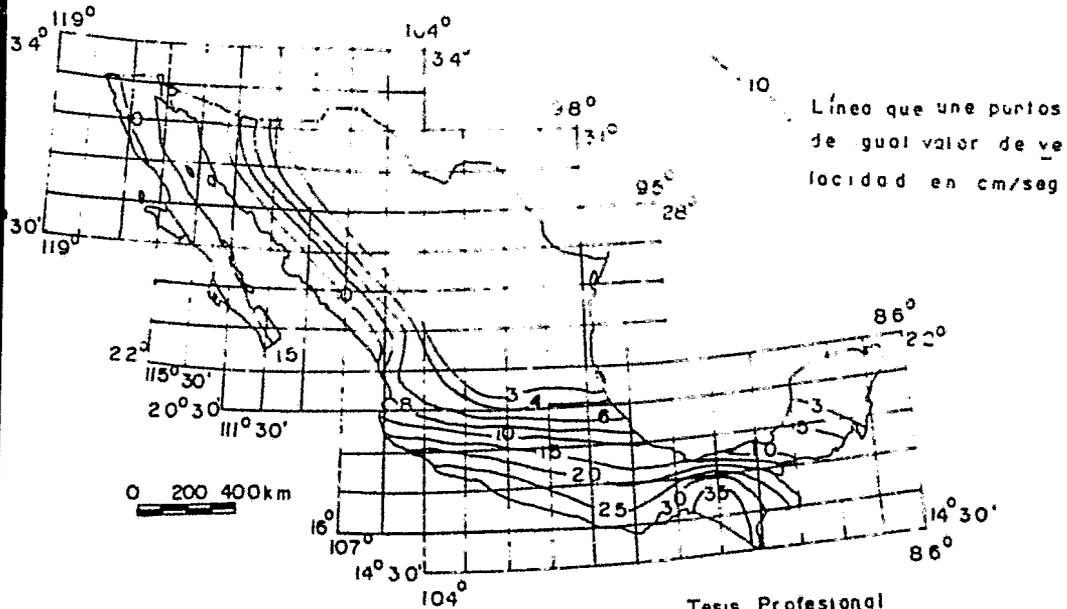
En el informe geológico del P.H. Sn. Juan Tetelcingo (1981) se proponen los siguientes valores:

- a) El DBE (Design Basis Earthquake) temblor base de diseño, -- puede ser de magnitud 8, con aceleraciones de hasta 28% g - (174.64 cm/seg²).
- b) El OBE (Operation Basis Earthquake) temblor base operacional puede ser de magnitud 6, con aceleraciones de 16% g - (156.96 cm/seg²).

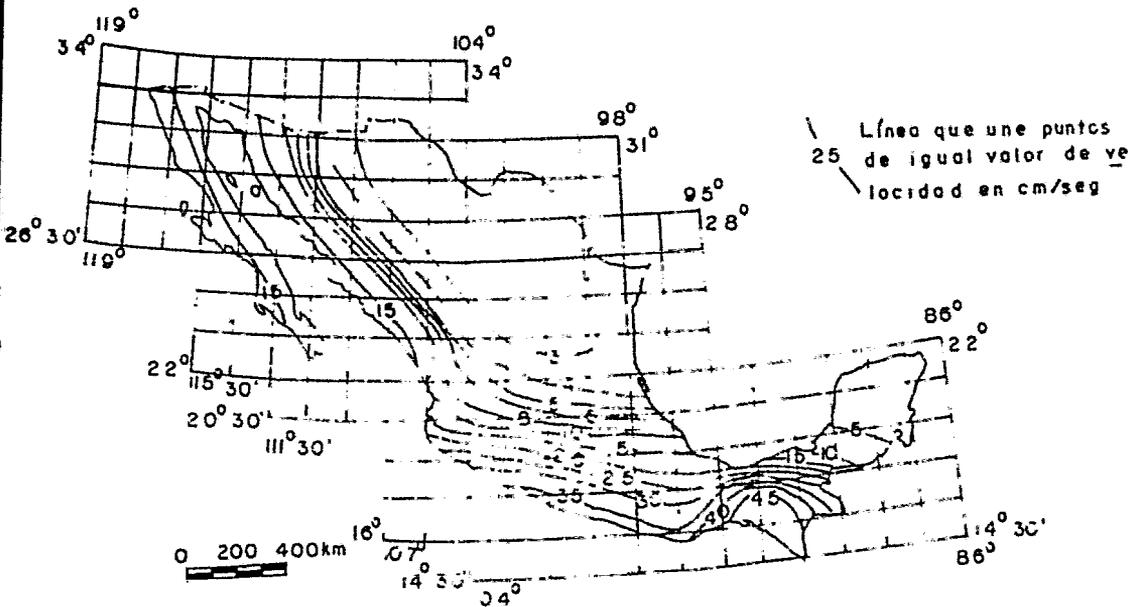
Asumiendo esto, no se considera amortiguamiento ni ductilidad* del macizo rocoso en el área.

* Por ductilidad de un macizo rocoso se entiende que dicho macizo puede sufrir una deformación plástica permanente.

Velocidades máximas del terreno con periodo de
recurrencia igual a 50 años



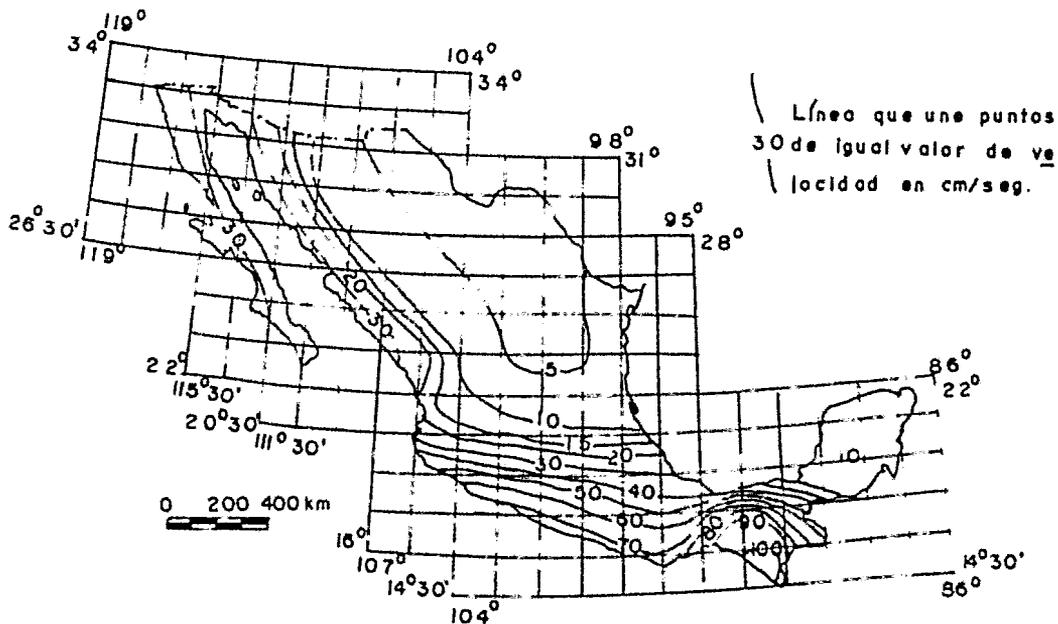
Tesis Profesional
LUIS A AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ



Velocidades máximas del terreno con periodo de
recurrencia igual a 100 años

Fig 4.51 Mapas de Regionalización sísmica Este (1970a)

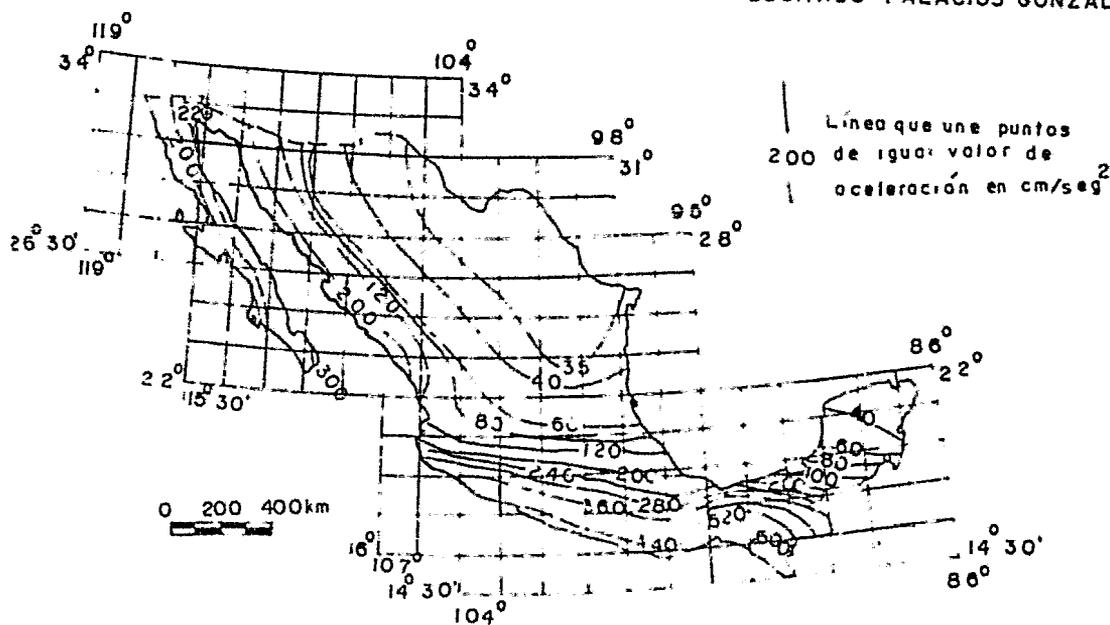
Velocidades máximas del terreno con periodo de
recurrencia igual a 500 años



Tesis Profesional

LUIS A. AGUILAR PEREZ

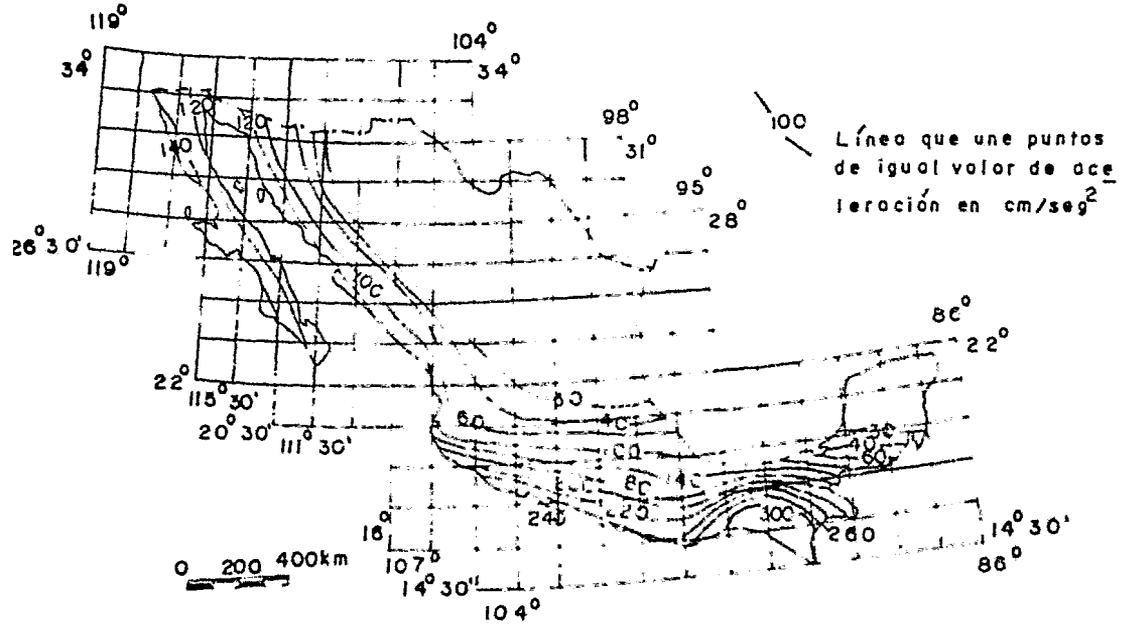
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ



Aceleraciones máximas del terreno con periodo de recurrencia igual a 500
años

Fig 4.5.2 Mapas de Regionalización sísmica Esteval(1970c)

Aceleraciones máximas del terreno con periodo de
recurrencia igual a 100 años



Tesis Profesional

LUIS A. AGUILAR PEREZ

EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

Aceleraciones máximas del terreno con periodo de
recurrencia igual a 500 años

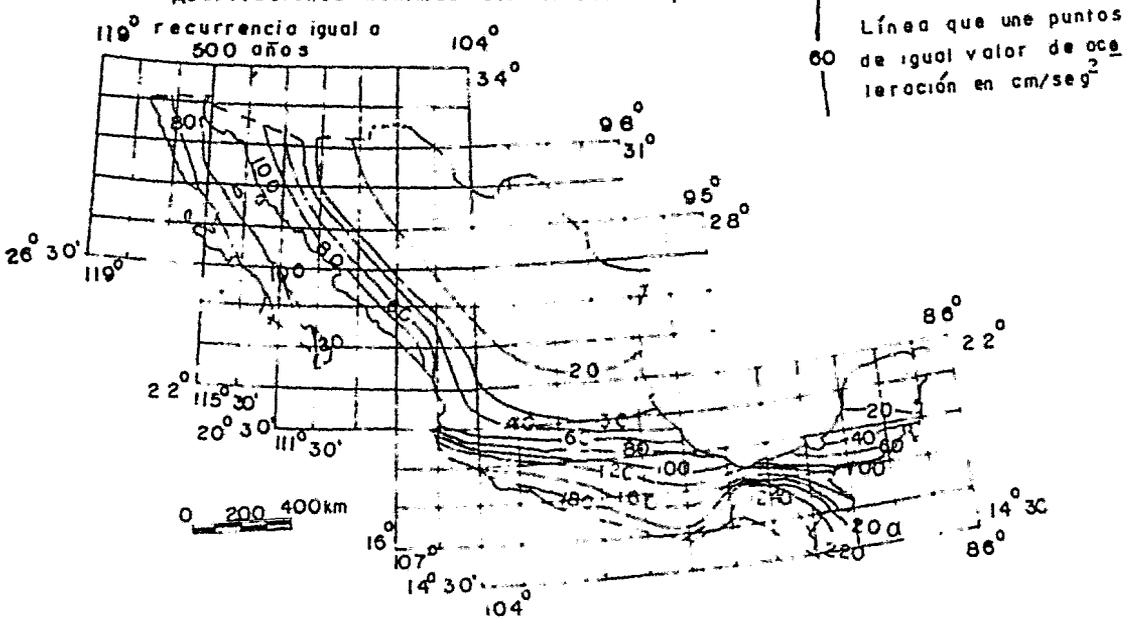


Fig 4.5.3 Mapas de Regionalización sísmica Esteval (1970a)

El temblor base de diseño nos sirve para definir al temblor severo que es aquel que impedirá a la planta hidroeléctrica funcionar pero no causará daños.

El temblor base operacional define al temblor esperado que es aquél que puede ocurrir durante la vida de una planta sin causar interrupciones en el funcionamiento de la misma.

En relación al Proyecto Hidroeléctrico El Caracol situado unos 50 km aguas abajo del Proyecto Sn. Juan Tetelcingo, los cuales se encuentran dentro del mismo bloque cratónico, se han propuesto los siguientes valores de aceleración:

- a) 0.15 g (Bernal-Montemayor y Cuéllar Borja, 1975).
- b) 0.18 g (Raúl J. Marsal).
- c) 110 cm/seg^2 para $T= 100$ años (Esteva y Bazán, 1978).
- d) 150 cm/seg^2 para $T= 500$ años (Esteva y Bazán, 1978).
- e) 270 cm/seg^2 para $T=1,000$ años (Esteva y Bazán, 1978), (datos tomados de Maycotte, J. I. y Cserna, Zoltan de 1981, p. 40).

CAPITULO VGEOLOGIA DEL SITIODESCRIPCION DE LOS SITIOS ESTUDIADOS

A fin de realizar la construcción de una presa en el área de Sn. Juan Tetelcingo debido a que el río Balsas fluye en un amplio valle, y dicho valle se estrecha unos 5 km aguas abajo -- del poblado anteriormente mencionado, se han estudiado 4 ejes -- o sitios para el establecimiento de la cortina, (ver fig. 5.1) de los cuales el eje 4 resultó ser el que presenta las mejores condiciones geológicas y geotécnicas para la construcción de -- dicho proyecto. El orden cronológico en que se han estudiado -- es el siguiente: El primer sitio estudiado fue el eje 3, local -- lizado a 6.9 km a partir del puente de Mezcala, hacia aguas -- arriba, del río Balsas; su estudio se llevó a cabo a partir de la excavación de un socavón en la margen izquierda con 71 m de desarrollo, así como también siete barrenos distribuidos de la siguiente manera: Uno en la margen derecha y seis en la mar -- gen izquierda, los resultados obtenidos a partir de estos estu -- dios permitieron concluir que dicho sitio no reunía las caracte -- rísticas requeridas, para la construcción del proyecto en -- cuestión, debido a que se presume la presencia de grandes sub -- presiones que pondrían en peligro la estabilidad de la corti -- na; las subpresiones en esta zona se generarían por las aguas -- subterráneas que fluyen entre el contacto de las formaciones -- Cuautla y Mexcala, el cual se encuentra exactamente en el eje -- de este sitio. Cuatrocientos metros aguas abajo de este eje -- se propuso el sitio uno, en el cual se llevaron a cabo 3 soca -- vones con un desarrollo de 119 m localizados dos en la margen -- izquierda y uno en la margen derecha y además también se reali -- zaron, ocho barrenos, cinco en la margen derecha y tres en la -- izquierda. Este sitio fue descartado debido a la presencia de -- un gran porcentaje de calizos y artesianismo en las calizas y tra -- vertinos que afloran en este lugar, así como también la presen

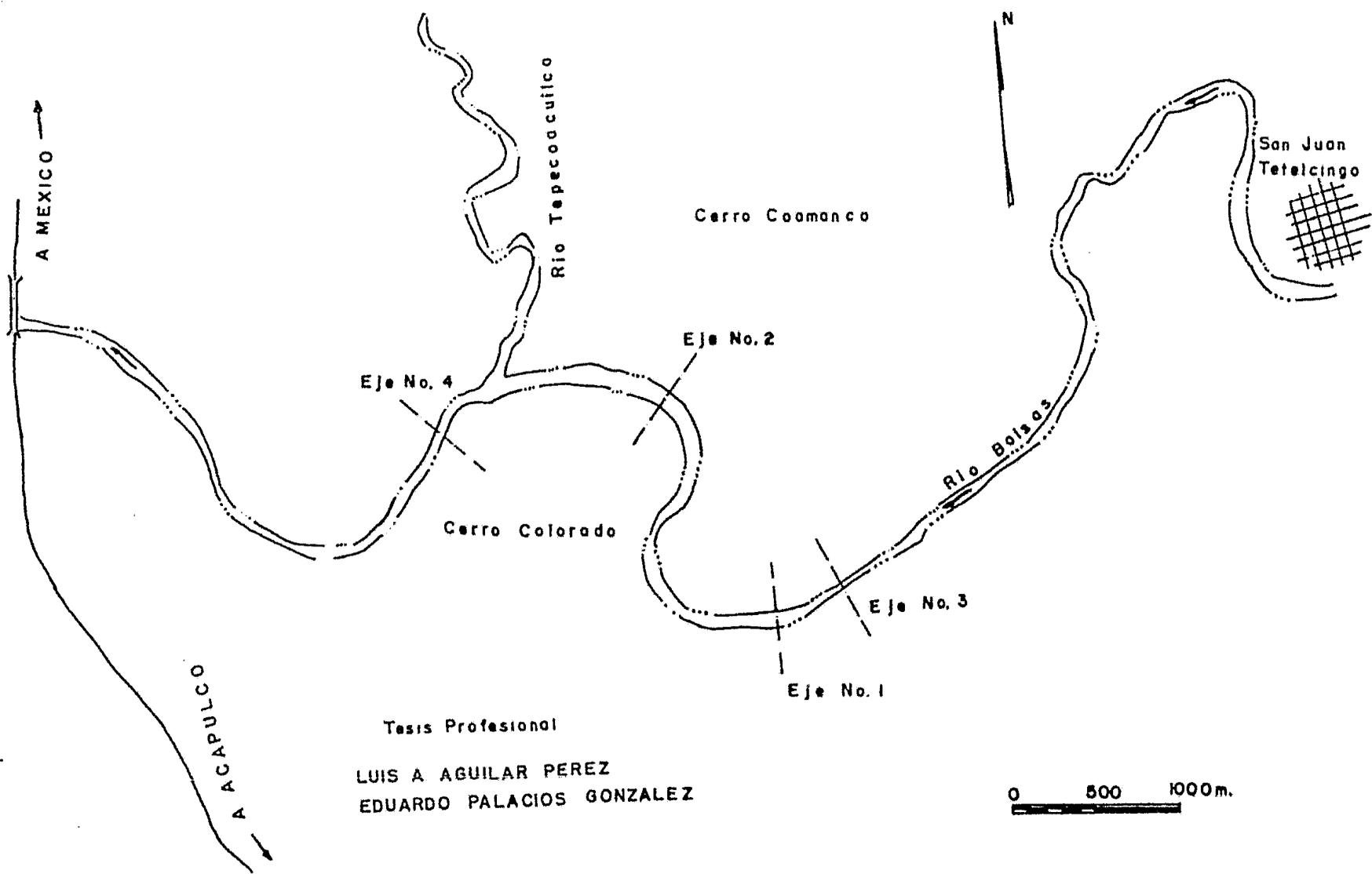


Figura 5.1 Localización de las alternativas en el P.H. San Juan Tetelcingo

cia de lutitas en contacto con las calizas generaba zonas altamente inestables. A una distancia de 4.5 km a partir del puente de Mezcala, hacia el oriente sobre el río Balsas se propuso, el eje 2 en donde se excavaron nueve socavones con una longitud de 553 m distribuidos de la siguiente forma: Seis socavones en la margen izquierda y tres en la derecha, además se perforaron 20 barrenos con una longitud de 2,581 m de perforación, encontrándose 17 en la margen izquierda dos en la derecha y uno en el cauce del río; en base a tales estudios se determinó que las rocas del miembro volcanoclástico Tetelcingo, sobre todo las tobas se expandían en presencia de agua y que su cohesión era muy baja o nula. Otro factor importante fue el desconocimiento de la profundidad a la que se encontraba el contacto entre el miembro Tetelcingo y la Formación Mexcala, la construcción de una presa sobre rocas como las del miembro volcanoclástico Tetelcingo implicaría un intenso tratamiento de estas rocas, lo que aumentaría el costo de la obra, por estas razones se descartó el sitio dos y se propuso el eje cuatro localizado 1.3 km aguas abajo del eje dos, que se ubica sobre el miembro superior de la formación Mexcala, en donde hay una predominancia de areniscas, con respecto a las lutitas, y representa el miembro que tiene las mejores condiciones geológicas y geotécnicas para el desplante de una presa.

LITOLOGIA

El sitio número cuatro, se encuentra sobre el miembro superior de la Formación Mexcala, que aflora en la margen derecha, así como en la margen izquierda en donde también encontramos depósitos continentales que constituyen un antiguo cauce del río Balsas así como rocas volcanoclásticas del miembro Tetelcingo.

La Formación Mexcala en dicho eje consta de una alternancia de lutitas y areniscas, con predominio de estas últimas con espesores de 20 cm a 3 metros y de las lutitas con un espesor promedio de 15 cm. Las areniscas se encuentran de frescas a ligeramente alteradas con un color de intemperismo generalmente gris pardusco, y al fresco gris oscuro. Las lutitas se encuentran de moderadamente a intensamente alteradas con un color de intemperismo café pardusco. También se presentan algunos estratos de conglomerado polimictico, que se observan en la margen derecha, de color gris oscuro al fresco y gris pardusco cuando está intemperizado, presenta una matriz arcillosa y cementante calcáreo, con fragmentos subredondeados a redondeados de cuarzo, arenisca, caliza, etc., los fragmentos varían de 0.5 cm hasta 7 cm de diámetro. En ocasiones se encuentran sulfuros de Fe (pirita) en las lutitas que al intemperizarse a óxidos e hidróxidos de Fe, probablemente le den el color pardusco de intemperismo.

Como ya se mencionó en la margen izquierda, se tiene un antiguo cauce del río Balsas, compuesto por acarreos de composición muy variable, de rocas ígneas extrusivas y sedimentarias.

Las rocas del miembro volcanoclástico Tetelcingo sólo afloran en la margen izquierda y se encuentran a la elevación 615 m.s.n.m. y constan de brechas de color rojo oscuro al fresco y color rojo ladrillo al intemperismo, los fragmentos varían de angulosos a subangulosos existiendo uno que otro subredondeado, el tamaño de los fragmentos es variable, de 1 cm - 15 cm de diámetro, por lo general están ligeramente intemperizadas; su composición es intermedia (andesítica) o dacítica, dichas brechas se encuentran en la parte superior de la secuencia, graduando a brechas tobáceas y estas a tobas brechoideas y tobas, compuestas por fragmentos piroclásticos cuyo tamaño varía entre ceniza y lapilli, las tobas son expansivas porque tienen -

arcillas del tipo de la montmorillonita.

Sobre el cauce del río, se ha encontrado un espesor de aluvión de 10 m en promedio; hacia la margen izquierda sobre el río, - existe un playón de 100 m de ancho con espesores variables entre 6 y 14 m. En el cauce del río el aluvión descansa sobre - areniscas y lutitas de la Formación Mexcala.

ESTRUCTURAS Y DISCONTINUIDADES

El eje cuatro se encuentra en el flanco occidental del sinclinal Carrizal, en donde aparece una leve flexura anticlinal en la margen derecha, los echados de estas rocas en esta margen - varían entre 10° y 25° inclinados hacia el río, aumentando su - valor al alejarse del eje, por lo que no representan peligro - potencial de deslizamiento.

Las discontinuidades, son muy importantes, ya que pueden ocasionar serios problemas geotécnicos, como deslizamientos de -- taludes rocosos, sobre todo si están saturadas, y puesto que - son zonas de debilidad disminuyen la resistencia de la roca y - le inducen permeabilidad secundaria, además de que ésta se altera más rápidamente al percolar el agua en dichas discontinui - dades.

Para la zona de la boquilla las discontinuidades que se presen - tan son principalmente fracturas, planos de estratificación y - algunas fallas de poca importancia. De acuerdo con Goodman -- (1980, p. 23) las fracturas disminuyen la resistencia a la ten - sión a casi cero en la dirección perpendicular al plano de la - fractura, y restringen la resistencia a la cizalla en la direc - ción paralela a el plano de fractura por lo que es muy impor - tante definir los sistemas predominantes, así como su orienta - ción e inclinación, para tal efecto se elaboraron diagramas es

terográficos para cada margen (ver figs. 5.2 a 5.5), en base a la información obtenida de los socavones.

Se determinaron tres sistemas predominantes, que afectan a la formación Mexcala, los sistemas son, en orden de importancia: Sistema alfa (α), beta (β) y gamma (γ).

El sistema α tiene un rumbo preferencial NW-SE 3° - 17° con echados que varían de 78° - 90° principalmente al NE, aunque hay algunos al SW. Existen pequeñas variaciones al NE con un rumbo de NE-SW 3° con echados al SE principalmente cuya intensidad varía de 70° - 90° (ver fig. 5.4).

El sistema β tiene una orientación NE-SW 72° - 88° con echados de 64° - 84° al NW, aunque se presentan variaciones al NW-SE con un rumbo preferencial de NW-SE 80° con echados al NE con una intensidad entre 68° - 90° , (ver fig. 5.4).

El sistema γ es menos frecuente que los anteriores y su orientación preferencial es NW-SE 78° - 82° con echados de 78° - 90° al NE.

Para las rocas del miembro volcanoclástico Tetelcingo se determinaron tres sistemas en la zona de la boquilla los cuales son llamados delta (δ), rho (ρ) y fi (ϕ). El sistema δ tiene una orientación preferencial NE-SW 41° - 90° con echados al NW cuya intensidad varía entre 46° y 76° aunque también se presentan echados subverticales a verticales. Existen variaciones al NW con rumbo de NW-SE 88° con echados al NE de 86° - 90° , (ver fig. 5.5.).

El sistema ρ tiene un rumbo NW-SE 70° - 82° con echados al NE de 54° a 68° .

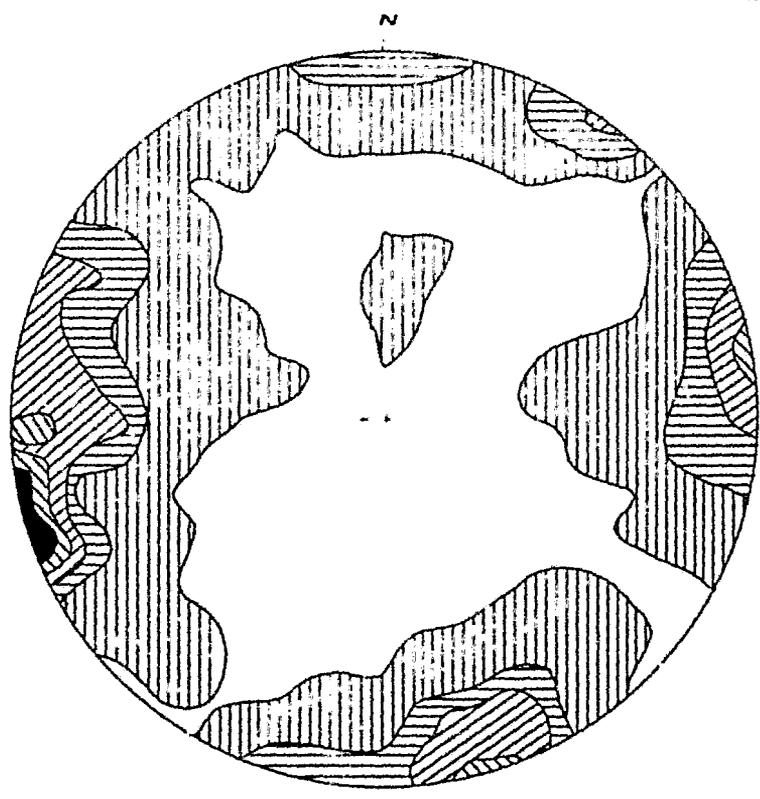


Diagrama elaborado con base en 85 fracturas

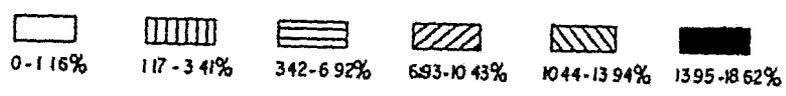


Figura 52- DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DEL FRACTURAMIENTO EN LA BOQUILLA, MARGEN DERECHA FORMACION MEXCALA

Tesis Profesional

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

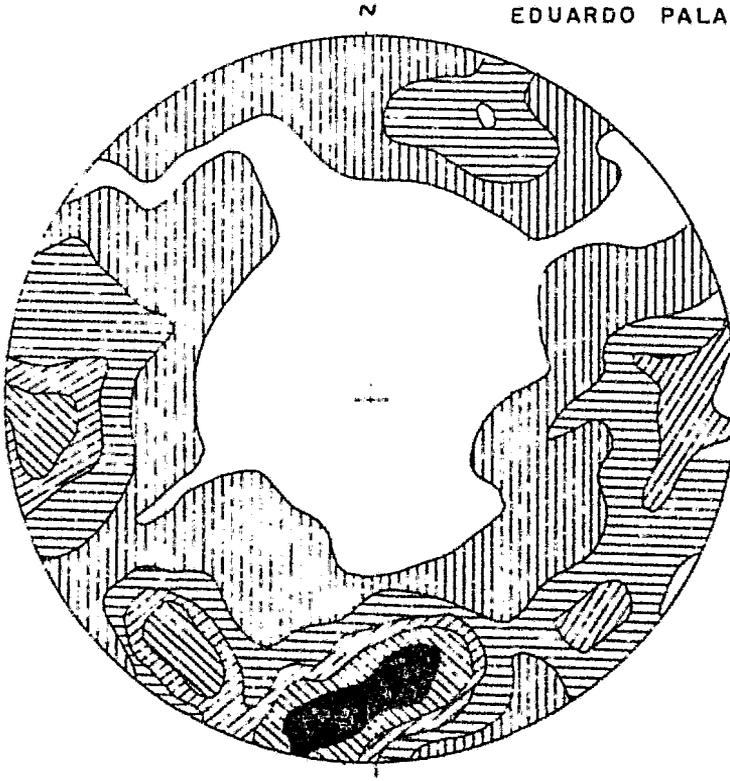


Diagrama elaborado con base en 161 fracturas

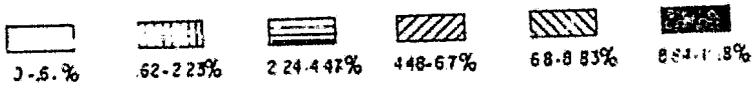


Figura 53. DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DEL FRACTURAMIENTO EN LA BOCUJILLA, YARGEN
IZQUIERDA FORMACION MEXCALA

Tesis Profesional

LUIS A AGUILAR PEREZ

EDUARDO PALACIOS GONZALEZ



Diagrama elaborado con base en 242 fracturas

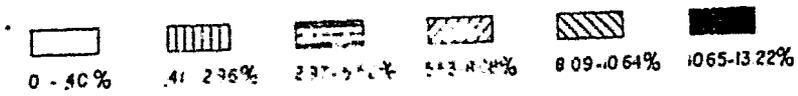


Figura 54 - DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DEL FRACTURAMIENTO EN LA ZONA DE LA BOQUILLA (FORMACION MEXCA A MARCA TEMPERA Y DERECHA)

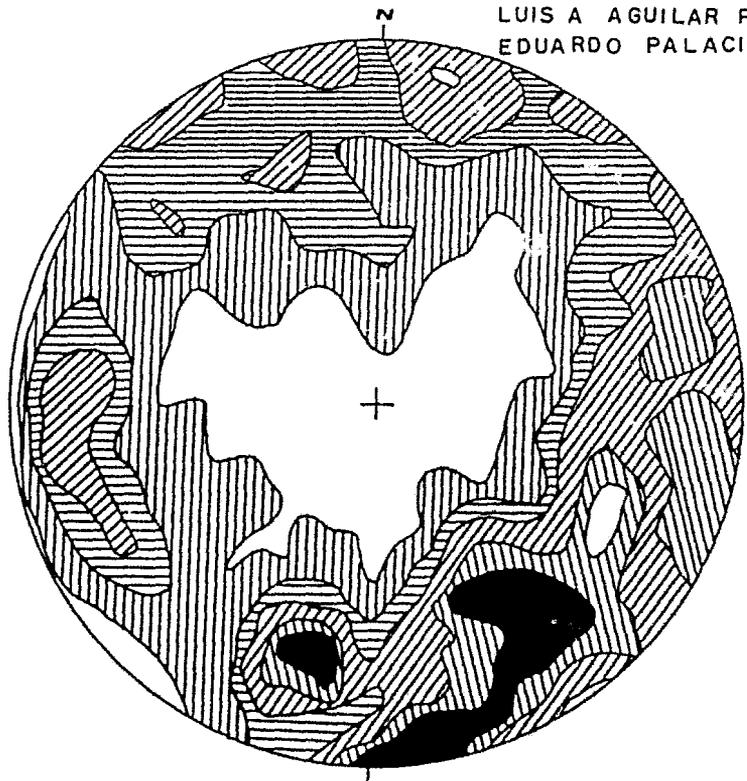


Diagrama elaborado con base en 168 fracturas

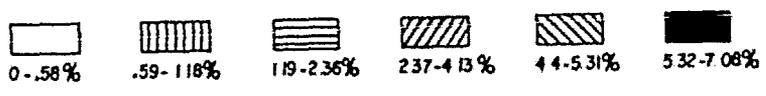


Figura 55 - DIAGRAMA DE FRECUENCIAS DEL FRACTURAMIENTO DE LAS ROCAS DEL MIEMBRO VOLCANOCLASTICO TETELCINGO

El sistema ϕ es menos frecuente que los anteriores y su - - orientación es NW-SE 7° - 26° con echados que varían entre 60° - y 84° al SW. En la formación Mexcala la mayoría de las fracturas, están cerradas o con 1 mm-5 cm de espesor con relleno de calcita y arcilla, las superficies son generalmente lisas o poco rugosas y de ligeramente ondulantes o planas.

En el caso del miembro volcanoclástico Tetelcingo las fracturas se encuentran cerradas o con un espesor de relleno de 1mm-7 cm de arcilla, calcita y material brechoide.

PERMEABILIDAD Y CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS

Se efectuaron pruebas Lugeon para determinar la permeabilidad en la margen izquierda y en el cauce del río para la alternativa número cuatro. De las cuales siete se realizaron en la margen izquierda en rocas volcanoclásticas y cuatro en la Formación Mexcala en el cauce del río, debido a que los barrenos en los cuales se realizaron las pruebas Lugeon están relativamente espaciados entre sí; no se construyeron planos de isopermas, ya que se tendrían que extrapolar valores en distancias relativamente grandes, lo que podría conducir a asumir conclusiones inexactas, por esta razón se delimitan las zonas con características similares de permeabilidad.

En el cauce del río, las pruebas de permeabilidad promediaron valores de 1 a 2 unidades Lugeon, en el miembro superior de la Formación Mexcala sin embargo en las zonas con mayor fracturamiento y en donde predominan las areniscas la permeabilidad se eleva hasta 6 U.L. el promedio para este miembro es de 2.64 U.L. Para la margen izquierda en las tobas y tobas brechoides, se tienen valores de 5 a 8 U.L., incrementándose donde las rocas están fracturadas, y para las brechas y brechas-tobáceas se tienen valores de 8-18.5 U.L.

De acuerdo a los datos anteriores se puede observar que la permeabilidad disminuye al aumentar el contenido de material tobáceo por lo que en la secuencia toba, toba brechoide, brecha -- tobácea y brecha; la permeabilidad se incrementa siendo menor en las tobas y mayor en las brechas.

En el contacto de las rocas volcanoclásticas y la Formación -- Mexcala la permeabilidad es nula debido a que se tiene un espesor de 2 m de arcilla.

En la zona de la cortina, en base a tres sondeos realizados en la Formación Mexcala, se observó que en zonas con 60% de RQD - la permeabilidad es de hasta 7.5 U.L. y en zonas con un RQD de 85% la permeabilidad es de 0.5 U.L., en base a estos datos se podría hacer la aseveración de que a menor RQD se tiene mayor permeabilidad.

En relación a las condiciones geohidrológicas, para el eje - - cuatro, se realizaron 36 perforaciones, con profundidades de - hasta 355 m y no se detectó el nivel freático, por lo que se - considera una zona impermeable, sin embargo en los playones se encontró el nivel freático a una profundidad de hasta 1.5 m.

Se tiene una zona de artesianismo 3.5 km aguas arriba del eje - cuatro que se considera relacionado con la mayor porosidad y - permeabilidad de las calizas de la Formación Cuautla que se -- encuentran confinadas por la Formación Mexcala.

En la zona del eje cuatro se observó que en los socavones se - presentan infiltraciones de poca importancia sobre todo en la - intersección de los sistemas de fracturas α y β en la Forma- - ción Mexcala, por lo que se necesitará tratar al macizo rocoso para sellar dichas fracturas. Estas infiltraciones son produc- to de la precipitación pluvial.

INTEMPERISMO

Uno de los aspectos importantes dentro de las investigaciones geotécnicas lo constituye la determinación del grado y profundidad del intemperismo existente en la zona de estudio, ya -- que el mismo disminuye la resistencia a la compresión simple de las rocas, y modifica el comportamiento mecánico de las -- mismas. El intemperismo se acentúa en zonas de intenso fracturamiento.

En particular en el área del Proyecto Hidroeléctrico Sn. Juan Tetelcingo, la susceptibilidad de las rocas a ser intemperizadas varía de acuerdo a la litología existente. Lo anterior -- se puede constatar en los diferentes miembros de la Formación Mexcala, en el miembro inferior la roca está de ligera a moderadamente alterada, se encuentra descolorida, fragmentada y -- menos de la mitad está desintegrada a suelo, mientras que en el miembro medio, la roca se encuentra de moderada a altamente alterada, aproximadamente la mitad de la misma se encuentra desintegrada a suelo y gran parte de la roca fresca se -- encuentra fragmentada, esto es debido a las discontinuidades -- y a la predominancia de lutitas en esta zona las cuales son -- fácilmente alterables.

En el miembro superior donde existe una predominancia de arenisca calcárea, la corteza de intemperismo es muy delgada -- (de 1 a 3 cm), generalmente la roca se encuentra sana; las -- mayores manifestaciones de intemperismo se observan en las -- principales superficies de discontinuidades y en los horizontes de lutita calcárea.

En las zonas de tobas y brechas el intemperismo actúa fácil -- y rápidamente, aunque como se pudo constatar las brechas son -- un poco más resistentes a la acción de la intemperie.

En las zonas de tobas el intemperismo es más intenso y profundo, en los socavones realizados en estas rocas se observa una fuerte alteración, ya que existen zonas donde casi toda la roca está descompuesta a suelo, mientras que las brechas tienden a presentar incluso roca fresca. Lo anterior se puede observar al oriente del eje de la alternativa 4 en el cerro Coamanco y en el Colorado, localizados en ambos márgenes del río, donde el intemperismo varía de unos cuantos centímetros a algunos metros, dependiendo del tipo de roca existente.

CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO

La evaluación de las masas rocosas basada en un sistema de clasificación es de gran valor, si dicha clasificación puede relacionarse a la solución de problemas específicos de ingeniería. Por lo que se han hecho diferentes proposiciones para establecer una clasificación geomecánica, tales como la de Terzaghi (1946), Lauffer (1958), Deere et al. (1970), Barton et al (1974), Bieniawski (1974), Wickham, Tiedemann y Skinner (1974), SIMR (1980), etc.

Debido a que se dispone de los datos que se requieren en la clasificación de Bieniawski y a que se considera una clasificación adecuada para fines geotécnicos, es la que se utilizará en el presente estudio.

La clasificación geomecánica de Bieniawski provee un valor general de la calidad de la masa rocosa, R.M.R. (Rock Mass Rating) incrementándose con la calidad de la roca de 0 a 100.

Está basada en cinco parámetros que son:

1. Resistencia a la compresión simple (R_c)
2. Índice de calidad de roca (RQD)

3. Espaciamiento de las juntas (Ej)
4. Condiciones de las juntas (Cj)
5. Condiciones hidrogeológicas (Ch)

Existe un sexto parámetro que es la orientación de las juntas que es aplicado diferentemente para tuneleo o cimentaciones.

Cada uno de estos parámetros varfa dentro de cierto rango - - (ver tablas 5.1 a 5.6), que al sumarlo nos determina el RMR o sea el valor de calidad del macizo rocoso, ver tabla 5.7, ésto es:

$$RMR = R_c + R_{QD} + E_j + C_j + Ch$$

El sexto parámetro se resta del valor obtenido en caso de que la orientación de las juntas sea de favorable a muy desfavorable al trabajo realizado (ver tabla 5.6).

Tabla 5.1 Incremento de la calidad de roca en relación con la resistencia a la compresión simple

Resistencia a la Compresión simple (Kg/cm ²)	R a n g o
> 2000	15
1000 - 2000	12
500 - 1000	7
250 - 500	4
100 - 250	2
30 - 100	1
< 30	0

Tabla 5.2 Incremento de la calidad de roca con el RQD.

R Q D (%)	R a n g o
91 - 100	20
76 - 90	17
51 - 75	13
25 - 50	8
< 25	3

Tabla 5.3 Incremento de la calidad de roca con el espaciamiento de juntas.

Espaciamiento de juntas (m)	R a n g o
> 3	30
1 - 3	25
0.3 - 1	20
0.005 - 0.3	10
< 0.005	5

Tabla 5.4 Incremento de la calidad de roca con las condiciones de las juntas.

Descripción	R a n g o
- Superficies muy rugosas de extensión limitada; pared rocosa dura.	25
- Superficies escasamente rugosas con abertura menor de 1 mm, pared rocosa dura.	20
- Superficies escasamente rugosas; abertura menor de 1 mm; paredes rocosas suaves.	12

- Superficies lisas, con relleno de 1-5 mm de espesor, o abertura de 1-5 mm; juntas que se extienden más de varios metros. 6
- Juntas abiertas, rellenas con más de 5 mm de espesor, o sin relleno con abertura de más de 5 mm; juntas que se extienden más de varios metros. 0

Tabla 5.5 Incremento de la calidad de roca de acuerdo a las condiciones hidrogeológicas.

Gasto por cada 10 m. de longitud de socavon (L/min)	Condición General	Rango
ninguno	Completamente seca	10
25	Húmeda	7
25 - 125	Agua bajo presiones moderadas	4
125	Problemas serios de agua	0

Tabla 5.6 Ajuste de la calidad de la roca en relación a la -
orientación de las juntas.

Evaluación de la influencia de la orientación en el tra <u>ba</u> bajo	Incremento del rango para túneles	Rango pa <u>ra</u> Cimen <u>ta</u> ciones
Muy favorable	0	0
Favorable	- 2	- 2
Regular	- 5	- 7
Desfavorable	-10	-15
Muy desfavorable	-12	-25

La tabla 5.7 consiste en la clasificación geomecánica de masas
rocosas.

C l a s e	Descripción de la masa rocosa	Suma de los incremen <u>ta</u> tos del rango de las tablas anteriores
I	Muy buena cali <u>da</u> dad	81 - 100
II	Buena calidad	61 - 80
III	Regular calidad	41 - 60
IV	Baja calidad	21 - 40
V	Muy baja calidad	0 - 20

Se determinaron cuatro unidades geomecánicas en la zona del -
eje cuatro, dos incluidas dentro de la Formación Mexcala y las
dos restantes se encuentran ubicadas dentro del miembro volca-
noclástico Tetelcingo.

UNIDAD U₁

Esta unidad se encuentra en el miembro superior de la Formación Mexcala, la cual consiste de estratos gruesos (hasta 3 m) de arenisca, con intercalaciones de lutita de 15 cm de espesor en promedio, y que en general presenta las siguientes características: El RQD promedio es de 76% por lo que le corresponde un valor de 17, el espaciamiento de juntas varía entre 0.25 y 1.5 m asignándole un valor de 22 para este parámetro, las condiciones de las mismas, son lisas y ligeramente onduladas, con un relleno de calcita-arcilla de 1 a 5 mm aunque encontramos algunas cerradas por lo anterior le corresponde un incremento en el RMR de 9.

El valor de la resistencia a la compresión simple se estimó en rango de 500-1000 kg/cm², por lo tanto le corresponde un valor de 9 para este parámetro. El macizo rocoso se encuentra completamente seco aunque existen filtraciones sobre todo en la intersección de los sistemas alfa y beta, debido a la precipitación pluvial, correspondiéndole un incremento de 9 en el RMR.

$$\begin{aligned} \text{RMR} &= \text{RQD} + E_j + C_j + R_c + C_h \\ \text{RMR} &= 17 + 22 + 9 + 9 + 9 = 66 \end{aligned}$$

El RMR corresponde a una roca de buena calidad, clase II (ver tabla 5.7 o Anexo 1).

UNIDAD U₂

Litológicamente consta de una interestratificación de areniscas y lutitas con predominancia de estas últimas, las areniscas presentan espesores que varían de 15 cm a 1 m de espesor,-

mientras que las lutitas son laminares. Esta unidad abarca la parte superior del miembro medio y la base del miembro superior de la Formación Mexcala.

Los valores de los parámetros de la clasificación de Bieniawski son los siguientes: El RQD varía entre 40-46% por lo que le corresponde un valor de 9, en esta unidad el fracturamiento es más cerrado variando entre 0.05 y 0.2 m, encontrando que -- las juntas son lisas y ligeramente onduladas con un relleno de 1 a 5 mm de calcita y arcilla por lo que los valores son respectivamente 10 y 7.

Para esta unidad el valor de la resistencia a la compresión simple es de 125-500 kg/cm² correspondiéndole un valor de 5, debido al material arcilloso en esta unidad las condiciones hidrogeológicas son óptimas por lo que le corresponde un valor de 10 para este concepto, el RMR correspondiente se calcula -- como sigue:

$$\begin{aligned} \text{RMR} &= \text{RQD} + E_j + C_j + R_c + C_h \\ \text{RMR} &= 9 + 10 + 7 + 5 + 10 = 41 \end{aligned}$$

El RMR cae en la clase III roca de mediana calidad.

UNIDAD U₃

Esta unidad litológicamente consta de tobas y tobas brechoides, las cuales predominan en la parte inferior del miembro volcánico clástico Tetelcingo. Los valores de los parámetros que permitieron clasificarla son los siguientes: El RQD promedio de -- estas rocas es de 73% y de acuerdo a esto le corresponde un -- valor de 13. Estas rocas se encuentran más fracturadas que la unidad U₄ y el espaciamiento promedio entre juntas es de 5 a --

35 cm, por lo tanto le corresponde un valor de 10 para este concepto, las condiciones de las juntas son las siguientes: - Las superficies son lisas, y el plano de las mismas es ligeramente ondulado con espesor de relleno de 0.5 - 1 cm compuesto de arcilla-calcita, por lo tanto el valor es de 5.

No se tienen pruebas de laboratorio de la resistencia a la compresión simple pero el valor estimado en el campo es de 125-500 kg/cm² por lo que le corresponde un valor de cuatro.

Las condiciones hidrogeológicas para estas rocas están determinadas por la impermeabilidad de las mismas, debido al material arcilloso que predomina en éstas, sin embargo en algunas fracturas sobre todo en las zonas donde están densamente fracturadas, se observan percolaciones que son producto de las infiltraciones de la precipitación pluvial por lo que se le asigna un valor de 8 a este respecto.

El RMR correspondiente es:

$$\begin{aligned} \text{RMR} &= \text{RQD} + \text{Ej} + \text{Cj} + \text{Rc} + \text{Ch} \\ \text{RMR} &= 13 + 10 + 5 + 4 + 8 = 40 \end{aligned}$$

Por lo que cae en la clase IV que corresponde a una roca de baja calidad.

UNIDAD U₄

Se encuentra incluida en el miembro volcanoclástico Tetelcingo y litológicamente está compuesta por brechas piroclásticas y brechas tobaceas, los parámetros de Bieniawski son los siguientes: El RQD promedio es de 73% por lo que tendrá un valor de 13 para este concepto, el espaciamiento de las juntas-

varfa de 0.3. a 1.4 m y tenemos que las superficies de las mismas son lisas y planas variando a rugosas y onduladas con un espesor de relleno de 2 mm a 1 cm constituido por arcilla, -- cuarzo y calcita, por lo que se les asigna un valor de 22 para el primer parámetro y 6 para el segundo. Se estima que el valor de la resistencia a la compresión simple oscila entre - 500-1000 kg/cm² por lo que tendrá un incremento en el RMR de 9.

Las condiciones hidrogeológicas para estas rocas son buenas, - a pesar de que son más permeables que las de la unidad U₃ están menos fracturadas por lo que se le asigna un valor de 8 - para este concepto, el RMR es:

$$\begin{aligned} \text{RMR} &= \text{RQD} + \text{Ej} + \text{Cj} + \text{Rc} + \text{Ch} \\ \text{RMR} &= 13 + 22 + 6 + 9 + 8 = 58 \end{aligned}$$

En base al valor anterior esta unidad cae en la clase III que es una roca de regular calidad.

La distribución de estas unidades se puede observar en el plano de unidades geomecánicas (anexo 1) que se encuentra al final del texto.

La unidad predominante en la zona del eje 4 es la U₁ que como ya se mencionó es de buena calidad, y es precisamente en di--cha unidad en donde quedarán alojadas las siguientes obras civiles de la alternativa 650: Vertedor, obra de toma, tuberías de presión, casa de máquinas, pozos de oscilación, túneles de desfogue y la obra de desvfo, todas estas obras se localizan en la margen derecha.

Para la alternativa 597 solo parte del vertedor de la margen izquierda quedará alojado en la unidad U₃ que es una roca de baja calidad, las demás obras quedarán alojadas en la unidad-

U₁

CAPITULO VIASPECTOS GEOTECNICOSCONDICIONES GEOLOGICAS EN LA REGION DE EMBALSE

Las investigaciones geológicas para las estructuras hidráulicas, se concentran principalmente en los problemas del sitio de la - cortina. Sin embargo problemas tales como la permeabilidad en- el vaso, azolve del mismo, estabilidad de pendientes y laderas, etc., no son menos importantes para la economía y durabilidad - del proyecto. Las investigaciones geotécnicas deben por lo tan- to enfocarse a los siguientes problemas (Záruba 1976, p. 436):- a) Permeabilidad en el vaso b) Estabilidad de pendientes y la- deras c) Azolve del vaso.

En el presente trabajo los problemas anteriores se han tratado- en base a la elaboración de planos geológicos regionales escala 1:100 000 por medio de fotografías aéreas en donde se han carto- grafiado las diferentes unidades litológicas en el área de em- balse así como las estructuras que las afectan (ver fig. 3.1).

Para realizar un análisis más específico sobre el área de embal- se con el objetivo de hacer una zonificación de la permeabili- dad, revisar la estabilidad de pendientes y laderas, así como - determinar el posible azolve del vaso, se realizaron estudios- geomorfológicos que básicamente constan de tres cartas morfomé- tricas.

1. CARTA DE DENSIDAD DE DISECCION O DENSIDAD DE DRENAJE.

Para llevar a cabo esta carta se tomo como base una carta topo- gráfica escala 1:50 000 de DETENAL (E 14 C 18), la cual es atra- vesada en su totalidad por el río Balsas, que de manera general presenta un rumbo casi E-W, dentro de esta carta queda ubicada- la posible zona de embalse del sitio cuatro del P.H. Sn. Juan - Tetelcingo (ver anexo 2).

La carta fue dividida en cuadrantes con un área aproximada de 20 km c/u en donde se trazaron los talwegs en su totalidad (marcados por las corrientes o inferidos por la configuración de las curvas de nivel), posteriormente se midió la longitud de los mismos en km y se dividió entre la superficie de cada cuadrante (20 km^2), con lo cual se obtiene la densidad; el valor obtenido se anotó en el centro de cada cuadro, a partir de los cuales se interpoló a cada 0.5 km, obteniéndose de este modo isolneas de densidad de disección.

La aplicación que se le dio a esta carta fue la de relacionarla con la carta geológica del área, así como complementando con datos obtenidos en el campo, para poder realizar la zonificación de la permeabilidad de la zona en cuestión. A partir de los datos anteriores se infirieron tres principales zonas de permeabilidad. P_1 : Zona de alta permeabilidad con aproximadamente una densidad de disección de 1 a 2 km/km^2 , caracterizada por la presencia de fuertes procesos carsticos, los cuales se reflejan en la gran cantidad de dolinas y sumideros presentes en rocas calizas. P_2 : Zona de regular permeabilidad con aproximadamente una densidad de disección de 2 a 2.5 km/km^2 , caracterizada por la disminución de procesos carsticos, en donde solo se llegan a observar dos o tres dolinas de poca importancia, e incluso se tiene un fuerte incremento de material arcilloso. P_3 : Zona de baja permeabilidad con una densidad de disección aproximadamente de 3 a 4, incluso valores un poco más altos de 4 km/km^2 , caracterizada por la presencia de rocas predominantemente impermeables, principalmente lutitas, areniscas y rocas volcanoclásticas con gran cantidad de material arcilloso, así como un fracturamiento moderado, ya que de otra manera un fuerte fracturamiento puede generar permeabilidad secundaria lo cual no es el caso.

El fuerte contraste de los valores de la densidad de disección-

en la zona de estudio, está controlado principalmente por la litología, ya que zonas con una baja densidad de disección coinciden con áreas de rocas calizas con la presencia de procesos carsticos, en donde el agua más que escurrir predominantemente-percola no dando ocasión a la formación de drenajes densos. En-contraste con las zonas anteriores se tienen áreas con valores-de disección altos, los cuales determinan zonas de baja permea-bilidad en donde el agua al no poder infiltrarse por la roca tiende a escurrir generando zonas de alto drenaje, en el área de estudio estas zonas coinciden con rocas básicamente impermea-bles tales como lutitas, arenisca y calizas arcillosas.

No siempre se tienen zonas impermeables cuando se tienen rocas-arcillosas, ya que las mismas pueden presentar un fuerte fractu-ramiento y por lo tanto, valores altos de permeabilidad es de-cir permeabilidad secundaria, es por esto que es importante rea-lizar el análisis de la densidad de disección con el objetivo de tener mayor información y concluir con mayor veracidad en cuanto a la permeabilidad.

El área del vaso, como se puede apreciar en la carta de zonifi-cación de permeabilidad, se encuentra dentro de la zona de baja permeabilidad junto con esto se tiene que la zona de alta per-meabilidad se encuentra relativamente lejos del área de embalse, por lo cual no se prevee problemas de permeabilidad en el vaso.

2. CARTA DE PENDIENTES

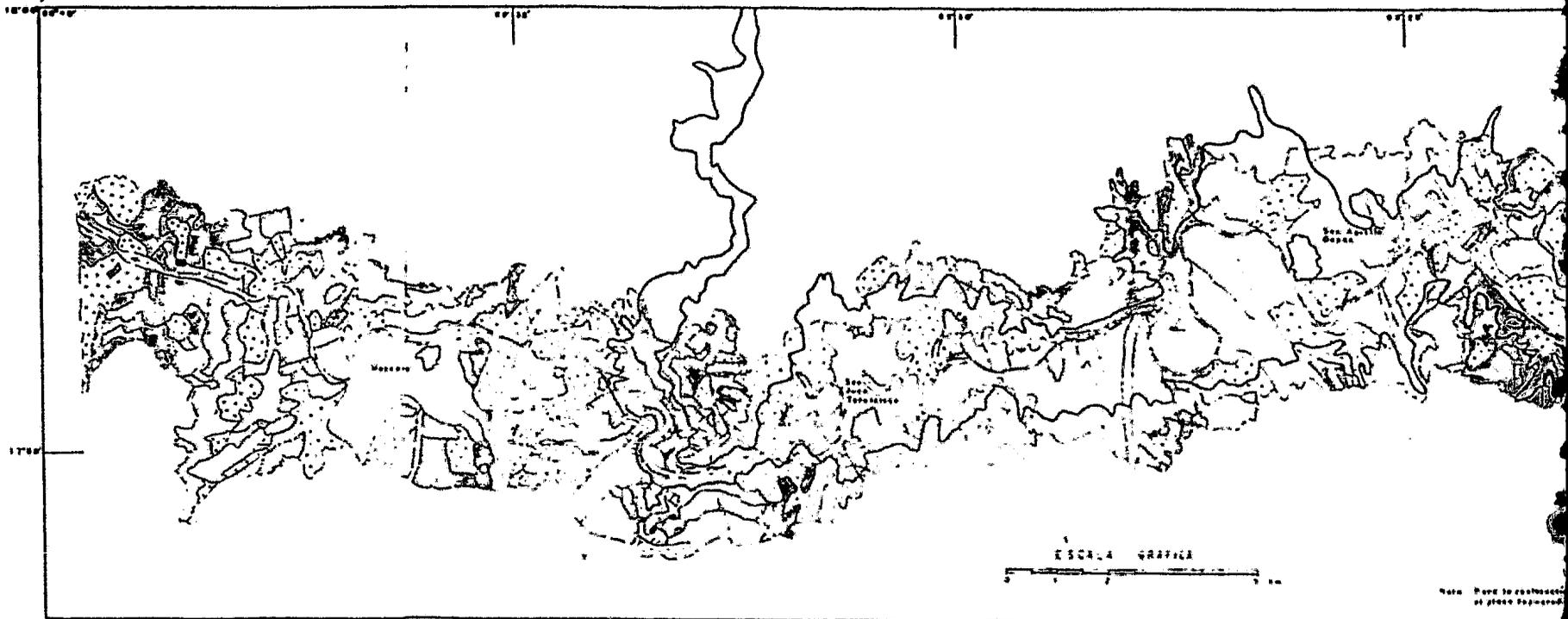
Otra carta que se realizó y que es de gran importancia dentro de la Geomorfología aplicada es la llamada carta de pendientes, que a diferencia de la de densidad de disección solo se elaboró en la zona de mayor influencia, esto es aproximadamente 3 km de amplitud hacia ambas márgenes del río y tomando en cuenta como límite los parteaguas de mayor importancia en cuanto a su-

influencia con respecto a la zona de embalse. Para la elaboración de esta carta se consideraron las siguientes categorías de pendientes: 1) 0 a 3°, 2) 3 a 6°, 3) 6 a 15°, 4) 15 a 30°, - - 5) 30 a 45° y 6) mayores de 45° de inclinación.

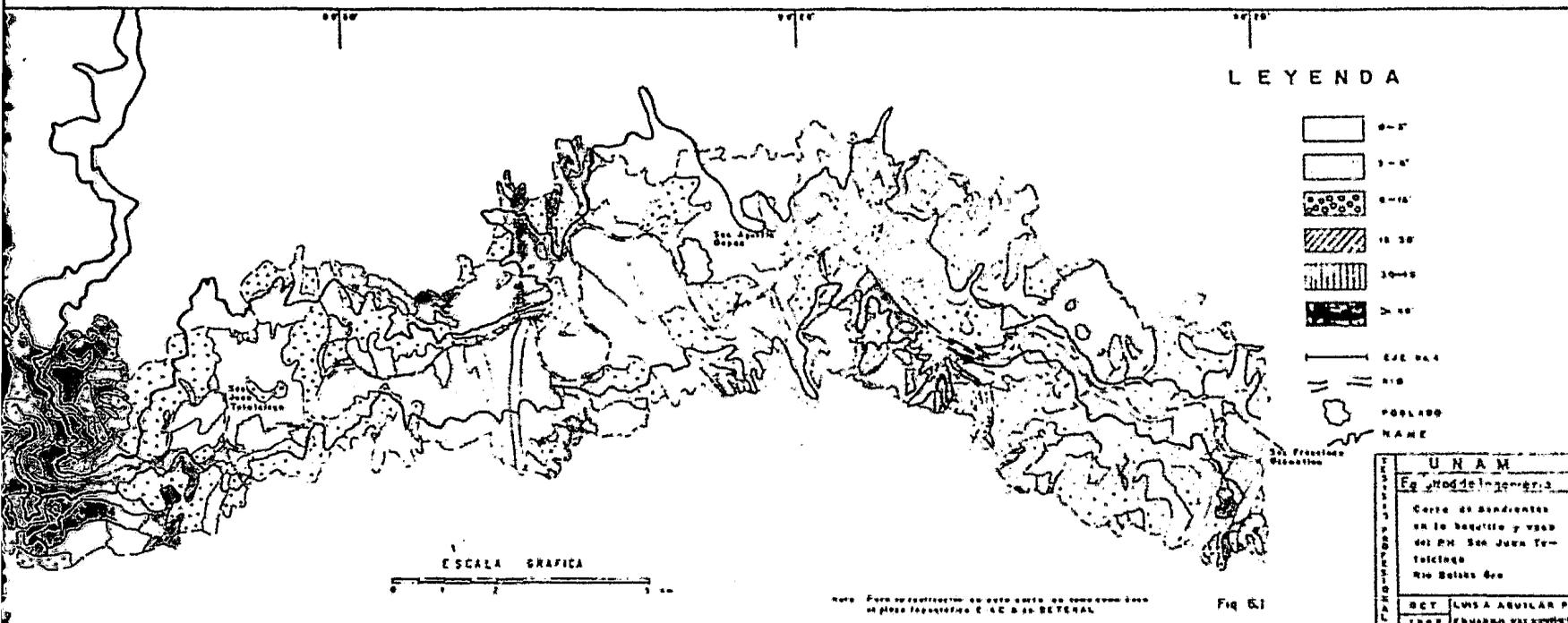
La variación de pendientes es muy amplia a lo largo de toda la zona cartografiada que comprende aproximadamente 35 Km de longitud. (ver fig. 6.1). Este tipo de cartas son de gran importancia dentro de la Ingeniería geológica debido a que zonas de fuerte inclinación y asociadas a la geología existente es posible determinar zonas potenciales de deslizamiento, en el caso de la zona de estudio es importante hacer notar que aproximadamente 1.5 km al oriente del eje 4 se tienen pendientes de 15 a 30° en donde afloran rocas volcanoclásticas, las cuales presentan una inclinación hacia el río en la margen izquierda y por lo tanto representa una zona de posible deslizamiento, es por esto que se recomienda realizar estudios de estabilidad de taludes de forma detallada en esta área, con el objetivo de determinar la mejor medida para prevenir estos posibles movimientos, ya que esta zona se encuentra cercana al eje de la cortina y -- por lo tanto representa un peligro potencial para la estabilidad de la presa. Se podría decir que ésta es la parte más crítica, ya que más al oriente se tienen pendientes que oscilan de entre 3 y 15°, lo cual se conserva hasta 5 km aguas arriba del poblado de Sn. Juan Tetelcingo, en donde se vuelven a tener pendientes fuertes que llegan a tener valores de hasta 45° pero se tiene una predominancia de pendientes de entre 15 y 30°, las -- cuales no representan peligro potencial debido a la lejanía con respecto al eje y a que los echados de la roca son moderados.

3.- CARTA DE PROCESOS GEOMORFOLOGICOS

La tercera y última carta realizada fue la llamada Carta de pro



Note: Para la reproducción en otros papeles



LEYENDA

- 0-5
- 5-10
- 10-15
- 15-20
- 20-25
- 25-30
- EJE D.A.
- RIO
- POBLADO
- NAME

ESCALA GRAFICA

Nota: Para información de este mapa se consultó con el plano topográfico C. 42 de S. BETHAL

Fig. 6.1

UNAM	
Esc. de Ingenieros	
Corte de Amatenas en la boquilla y uso del RM. San Juan Totolcingo Rio Belaká Gu.	
DISEÑADO POR	LUISA AGUILAR P.
AÑO	1968

cesos geomorfológicos, la cual se elaboró en base a la interpretación de fotografías aéreas de escala 1:50 000, vaciando la información obtenida en el plano topográfico E 14 C 18 de DETENAL también a escala 1:50 000. Esta carta cubre al igual que la de pendientes solo la zona de mayor influencia hacia el cause del río Balsas, claro esto dentro de la zona de embalse.

Los principales procesos que se determinaron en la zona cartografiada son variables y de diferentes intensidades. Primeramente se tiene la acumulación aluvial, tal material se presenta con granulometría variable y ha sido depositado de tal forma -- que ha quedado como material estable, en contraste con la acumulación aluvial con fuerte remoción, la cual debido a su posición y pendiente del cauce donde se encuentra, está sufriendo -- constante remoción hacia el río Balsas, esto se observa en los principales afluentes del río, como el río Tepecoacuilco.

La siguiente zona son las terrazas, las cuales son consideradas como superficies estables debido a que no se tienen procesos -- erosivos ni acumulativos de importancia. No son muy predominantes pero se caracterizan por estar cerca del río y son áreas de asentamientos humanos.

Otra de las zonas observadas la constituye una zona de erosión muy débil, la cual está representada por planicies o elevaciones con erosión muy débil en estas áreas el proceso erosivo no tiene mucha injerencia y por lo tanto son caracterizadas como -- zonas estables.

Existe una zona de erosión débil que predominantemente se presenta al norte de Sn. Juan Tetelcingo en donde se tienen pendientes de entre 3 y 15° las cuales fueron cartografiadas como -- laderas de poca erosión, debido a que están constituidas por ro

cas resistentes a este proceso.

La siguiente zona es la de erosión media, que está representada por laderas con pendientes de 6 hasta 45° , en donde se observan procesos exógenos atacando a la roca de no muy alta resistencia a los mismos.

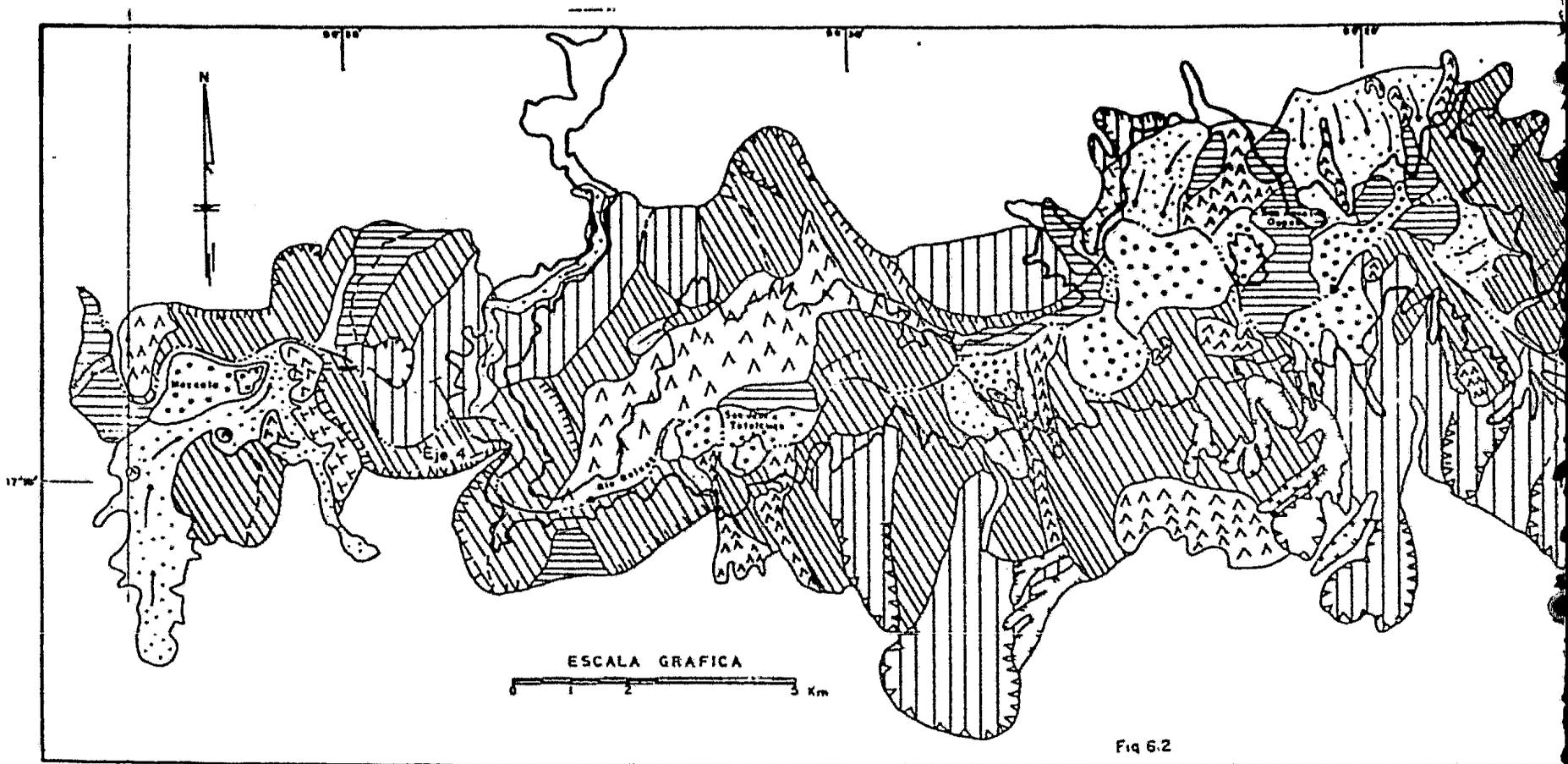
La zona de procesos erosivos intensos junto con los valles erosivos montañosos (ver fig. 6.2), constituyen áreas importantes desde el punto de vista aporte de sedimentos hacia la zona de embalse, es principalmente en estas zonas donde se observa el desarrollo de los circos de erosión y parteaguas escarpados, en donde se remueve gran cantidad de material preparado por el intemperismo, por lo cual es de vital importancia realizar estudios detallados para determinar la cantidad de aporte promedio por año de sedimentos hacia el vaso, con el objetivo de determinar la velocidad de azolve y con esto tomar las medidas pertinentes para el caso, evitándolo en la máxima medida posible y con esto aumentar la vida útil de la presa.

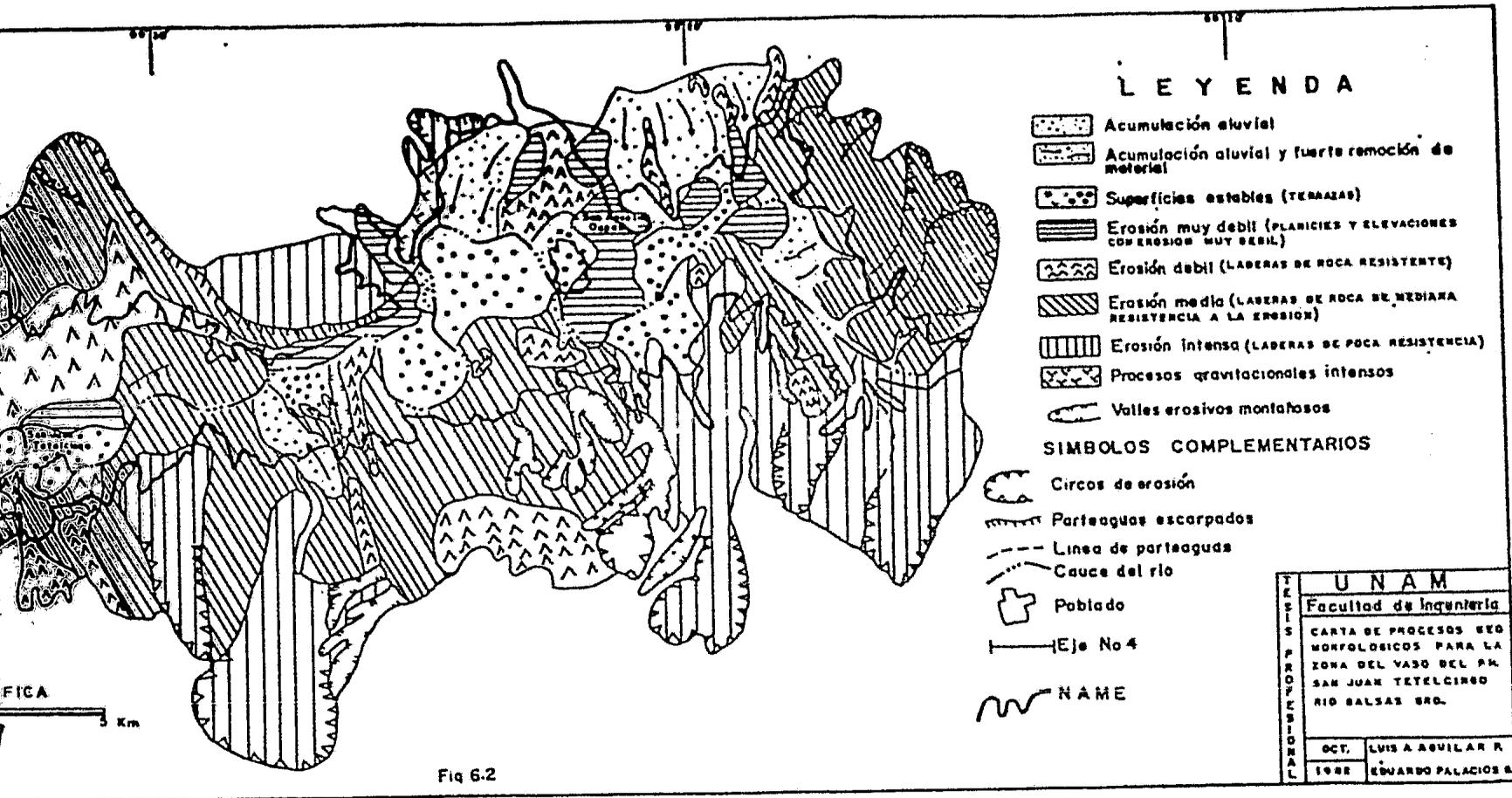
Por último se indentificaron dos áreas de procesos gravitacionales intensos de los cuales, solo uno que queda al occidente del poblado de Sn. Agustín Oapan podría representar algún peligro, pero debido a su lejanía con respecto al eje de la cortina, se considera solo como una zona potencial de alta aportación de material que contribuirá al azolvamiento del vaso.

CONDICIONES GEOTECNICAS DE LAS OBRAS

Para el eje cuatro existen dos alternativas para cada una de las siguientes elevaciones: 597 m, 640 m, 650 m.s.n.m.

A la elevación 597 m se tienen dos tipos de cortinas, una de ma





INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TECNOLÓGICAS	UNAM	
	Facultad de Ingeniería	
	CARTA DE PROCESOS GEO MORFOLÓGICOS PARA LA ZONA DEL VASO DEL PA. SAN JUAN TETELCIRGO RÍO BALSAS SRO.	
	OCT. 1988	LUIS A. AGUILAR R. EDUARDO PALACIOS S.

teriales graduados y la otra de estructura rígida de tipo gravedad.

Para la elevación 640 m se tienen dos alternativas que son de materiales graduados, solo que el diseño de la obra de desvío, vertedor y la obra hidroeléctrica es diferente en cada una de ellas, en la primera la obra hidroeléctrica se localiza en la margen derecha y la obra de desvío en la margen izquierda. La obra de excedencias se localiza aproximadamente en el eje del anticlinal que se encuentra entre el anticlinal Valerio Trujano y el sinclinal Carrizal, la otra tiene la obra hidroeléctrica en la margen izquierda y la obra de desvío en la margen derecha, la obra de excedencias se encuentra localizada en el flanco del anticlinal ya mencionado.

A la elevación 650 m, tenemos dos tipos de cortina, una de materiales graduados y la otra de gravedad. (González y Denetro J. 1981, p. 5.14). Las dos alternativas más viables son la de tipo gravedad a la elevación 597 m y la de materiales graduados a la elevación 650 m. Por lo que serán las dos alternativas a las que comentaremos los problemas geotécnicos de cada una de sus obras.

La selección de cualquiera de las dos alternativas anteriormente mencionadas, está en función de la construcción del P.H. Huixtla situado aproximadamente unos 40 km aguas arriba del P.H. Sn. Juan Tetelcingo. Es decir si se construye el P.H. Huixtla se construirá la cortina a la elevación 597 m y en caso contrario se construirá a la elevación 650 m.

ALTERNATIVA A LA ELEVACION 650.00 M. MATERIALES GRADUADOS

Esta cortina es de tipo deformable, por lo cual la roca de ci--

mentación no debe de cumplir propiedades mecánicas tan estrictas, como sucede con las de gravedad o arco. La flexibilidad de este tipo de cortinas da un mayor rango de seguridad con respecto al riesgo por sismo, sin embargo se debe de asegurar que los deslizamientos de tierra, lodo o roca sean nulos, ya que ponen en peligro la presa o sus obras auxiliares, puesto que al deslizar los materiales en el vaso, crean peligrosas olas de agua, o lo azolvan, disminuyendo también su capacidad de almacenamiento, los deslizamientos en la boquilla pueden causar muchos problemas en la construcción o durante la operación, que pueden variar desde el movimiento de un talud hasta el fallamiento de la presa.

"Este tipo de cortinas pueden construirse en casi cualquier roca de cimentación". (Rosas y Prieto 1978 p. 137).

Se afirma que una cortina es tan segura como la cimentación que la sustenta. Esto no debe considerarse una exageración, siempre que dicha estructura se haya diseñado correctamente.

En este caso la cortina quedará casi totalmente asentada en el miembro superior de la Formación Mexcala, la cual corresponde geotécnicamente a una roca de buena calidad (U_1) (ver anexo 1).

Si los estudios que actualmente se están realizando en el cañón de Huixastla, localizado aguas arriba del P.H. Sn. Juan Tetelcingo, concluyen negativamente en cuanto a la construcción de la cortina, entonces se llevará a cabo el P.H. Sn Juan Tetelcingo a la elevación 650 de materiales graduados con las siguientes características:

Area de la cuenca	4 078 900.00 HM ²
Escurrimiento medio anual	4 657.00 HM ³
Gasto medio anual	148.00 m ³ /seg
Avenida máxima registrada	2 771.00 m ³ /seg

EMBALSE

Capacidad total al N.A.M.E.	6 445.00 HM ³
Capacidad muerta	3 325.00 HM ³
Capacidad útil	2 153.00 HM ³
Capacidad control de avenidas	967.00 HM ³
Area máxima de embalse	12 440.00 HM ²
Nivel máximo de embalse N.A.M.E.	648.16 m.
Nivel normal N.A.M.O	640.00 m.
Nivel mínimo	618.00 m.

POTENCIA Y GENERACION

Capacidad instalada	630.00 M.W.
Generación Media Anual	1 275.00 G.W.h.

CORTINA

Elevación de la corona	650.00 m.
Ancho de la corona	10.00 m.
Longitud de la corona	740.00 m'
Bordo libre	2.00 m.
Altura máxima	150.00 m.

OBRA DE DESVIO

Altura atagufa aguas arriba	46.00 m.
Altura atagufa aguas abajo	12.00 m.

OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

Avenida de diseño	18 360.00 m ³ /seg
Capacidad máxima de descarga	15 000.00 m ³ /seg

OBRA DE TOMA

Gasto de diseño total	591.00 m ³ /seg
Velocidad tubería	4.46 m ³ /seg
Diámetro tubería	7.50 m.

CASA DE MAQUINAS

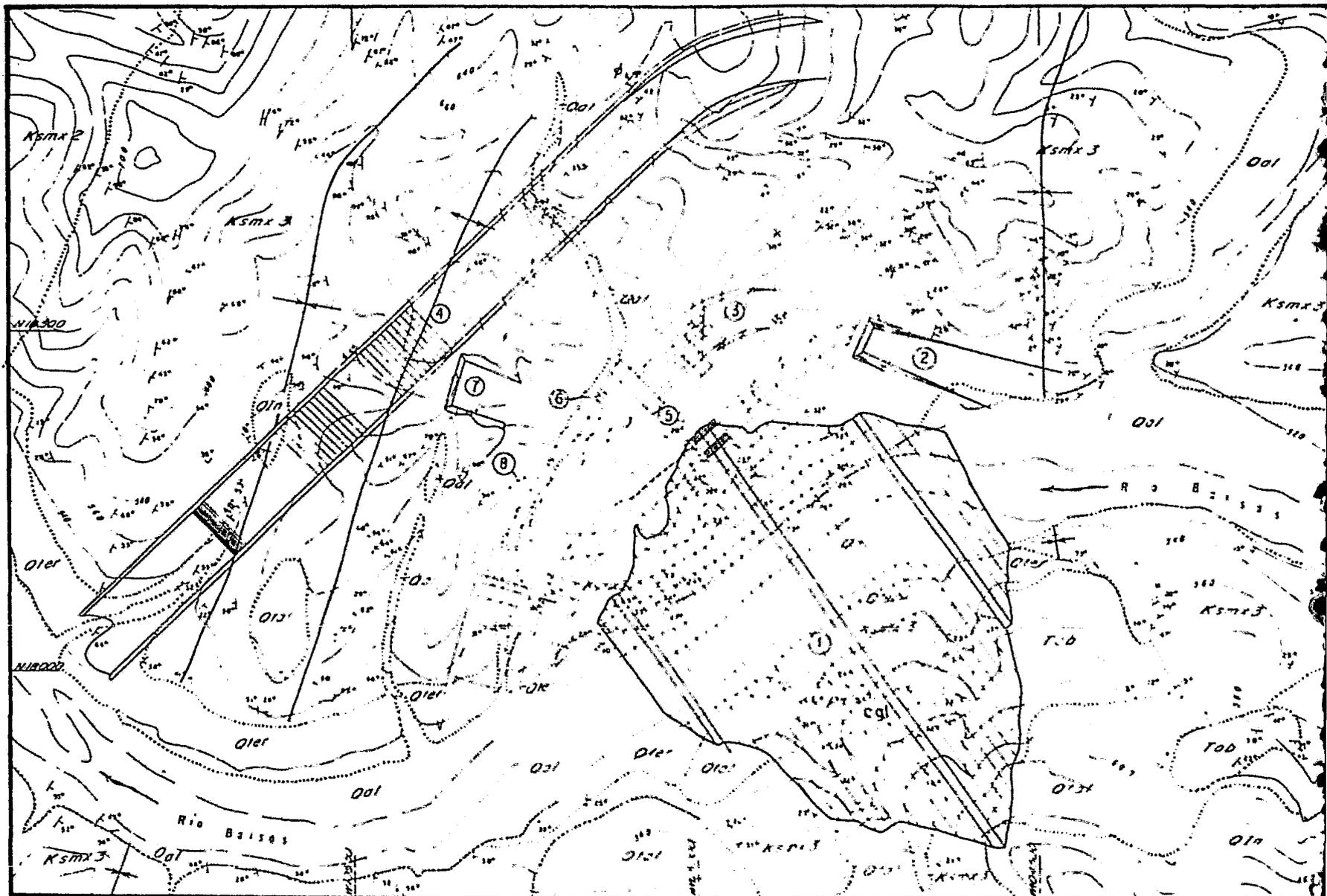
Tipo caverna	
Potencia de diseño	210.00 MW.
Carga bruta máxima	126.00 m.
Carga bruta mínima	103.00 m.
Velocidad de giro	150.00 r.p.m.

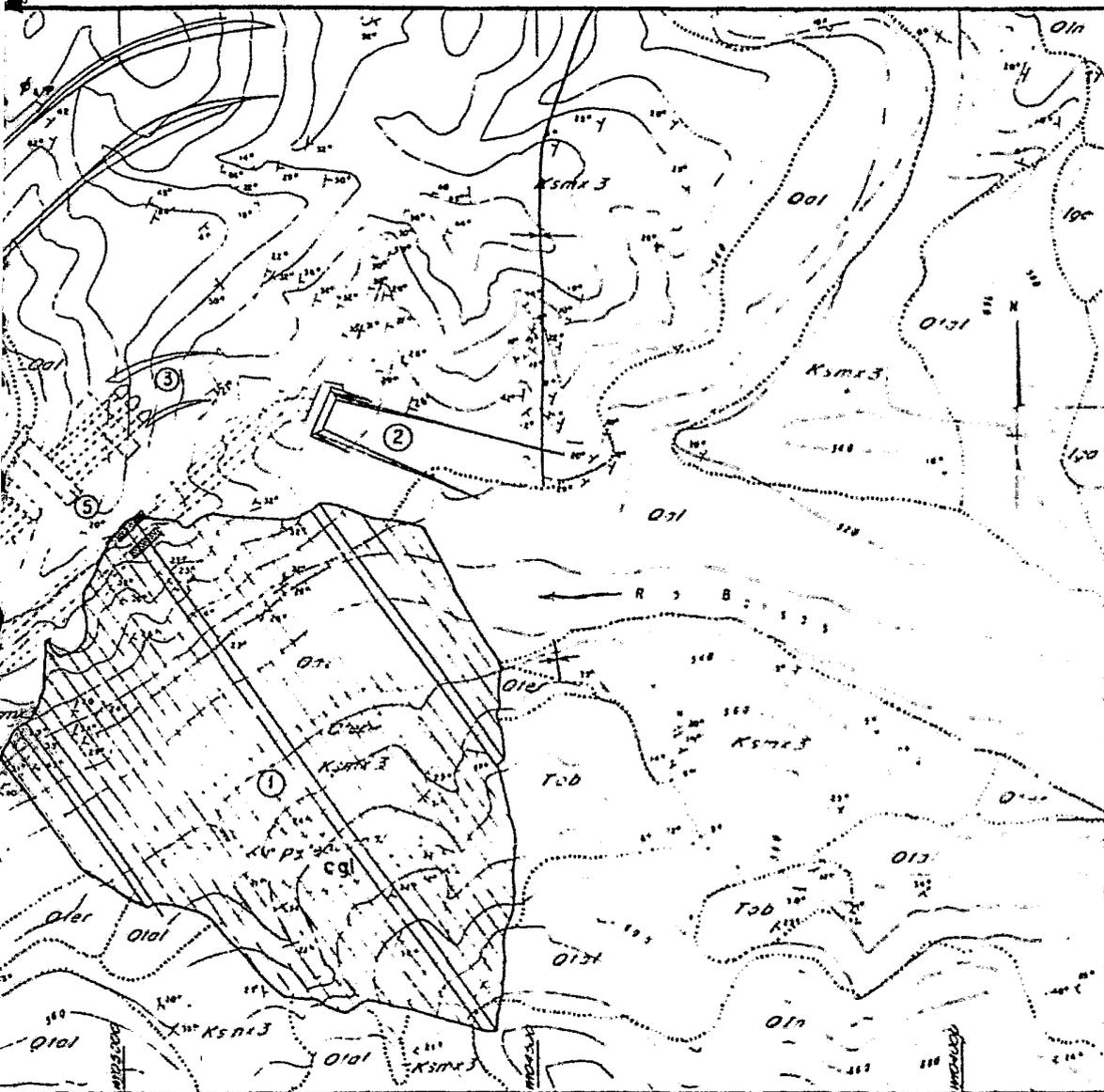
La distribución de las obras civiles para esta alternativa se puede observar en la figura 6.3.

OBRA DE DESVIO

La obra de desvío constará de dos tuneles de 13m de diámetro, localizados en la margen derecha, los mismos quedan ubicados dentro del miembro superior de la Formación Mexcala, clasificada geotécnicamente como una roca de buena calidad (U_1).

La roca sobre la que se excavarán los tuneles es arenisca de estratos gruesos (3 m) con pequeños horizontes de lutitas (15 cm). La fuerte predominancia de las areniscas, la delgada corteza de intemperismo así como la poca injerencia de discontinuidades es





LEYENDA

- Qal Aluvión
 Qln Zonas intemperizadas en espesores que varían de 3cm a 3m dependiendo del tipo de roca
 Qter Depósitos de terraza
 Qtal Depósitos de talud, principalmente producto de la desintegración de talca y brechas
 Cgl Conglomerado fluvial (paleoconal), constituido por fragmentos de arenisca, caliza, brechas, etc.
 Ige Rocas ígneas extrusivas, consisten de terranes y piracústicos
 Iga Terranes de andesita dacítica
 Tob Tapes cristalofíreas de campos con andesítica

- Ksmx3 Formación Mexca, miembro superior, compuesto de areniscas estratificadas gruesas y finas de 15 cm de espesor
 Ksmx2 Formación Mexca, miembro medio, compuesto de talca y esbozados estratificados de arenisca

SIMBOLOGIA.

- 2X Rumbo y echado Ø Rumbo y echado vertical
 + Eje de sinclinal
 - Eje de anticlinal
 --- Contacto litológico
 / Río

DISPOSICION DE LAS OBRAS CIVILES

- 1 Carrión 6 Galería de asociaciones
 2 Cara de desvío 7 Zona subestación e elevador
 3 Cara de toma 8 Terrenos de desfogue
 4 Vertedor
 5 Casa y máquinas subterráneas

0 50 100 150 200 250m

Nota

Los datos geológicos fueron tomados del Informe Geológico del P.H. San Juan Teicuingo, CFE 1981

Figura 03

UNAM	
TESTIS	Facultad de Ingeniería
P	Disposición de las obras civiles para la alternativa 650, mostrando la geología en la zona de estudio
R	
NOMINACIONAL	
L	Nov LUIS A. AGUILAR P 1982 SEP. ARD. PAL. A. 05 B

estructurales, hace concluir que la obra se llevará a cabo sobre roca sana encontrando condiciones favorables para la excavación. Podría pensarse que en el portal de entrada habrá deslizamientos debido a la posición estructural de los estratos, así como también a la presencia de horizontes de lutitas, lo cual puede desecharse debido a que la inclinación de los estratos no es muy fuerte (12 a 30°) y la lutita se encuentra lo suficientemente litificada. Trescientos metros adelante del portal de entrada existe un cambio de dirección en la obra, de N 68° W a S 50° W, la posición de los estratos también varía presentado menor inclinación lo cual favorece el desarrollo de la obra, esta dirección prevalece a lo largo de 496 m donde cambia hacia N 21° E y desde aquí hasta la terminación del túnel es importante prever posibles deslizamientos o derrumbes debido a la posición de los estratos. (ver fig. 6.4).

De manera general se puede decir que es posible se presenten zonas de sobre-excavación, que serán de poca importancia, pero que sin embargo será necesario colocar el revestimiento o ademe adecuado.

Por ser lo más recomendable tanto económica como técnicamente, la obra de desvío se atacará desde el portal de entrada hacia el centro, así como también simultáneamente desde el portal de salida hacia el mismo punto.

Del portal de salida hacia el centro los primeros 224 m podrían presentar problemas de deslizamiento pero después de los mismos hasta llegar al punto indicado, no se tendrán problemas ya que las capas guardan la posición óptima para la excavación de este tipo de obras. Debido a que estos túneles serán para agua, es necesario determinar la presión hidrostática que existirá sobre el revestimiento. Los huecos existentes entre la roca y el re-

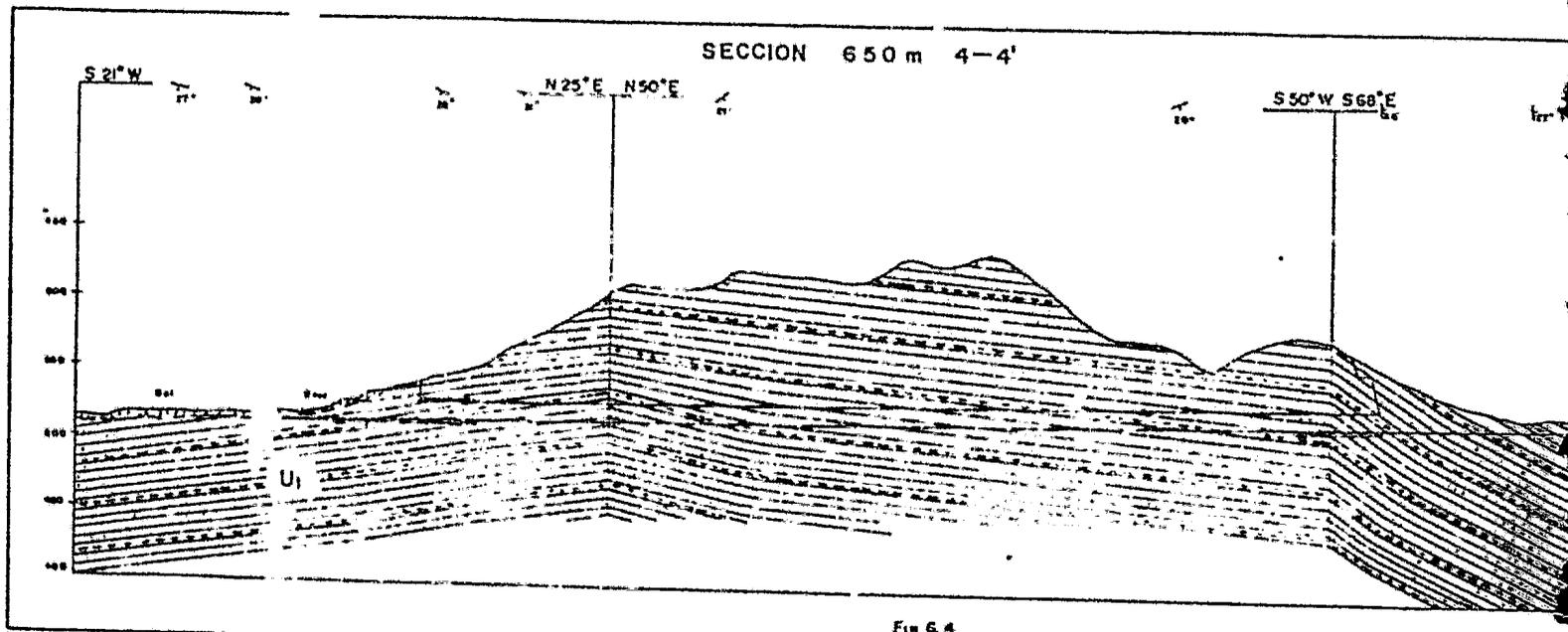


Fig 6.4

vestimiento deben rellenarse completamente con cemento para evitar posibles filtraciones y tanto la roca como el ademe resistan la presión hidrostática interna.

CORTINA

Como se dijo anteriormente la cortina será labrada en su mayoría sobre el miembro superior de la formación Mexcala (U_1). En la margen izquierda una parte de la misma quedará asentada en rocas del miembro Volcanoclástico Tetelcingo dentro de la unidad geotécnica U_3 y una pequeña porción dentro de la unidad U_4 (ver plano de clasificación geomecánica del macizo rocoso en el anexo 1).

La parte de la cortina que quedará asentada dentro de la unidad U_1 no presentará problemas tales como deformaciones o asentamientos diferenciales debido a que la roca es firme y fuerte. Los barrenos perforados en el cauce del río sobre el eje de la cortina revelan las buenas condiciones que presenta la roca de cimentación. El barreno 59 tuvo 301.9 m de profundidad cortando 8 m de aluvión y lo demás de U_1 , con un R.Q.D. promedio de 86% presentando superficialmente de 6 a 8 U.L. de permeabilidad, lo cual disminuye a profundidad y desde los 74 m hasta los 94 m se tienen valores de casi 0 U.L.

Mientras que en el barreno No. 58 con 102.75 m de profundidad corta 13 m de aluvión y lo demás de U_1 , se determinó un R.Q.D. promedio de 75% y con una recuperación casi del 100%. En este barreno la mayor permeabilidad registrada es de 5 U.L. (a los 15 m de profundidad), este valor disminuye casi a 0 a los 76 m.

Los datos anteriores junto con las características físicas del macizo observadas directamente en los socavones 10, 17 y 18 lo-

calizados sobre el eje de la cortina en la margen izquierda y - el 19, 20 y 21 en la margen derecha, auguran buenas condiciones para la construcción de la cortina. (ver fig. 6.5).

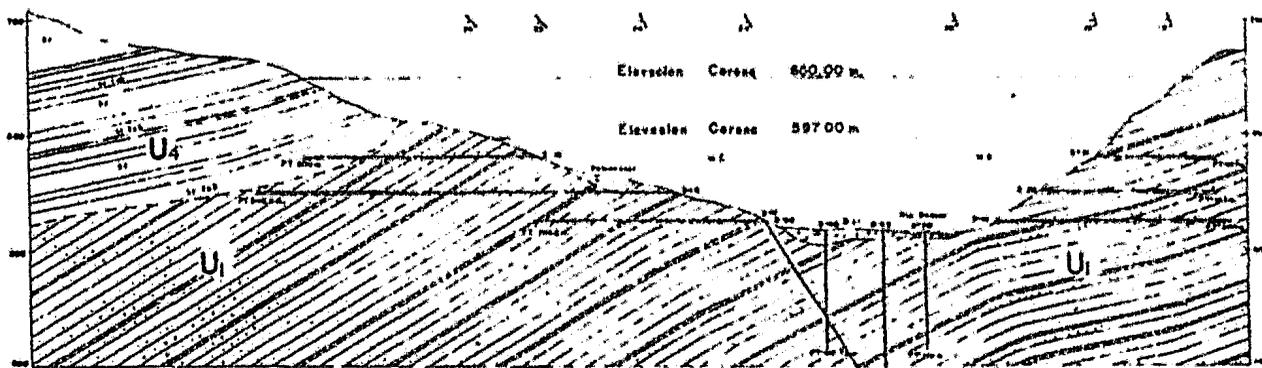
El apoyo de la cortina en la margen derecha no representará ni g u n u n problema con respecto a deslizamientos o derrumbes debido - a que la inclinación de los estratos, aunque es hacia el rfo, - no es muy fuerte (de 10 a 25°) y el fracturamiento no es intenso. Se prevee que el tratamiento requerido en esta zona para - desplantar la cortina será de poca profundidad. En general la - unidad U_1 se considera impermeable, pero en la intersección de - los sistemas de fracturas alfa y beta es donde existen infiltra - ciones y con lo mismo la generación de subpresiones que pueden - llegar a ser importantes, sin embargo se requerirá poco trata - miento de consolidación y los trabajos de impermeabilización -- probablemente no serán exhaustivos.

De acuerdo con la topografía de la boquilla, la observación de - los socavones y resultados obtenidos de la barrenación efectua - da en la margen izquierda, la cortina quedará apoyada en una de - sus partes dentro de las unidades geotécnicas U_3 y U_4 ubicadas - en el miembro Volcanoclástico Tetelcingo, las cuales correspon - den respectivamente a rocas de baja y mediana calidad, la pre - sencia de montmorillonita dentro de estas unidades y debido a - que por naturaleza física tiende a expandirse cuando se satura - hace concluir que se generarán zonas potenciales de deslizamien - to o derrumbes, por lo cual es muy importante establecer el tra - tamiento adecuado en estas rocas que limite este fenómeno para - no afectar desfavorablemente la factibilidad del proyecto.

La remoción de vegetación y suelo es indispensable en toda el - área comprendida dentro de los trazos de la cortina, en la lade - ra izquierda es conveniente remover el paleocanal que se locali -

SECCION I-I'

LEYENDA



Elevacion Cerros 600.00 m.
 Elevacion Cerros 597.00 m.

- ▲ Agua
- ▲ Pavimento de Terzo
- ▲ Mm. masas de buena calidad RMR 45 Construido por estratos gruesos (hasta 1.00 m) de granito. Presenta estructuras de tipo con filos paralelos de 2 cm.
- ▲ Masa rocosa de regular calidad RMR 45. El pavimento es la construido por Riechias y Riechias Tabacoas.
- ▲ Rumbo y estado
- ▲ Barrera
- ▲ Seccion

FICED

Escala grafica
 0 20 40 60 80 m

U N A M
 Facultad de Ingenieria
 Seccion Geomorfologia
 Alternativa 650 mg y
 Alternativa 597 g

za en la parte central de la sección transversal de la cortina, el cual constituye un horizonte de alta permeabilidad.

Debido a las propiedades intrínsecas de las unidades geotécnicas U_3 y U_4 , las excavaciones en esta zona para desplantar el núcleo impermeable, así como la limpia para apoyar los respaldos y la profundidad del tratamiento de la cimentación, serán mucho mayores que en la unidad U_1 .

El posible tratamiento a seguir en las unidades U_3 y U_4 es la creación de una pantalla de impermeabilización y un sistema de drenaje. Una vez descubierta la roca de cimentación debe aplicarse a la superficie agua y aire a presión para localizar con mayor facilidad las fisuras, grietas, etc. El calafateo consiste en rellenar éstas con cemento, en cada grieta o junta tratada se dejarán tubos para inyectado a presión de lechadas de cemento, de esta forma se evitan posteriormente concentraciones de flujo que pueden provocar tubificación.

OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

Se han planteado diferentes alternativas para la ubicación del vertedor que puede ser en la margen derecha o bien en la izquierda, pero debido a que en ésta última se encuentran las unidades geotécnicas U_3 y U_4 con mal comportamiento geomecánico y fácilmente alterable, se optó por diseñar el vertedor en la margen derecha, de esta manera quedará alojado en la unidad U_1 de mejor calidad.

El vertedor está proyectado con el canal de llamada curvo, tendrá más de 100 m de ancho y 1 125 m de longitud en su parte recta.

En la parte inicial del canal de llamada la estratificación buza en dirección contraria al flujo del agua, lo cual es muy importante ya que los estratos no favorecen el paso del agua -- (ver fig. 6.6). Como se puede observar en la misma figura, la estratificación cambia su actitud y tiende a presentar zonas -- propicias para el flujo de agua a través de los planos de estratificación y con ello subpresiones, las cuales tenderán a levantar la estructura, por lo tanto es conveniente tomar las medidas necesarias para evitarlo, no obstante que a lo largo de la mayor parte de la obra los estratos se encuentran buzando en -- contra del flujo de agua.

De manera general se puede decir que los cortes del vertedor -- no presentarán problemas de estabilidad, ya que desde el diseño se trató de asegurar la misma, orientando las excavaciones siguiendo la flexura anticlinal de la margen derecha.

ATAGUIA AGUAS ARRIBA

Esta atagüa así como la de aguas abajo quedará integrada al -- cuerpo de la cortina y para que colaboren en la estabilidad de la misma y con el fin de disminuir en lo posible el volumen -- de material colocado, estará desplantada en su mayoría sobre la unidad U_1 y su altura será de 46 m (ver fig. 6.7). La obra que -- dará apoyada en la margen derecha totalmente en la unidad U_1 en donde la posición e inclinación de los estratos no es crítica -- como para esperar deslizamientos, mientras que en la margen izquierda el principal problema que se tendrá será en la zona donde la obra quedará asentada sobre la unidad U_3 con características de baja calidad geomecánica, por lo cual es importante prever problemas al momento de saturar esta roca, ya que tiende -- a ser muy deleznable en estas condiciones.

SECCION 650 m. 6—6'
(EJE VERTEDEDOR)

65°

28°

76° 87°

41° 51°

20°

70°

54°

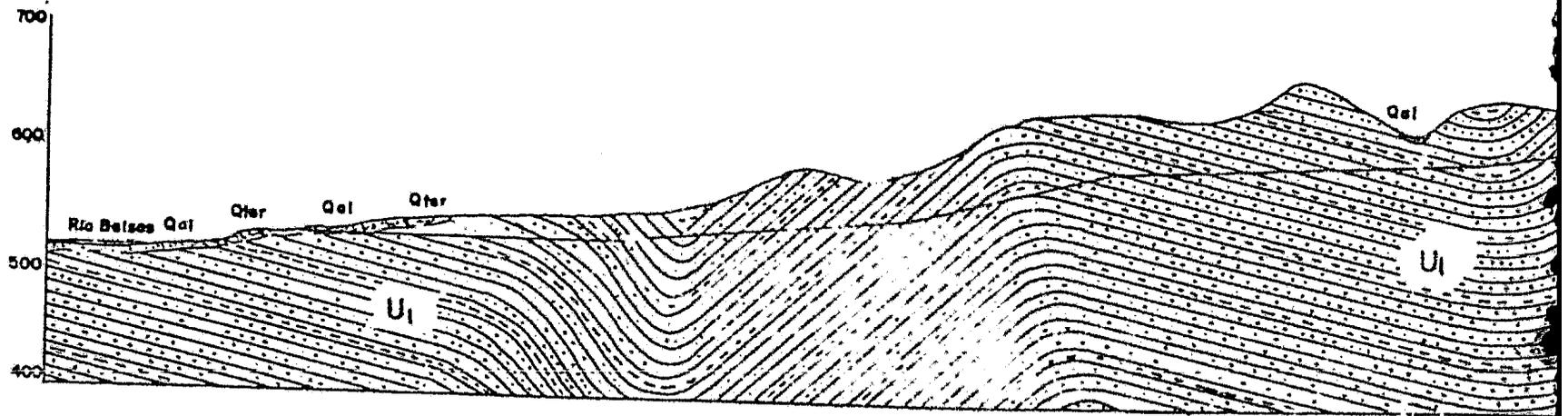


Fig 6.6

ION 650 m. 6—6'
(EJE VERTEDOR)



LEYENDA

- Q al** Aluvión
- Q ter** Depósitos de Terraza
- U1** Masa rocosa de buena calidad R.M.R.: 68. Constituida por fragmentos gruesos (hasta 3m) de g. realista. Presenta interconexiones de lutita con espesor promedio de 15 cm.

Rumbo y achado.

Escala Grafica

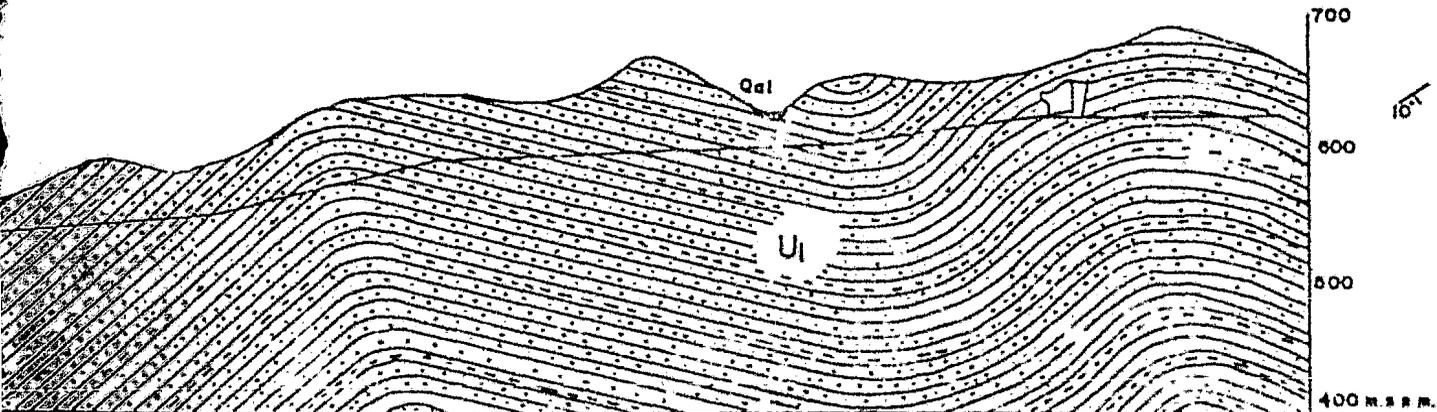
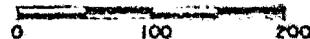


Fig 6.6

U N A M
Facultad de Ingeniería
TESIS PROFESIONAL
Sección geológica a través del vertedor.
Alternativa 650 m.g.
OCTUBRE LUIS A AJULAR R. 1982 EDUARDO PALACIOS G.

SECCION 15-15'

CORONA CORTINA 650m

eje de la cortina

corona ataguia 500m

600
550
500
450

Gal

rio Sansas

1:1

1:1

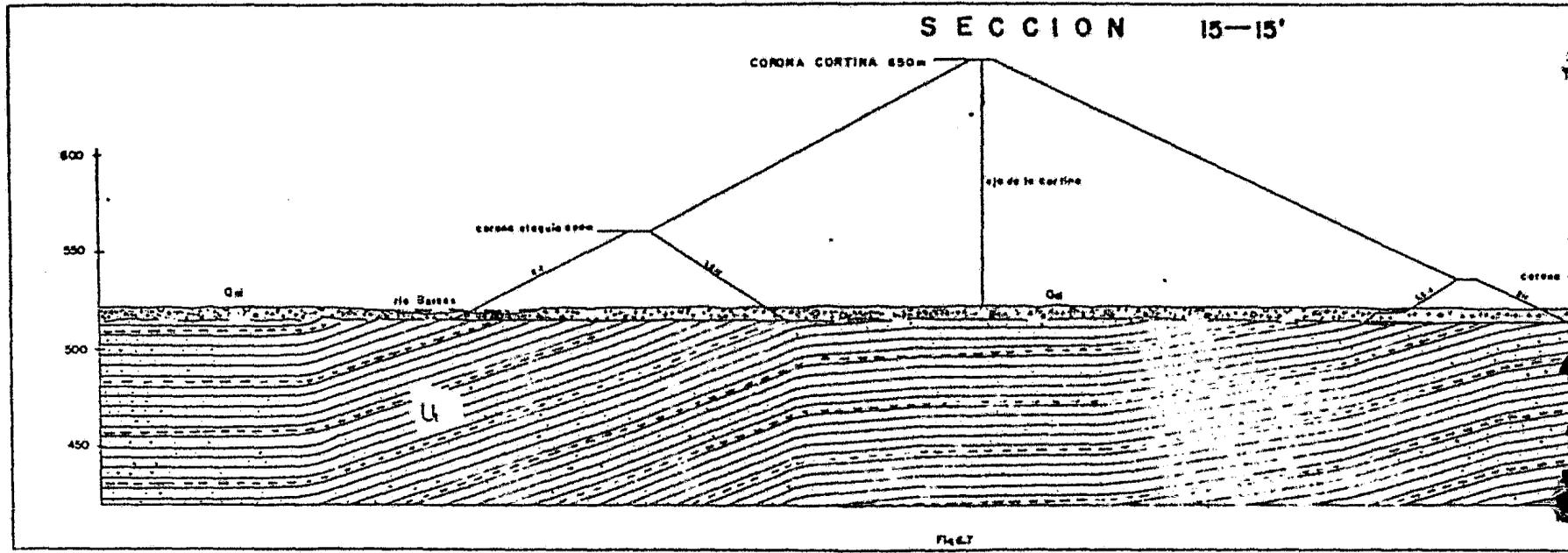
Gal

corona

1:1

U

Fig. 27



SECCION 15-15'

CORONA CORTINA 650 m

eje de la cortina

Qal

corona ataque 650 m

Qal

LEYENDA

Arroyo

Bloques hechos de buena calidad P.I.A.R. 254. Comprimos por metros gruesos 3.00 m³ de concreto (Presión de resistencia de 12 kg) con espesor promedio de 15 cm.



0 10 20 30
Metros

U N A M	
Facultad de Ingeniería	
Sección transversal a la cortina y ataque Alternativa 650 m.	
PROFESOR	ALVARO GONZALEZ
ALUMNO	EDUARDO PALAZO

Fig. 6.7

ATAGUIA AGUAS ABAJO

Como ya se dijo anteriormente esta atagufa formará parte de la cortina, y quedará apoyada tanto en la margen izquierda como en la derecha en la unidad U_1 . El único problema que se podría -- presentar al llevarse a cabo esta obra, sería un deslizamiento en la margen derecha por la posición estructural de los estratos lo cual no es muy factible ya que se tienen echados de 25 a 35° que aunque podría ser que deslizarán, las no muy intensas discontinuidades estructurales da cavida a pensar lo contrario.

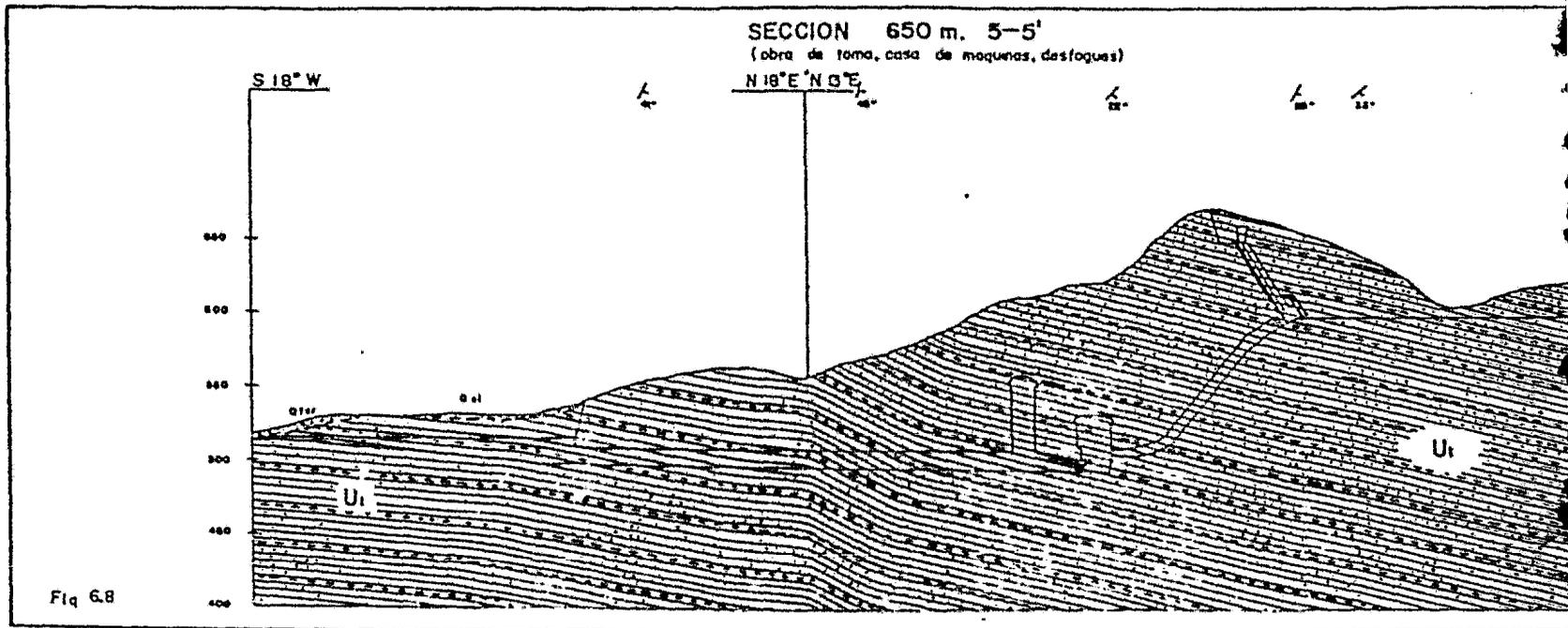
PLANTA HIDROELECTRICA

Obra de toma, casa de máquinas, desfogues:

El diseño de la casa de máquinas en esta alternativa es del tipo caverna, la cual se tratará junto con la obra de toma y los desfogues debido a que están ligados. (ver fig. 6.8) Estas -- obras quedarán alojadas dentro de la unidad U_1 .

Con respecto a la obra de toma es posible que se tenga algunas zonas inestables debido a la posición que guardan los estratos en relación al corte. En la casa de máquinas también es posible que se tengan este tipo de problemas por lo cual será pertinente tomar las medidas necesarias así como también prevenir pequeños derrumbes o caídos.

El tramo comprendido entre casa de máquinas y desfogues se puede catalogar como una zona estable debido a que la inclinación de los estratos no es muy fuerte y las condiciones físicas de la roca son aceptables. Si la excavación se lleva a cabo de -- los desfogues hacia la casa de máquinas se tendrán las condicio-

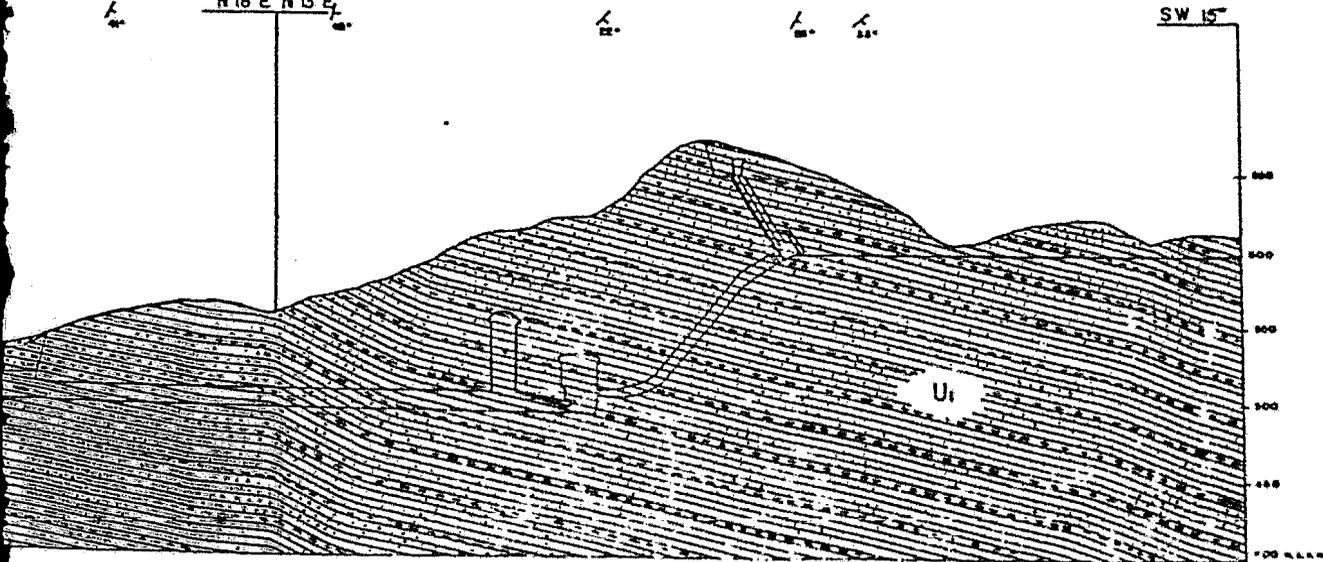


SECCION 650 m. 5-5'

(obra de toma, casa de maquinas, desfogues)

N 18° E N 3° E

SW 15°



LEYENDA

- Gal Aluvión
- Qter Depósitos de terraza
- U1 Masa rocosa de buena calidad R.M.R. 66 constituida por estratos gruesos (hasta 3m) de arenisca. Presenta intercalaciones de lutita con un espesor promedio de 15cm.

A Rumba y echado

Escala grafica



UNAM	
Facultad de Ingeniería	
Sección geológica	
a través de la obra de toma	
obra de maquinas y desfogues	
Altoprelio 450 m.s.n.l.	
DCT	LUIS A ABUILAN P
L 18 SE	EDUARDO FALCÓN S

nes óptimas de estabilidad, tomando en cuenta la posición que guardan los estratos con respecto a la dirección de avance.

ALTERNATIVA A LA ELEVACION 597 M

Para esta alternativa, resulta conveniente la cortina de tipo gravedad, ya que la roca en la cual quedará desplantada la obra está formada por una sola unidad (U_1), la cual es de buena calidad de roca y se considera por lo tanto mecánicamente competente para soportar los esfuerzos a los que va a quedar sujeta.

La disposición de las obras civiles para esta alternativa se puede observar en la figura 6.0.

En la primera etapa de generación se tendrán dos unidades generadoras con una capacidad instalada de 253 MW y en una segunda etapa se tendrán tres unidades con una capacidad instalada de 379.5 MW, lo que proporcionará una generación media anual de 713 GWH con dos unidades y de 734 GWH con tres unidades generadoras. El embalse tendrá una capacidad total a la elevación 595 m que es el NAME de 1722.50 HM³ con un área máxima de embalse de 5760 HM², la capacidad de control de avenidas es de 412 HM³.

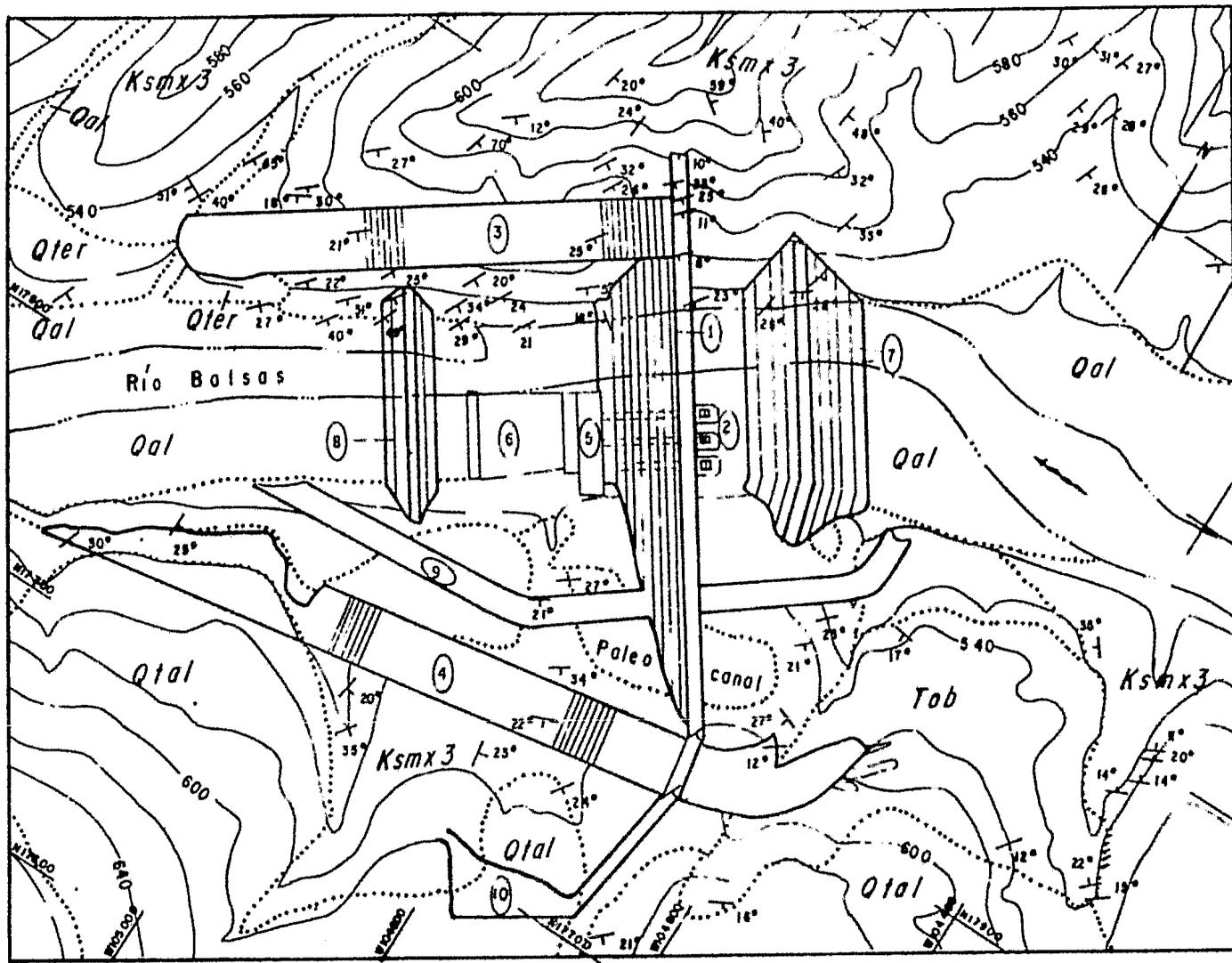
El área de la cuenca es de 2,755 km² o sea 275 500.00 HM².

CANAL DE DESVIO

Está localizado en la margen izquierda (ver fig. 6.9) sobre la unidad U_1 , la cual es de buena calidad de roca.

El canal de desvío comienza en la elevación 523.00 m y termina a la elevación 516.00 m teniendo una pendiente de 0.0169 que co

DISPOSICION DE LAS OBRAS CIVILES EN LA ALTERNATIVA 597 DEL PH SAN JUAN TETELCINGO



Tesis Profesional

- 1 CORTINA
- 2 OBRA DE TOMA
- 3 VERTEDOR MD
- 4 VERTEDOR MI
- 5 CASA DE MAQUINAS
- 6 DESFOGUE
- 7 ATAGUIA AGUAS ARRIBA
- 8 ATAGUIA AGUAS ABAJO
- 9 CANAL DE DESVIO
- 10 ZONA SUBESTACION ELEVADORA

Nota
Para la explicación de los símbolos geológicos ver la fig. 6.3

ESCALA GRAFICA

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

mienza 20.00 m aguas arriba del eje de la cortina. La actitud de los estratos está en contra de la pendiente por lo que se recomienda realizar los cortes en este sentido (ver fig. 6.10).

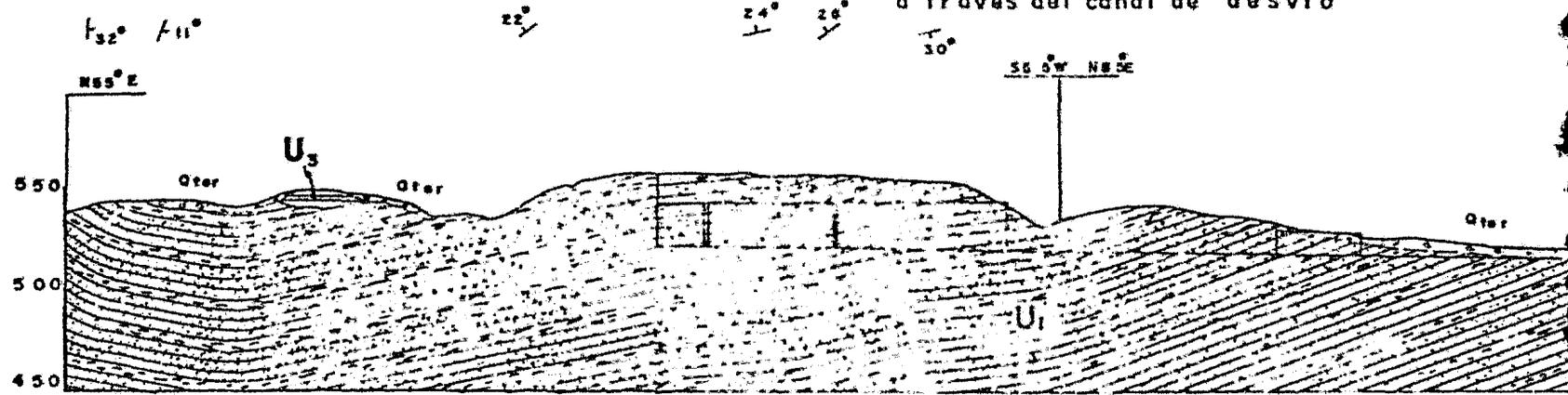
El ancho del canal de desvío será de 25 m y el talud en las paredes del canal es de 0.25:1, siendo la capacidad máxima de descarga de 2 208.00 m³/seg. La avenida de diseño es de 2 414.00 m³/seg para un período de retorno T(r)= 15 años.

La orientación del eje del canal de desvío sufre dos cambios en su dirección, en la parte inicial del canal su orientación es N-S, y en dicha parte los echados buzan en general hacia el nororiente con una intensidad de 16° - 30°. En la parte intermedia la dirección del canal de desvío tiene un rumbo de SW 55° y la dirección de los echados en general es hacia el suroriente con intensidades que varían entre 18° y 30°, siendo desfavorable esta posición de los echados en los cortes a realizar, puesto que en el talud que está más cercano al río, los estratos buzan hacia el interior del canal por lo que se recomienda que se realicen estudios para determinar el ángulo de fricción interna para tomar las medidas necesarias. La dirección del eje del canal cambia de orientación 140 metros aguas abajo del eje de la cortina teniendo un rumbo SW 85° y cortando a la estratificación oblicuamente, conservando la orientación e intensidad de los echados.

ATAGUIAS

La atagüía aguas arriba se encuentra desplantada sobre la unidad U₁, tanto en el cauce del río como en ambos márgenes. Tendrá una altura de 30 m y la corona de la atagüía se encontrará a la elevación 543, el ancho de la misma es de 10 m, las pendientes de los paramentos aguas arriba y aguas abajo es de --

Saccción 597G 5-5'
a través del canal de desvío



Sección 597G 6-6'
a través de la obra de control
y excedencias

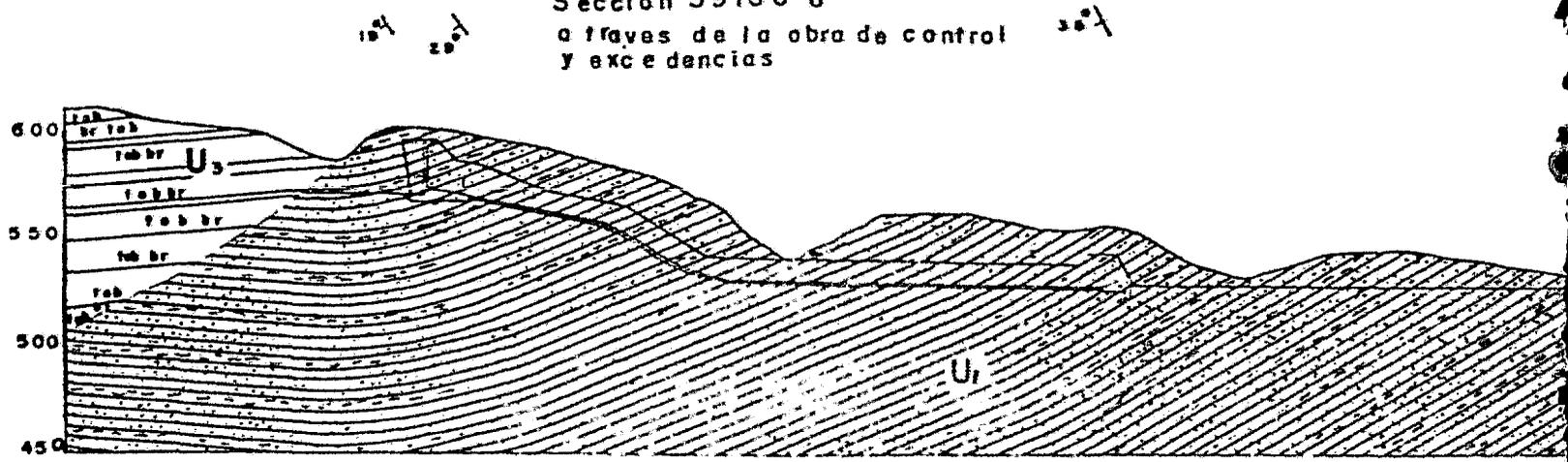


Fig. 6 10

Sección 597G 5-5'
a través del canal de desvío

24°
26°

30°

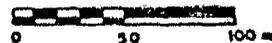
56.5W N85E

LEYENDA

- Qal Aluvión
- Qter Depósitos de terraza
- U₁ Consiste de estratos gruesos de arenisca (hasta 3m) con intercalaciones de lutitas de 15 cm de espesor, es de buena calidad de roca RMR=68
- U₂ Constituida por tabas y tabas brechales, baja calidad de roca RMR=40

21°
Rumbo y echado

Contacto geomorfológico



T E S I S P R O F E S I O N A L	UNAM	
	Facultad de Ingeniería	
	Secciones longitudinales a través de las obras civiles, margen izquierda.	
	Alternativa 597G	
	Nov. 1982	LUIS A. AGUILAR P. EDUARDO PALACIOS

Sección 597G 6-6'
a través de la obra de control
de excesos

30°

600

550

500

450

Qter

U₁

1.8:1 y constara de un núcleo impermeable, filtros, respaldos y enrocamiento. Es importante señalar que en la margen derecha la posición de los echados es hacia el río con intensidades que oscilan entre los 20° y 30° por lo que pudieran tenerse problemas de inestabilidad en dicho talud.

Sobre el cauce del río tenemos un espesor de aluvi6n en promedio de 10 m que descansan sobre la unidad U_1 la cual presenta echados hacia aguas arriba que proporciona la mejor condici6n geohidrol6gica, ya que al ser los planos de estratificaci6n - zonas de debilidad por donde podria infiltrarse el agua, con dicha posici6n se asegura la impermeabilidad del sitio (ver - fig. 6.11)

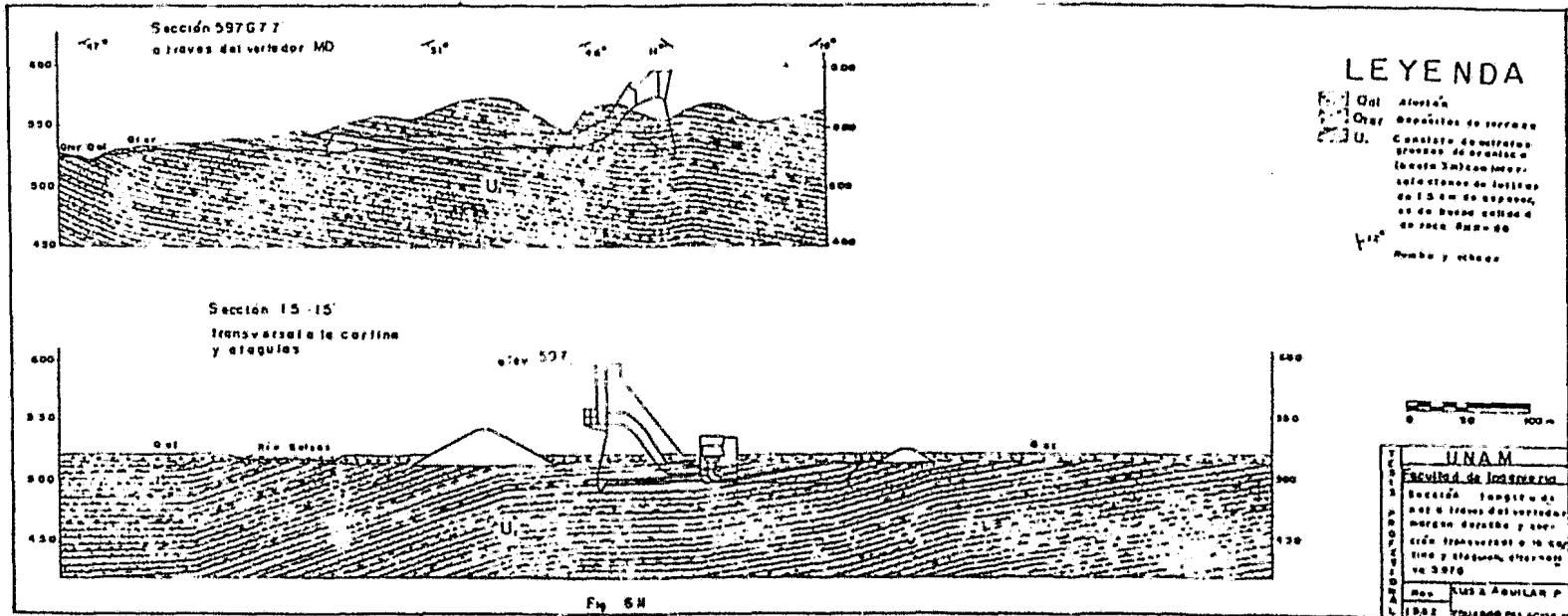
La atagufa aguas abajo tendr1 una altura de 11 m y su coronaci6n encontrar1 a la elevaci6n 525.00 m quedando desplantada sobre la unidad U_1 , la pendiente de los paramentos aguas arriba y aguas abajo ser1 de 1.8:1.

Dicha atagufa constar1 tambi6n de un n6cleo impermeable, filtros, respaldos y el enrocamiento s6lo se encuentra en el paramento aguas abajo.

En la margen derecha la inclinaci6n de los estratos es hacia el río con intensidades que varfan entre 25° y 50° (ver fig.- 6.9) por lo que se pueden presentar problemas de inestabilidad en dicha margen.

C O R T I N A

La cortina se encuentra desplantada sobre la unidad U_1 y ser1 de estructura r6gida del tipo gravedad.



A continuación se presentan los datos más importantes de la cortina:

Altura máxima	97.00 m
Elevación de la corona	597.00 m
Ancho de la corona	10.00 m
Longitud de la corona	510.00 m
Bordo libre	2.00 m
Nivel máximo de embalse(N.A.M.E.)	595.00 m.s.n.m.
Nivel normal (N.A.M.O.)	587.00 m.s.n.m.
Nivel mínimo (N.A.M.I.N.O.)	568.00 m.s.n.m.
Nivel obra de toma (N.O.T.)	547.00 m.s.n.m.

Los principales requerimientos para el sitio apropiado en donde se desplantará una presa de gravedad es la presencia de -- rocas sólidas con suficiente capacidad de soporte a una profundidad considerable en el cauce y en los flancos del valle. Las investigaciones ingeniero-geológicas deben determinar la profundidad de las capas de cimentación apropiadas bajo la superficie del terreno y determinar la carga admisible y la impermeabilidad del sitio, especialmente en relación a los efectos de levantamiento. (Záruba 1976 p. 393).

Para el caso del eje cuatro la cortina a la elevación 597.00-m. se desplantará sobre la U_1 exclusivamente, tanto en ambos márgenes como en el cauce del río (ver fig. 6.5) la cual se considera de buena calidad y por lo tanto competente para soportar las presiones a la que quedará sujeta.

En cuanto a la impermeabilidad del sitio la posición de los estratos presenta la condición más favorable ya que los echados buzan hacia aguas arriba (ver fig. 6.11).

Para el caso de las cortinas de gravedad el riesgo por sismo-

es mucho mayor que para las cortinas de estructura deformable por lo que deberá tomarse en cuenta para la elección del tipo de cortina, en el capítulo IV se presenta una discusión más amplia de la sismicidad en el sitio.

La influencia de la estabilidad en el vaso en la seguridad de la estructura es menor en las presas de gravedad que en las de estructura deformable. En cuanto a la disponibilidad de los materiales de construcción se necesitan grandes bloques - por lo tanto, son importantes distancias cortas de transporte (Müller y Fecker 1979, p. 57).

Tanto el fondo del valle como los flancos del mismo estarán -- decisivamente bajo cargas por lo que se necesitará conocer -- las condiciones de deformabilidad y estabilidad para tales -- sitios, cabe mencionar que en la margen derecha la posición -- de los estratos es desfavorable ya que se inclinan hacia el -- río, con echados que varían entre 8° y 26° y con pendientes -- que oscilan en 25° y 45° , siendo en promedio 35° , los valores del factor de seguridad para dicha margen caen en el rango -- $0.5 - 1.2$ asumiendo un ángulo de fricción de 30° , y "debido a que se conoce muy poco de la resistencia al corte de estos -- materiales y de los ángulos de fricción de los mismos, las -- suposiciones ya mencionadas deben ser tomadas con reserva" -- (Maycotte 1981).

OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS

Está formada por dos vertedores, situados uno en la margen izquierda y el otro en la margen derecha. Para el caso del vertededor situado en la margen izquierda, parte del vertedor quedará alojado en la unidad U_3 , está formada por tobas y tobasbrechoides (ver fig. 6.9) las cuales son de mala calidad de roca, sin embargo la mayor parte del vertedor quedará alojado

en la unidad U_1 (ver fig. 6.10).

El cimacio del vertedor situado en la margen izquierda se encuentra a la elevación 572.00 m.s.n.m., la cresta vertedora se encuentra en la cota 575 siendo la longitud total de la cresta 53 m. La avenida de diseño con la cual se diseñaron los vertedores fue de 16 110 m³/seg. La capacidad máxima de descarga de la obra de control y excedencias es de 14 900 m³/seg. Dicho vertedor tiene un cambio de pendiente, en la primera parte del mismo la pendiente es de 0.1965 después la pendiente se suaviza teniendo un valor de 0.0167; el rumbo del eje del vertedor margen izquierda es SW 80°, y la estratificación buza en dirección contraria al flujo del agua (ver fig. 6.10) a través de todo el vertedor por lo que no se preveen problemas en cuanto estabilidad en los cortes ya que esta posición de la estratificación no favorece el paso del agua a través de los planos de la misma. Los estratos en la zona del vertedor buzan al sur-oriente con intensidades que varían entre 12° y 34° (ver fig. 6.9).

Para el caso del vertedor situado en la margen derecha, la unidad sobre la cual se desplantará dicho vertedor es la U_1 que como se vio en el capítulo V es de buena calidad de roca.

La cresta del vertedor se encuentra a la elevación 575.00 y tendrá una pendiente de 0.020. El rumbo del vertedor es SW 55° y también en este caso la estratificación buza en dirección contraria al flujo del agua (ver fig. 6.11) representando la mejor condición geohidrológica.

Los estratos buzan en general al sur-oriente (ver fig. 6.9) con intensidades que oscilan entre 11° y 40° por lo que en el talud que está más alejado del río los estratos buzan hacia el interior del vertedor por lo que esta posición es desfavorable.

rable en cuanto a la estabilidad del talud, por lo que deberá tenerse en consideración al realizar los cortes.

OBRAS PARA GENERACION

Obra de toma

El número de que consta es de 3 (ver fig. 6.9) siendo el gasto de diseño total $591 \text{ m}^3/\text{seg}$. El nivel de la obra de toma se encuentra a la elevación 547.00 (ver fig. 6.11).

Las tuberías a presión tienen un diámetro de 8.50 m, siendo la velocidad en dicha tubería 3.47 m/seg. En relación a la casa de máquinas, es exterior (ver fig. 6.11) y se encuentra desplantada sobre la unidad U_1 en donde los estratos se encuentran buzando aguas arriba.

Los principales parámetros de la casa de máquinas son los siguientes:

<u>E T A P A</u>	<u>PRIMERA</u>	<u>SEGUNDA</u>
Turbinas	2	3
Carga neta de diseño	69.11 m	
Gasto de diseño por-unidad	$197.00 \text{ m}^3/\text{seg}$.	
Potencia de diseño de cada turbina	253	379.5
Carga bruta máxima	73 m	
Carga bruta mínima	53.00 m	
Velocidad	138.46 r.p.m.	

El desfoguez se encuentra ubicado a la salida de la casa de máquinas, se encarga de conducir el agua a la elevación 512.97 -

teniendo una pendiente de 0.2105 en el mismo sentido de la -
estratificación esto es hacia aguas arriba (ver fig. 6.11).

BANCOS DE MATERIALES

Los bancos de materiales se localizaron con el criterio de -
ser económicamente explotables, por lo que se consideraron --
los conceptos de distancia de acarreo y volumen disponible, -
así como el tipo y características requeridas para preveer un
comportamiento adecuado en la cortina.

Los materiales fueron identificados en el campo, muestreados-
y ensayados en el laboratorio, únicamente para conocer sus --
características índice, así como estimar en forma preliminar-
el tratamiento requerido para su aprovechamiento. En el estu
dio, no se realizaron levantamientos topográficos de los ban-
cos, por lo que las áreas son aproximadas y las elevaciones -
medidas con alfilero.

El volumen de materiales naturales requeridos por el proyecto
es el siguiente:

Alternativa de materiales graduados a la elevación de 650 m.

MATERIAL	EMPLEO	VOLUMEN (m ³)
Roca	Taludes exteriores (cortina)	1'070,000
Rezaga y/o grava y arena	Respaldos (cortina)	10'367,000
Grava y arena	Filtros y transiciones (cor tina)	1'440,000
Arcilla	Núcleo (cortina)	2'183,000
Grava y arena	Agregados para elaboración- de concreto hidráulico	197,000

Alternativa gravedad de concreto a la elevación de 597 m.

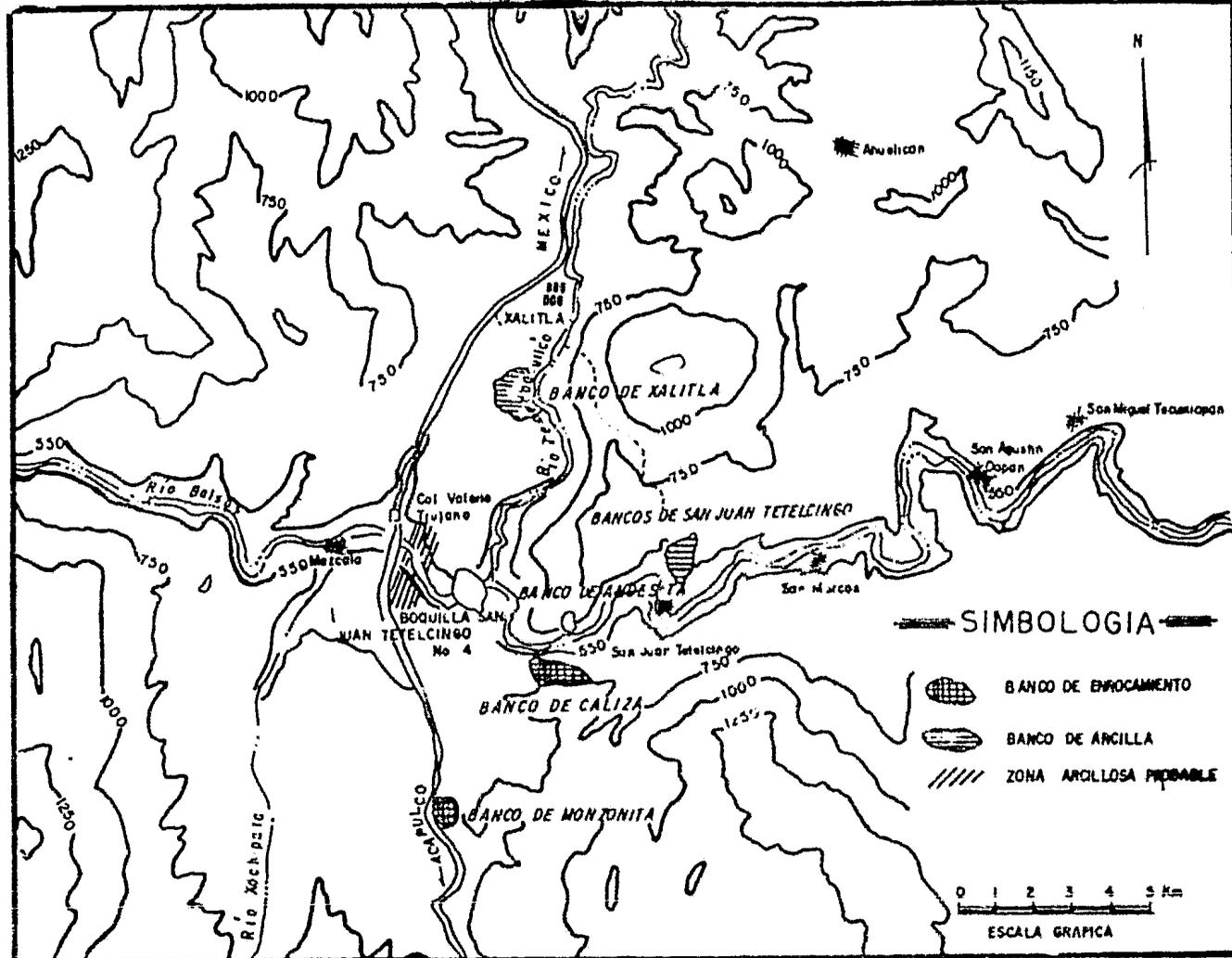
Roca	Taludes exteriores y preatagufa (atagufas)	126,000
Rezaga	Respaldos (atagufas)	267,000
Grava y arena	Filtros (atagufas)	67,000
Arcilla	Núcleo (atagufas)	80,000
Grava y arena	Agregados para elaboración de concreto hidráulico	704,000

El volumen de agregados para la elaboración de concreto hidráulico, se determinó tomando en cuenta que aquel constituye aproximadamente 70% del volumen de concreto requerido.

MATERIAL IMPERMEABLE

Banco Xalitla.- Se localiza hacia el norte de la boquilla, - sobre la margen derecha del Rfo Tepecoacuilco. El acceso es por la carretera México-Acapulco, a 5 km del puente Mezcala, - se transita sobre un camino de terracería en buenas condiciones que comunica con el poblado de Sn. Juan Tetelcingo, hasta el cruce con el rfo mencionado, a partir del cual el banco se localiza a 700 m. hacia el S-W (ver fig. 6.12). Es un banco constituido por arenas arcillosas de color rojizo, que presentan en ocasiones horizontes con fragmentos angulosos de gravas, los cuales son más abundantes en las partes alejadas del Rfo Tepecoacuilco.

El área estudiada es de aproximadamente 450,000 m² con la mayor longitud (100 m) en dirección N-S. Está limitado al Este por una zona de depósito aluvial formada por el arroyo y hacia el Oeste por laderas de roca perteneciente a la Formación



TESIS PROFESIONAL

FIG.G.12 Localización de bancos de materiales

LUIS A. AGUILAR PEREZ
EDUARDO PALACIOS GONZALEZ

Balsas. Superficialmente se observan fragmentos de roca, que en promedio van de 10 a 15 cm de diámetro.

Se efectuaron 21 pozos a cielo abierto de los cuales se tomaron muestras alteradas en forma integral y a partir de los resultados de su ensaye en el laboratorio, de acuerdo con el S.U.C.S., el suelo aprovechable de acuerdo con su característica promedio, se clasifica como SC (arena arcillosa) con un porcentaje de finos de 36% identificados como arcilla de baja compresibilidad y un índice de plasticidad de 21%. (González y Domínguez 1981, p. 2.3)

El volumen aprovechable, estimado después de zonificar el banco y desechar las zonas no aprovechables, es de $400,000 \text{ m}^3$ -- de material.

La cota promedio del banco es la 580, por lo tanto se ubica dentro de lo que será el embalse para cualquiera de las alternativas. El espesor medio aprovechable es de 1.70 m.

Para la explotación de este banco es posible construir un camino que bordearía el cauce del Río Tepecoacuilco, siguiendo aproximadamente la curva de nivel 560, con un desarrollo de 4 km, hasta la boquilla. Otra alternativa, es el acceso por medio de la carretera México-Acapulco, pudiendo llegar a la boquilla por ambos márgenes; en este caso se requiere construir un camino de 1 km aproximadamente.

Banco Sn. Juan Tetelcingo. Se localiza hacia aguas arriba de la boquilla, sobre la margen derecha del Río Balsas, a una distancia en línea recta de 6 km, junto al poblado de Sn. Juan Tetelcingo. Este banco se ubica dentro del vaso de almacenamiento, sin embargo no se prevén problemas por inundación del sitio durante la construcción, ya que su cota promedio es la -

560 y la corona de la atagüa se ubica en esa misma elevación.

El banco se localiza a dos kilómetros del poblado antes mencionado con acceso a través del camino de terracería que lo comunica con la carretera México-Acapulco. (ver fig. 6.12).

La longitud de este camino es de 13 km y se encuentra en buenas condiciones durante la época de estiaje.

El banco considerado se compone de tres zonas, separadas entre sí por pequeños arroyos, y el área total que cubre es de aproximadamente $180,000 \text{ m}^2$.

Se realizaron 19 pozos a cielo abierto en el sitio para conocer el espesor promedio aprovechable, el cual resulto de 1.90 m, - lo que significa un volumen de $340,200 \text{ m}^3$. (op. cit. p. 2.6)

Con base en los resultados cualitativos de laboratorio, el material estudiado se considera de buena calidad para la formación del núcleo impermeable de la cortina. El bajo coeficiente de variación volumétrica estimado, es característico de un suelo poco compresible.

El camino de acceso y explotación del banco podrá localizarse sobre la margen derecha del río, con un desarrollo aproximado de 8 km, siguiendo curvas de nivel arriba de la 558.

MATERIAL PERMEABLE Y AGREGADOS PARA LA ELABORACION DE CONCRETO HIDRAULICO.

En el cauce del Río Balsas, hacia aguas abajo del eje de la boquilla, se localizan algunos playones constituidos por gravas y arenas, producto de acarreo de la corriente. Estos materiales, físicamente se consideran de buena calidad para la uti

lización en las zonas de filtros, transiciones y respaldos de la cortina así como para la elaboración de concreto hidráulico.

En los playones mencionados, se efectuaron exploraciones mediante pozos a cielo abierto hasta una profundidad promedio de 1.50 m (limitación por el N.A.F.) y ensayando muestras de los mismos en el laboratorio. Estos bancos se localizan dentro de una distancia aproximada de 3.5 km, hasta el puente Mezcala (carretera México-Acapulco).

En los tres bancos estudiados, se ha considerado una profundidad total aprovechable de 10.0 m, de acuerdo con la información obtenida de la ejecución de barrenos sobre el cauce del río en el sitio de la presa, en el cual el espesor mínimo de acarrees encontrado fue de 6.0 m, y el máximo de 14.0 m.

La curva granulométrica de los materiales hasta aquí mencionados es muy similar y se clasifican como gravas bien graduadas, con pocos finos (GW). (op. cit. p. 2.10).

El volumen de material que se obtendría de los bancos en cuestión es de 1 529,500 m³.

Para la elaboración de concreto hidráulico, es necesario tener presente que los minerales constituyentes de los materiales de acarreo del río que se utilizarán para agregados, en esta región, generalmente son reactivos con los álcalis del cemento, por lo que conviene posteriormente efectuar los análisis químicos correspondientes para prever las medidas adecuadas y evitar daños en las estructuras de concreto por la presencia de sustancias deletéreas. Así mismo de las excavaciones en la Formación Mexcala, necesarias para alojar las obras, se obtendrá un volumen de roca y rezaga, de 8 000,000 m³.

La roca del miembro volcanoclástico Tetelcingo, no se considera adecuada para su utilización después de excavada, dada la baja calidad observada, por lo que se cree debe desecharse.

BANCOS DE ENROCAMIENTO

Los bancos de enrocamiento propuestos a continuación son los que reportó el Ing. Rodolfo Gómez V., en el año de 1964, en su informe geológico final de la alternativa 2, a los que se pueden sumar los materiales resultantes de la excavación en los vertederos.

Banco de Monzonita.- Este banco se localiza en el km 56 de la carretera Iguala-Chilpancingo, está muy bien comunicado (ver fig. 6.12), corresponde a una roca intrusiva monzonítica, la cual presenta condiciones adecuadas para su explotación tales como un sistema de fracturamiento lo bastante espaciado como para obtener bloques de tamaño adecuado, así como una corteza de intemperismo muy delgada o casi inexistente. Este banco no se ha estudiado en cuanto a su volumen.

Banco de Caliza.- Este banco se encuentra sobre la margen izquierda del Rfo Balsas, 3 km aguas arriba de la boquilla. Se trata de una caliza de estratos gruesos a masiva, es una roca muy sana y presenta un fracturamiento adecuado para su explotación en bloques grandes. En cuanto a su comunicación se cuenta con un camino de acceso de terrasería hasta esta zona. De este banco tampoco se tienen datos en cuanto a su volumen.

Banco de andesita. Sobre la margen derecha del Rfo Balsas 3 km aguas arriba de la cortina (ver fig. 6.12), se localiza un derrame de andesita, el cual puede aportar buena cantidad del volumen requerido para las obras. Para el acceso deberá construirse un camino de 3 km de desarrollo.

CAPITULO VIICONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El conocimiento de las condiciones del sitio, asociado a un buen diseño de construcción, implican a la larga la obtención de buenos resultados, que se reflejan en el óptimo funcionamiento de las obras en operación.

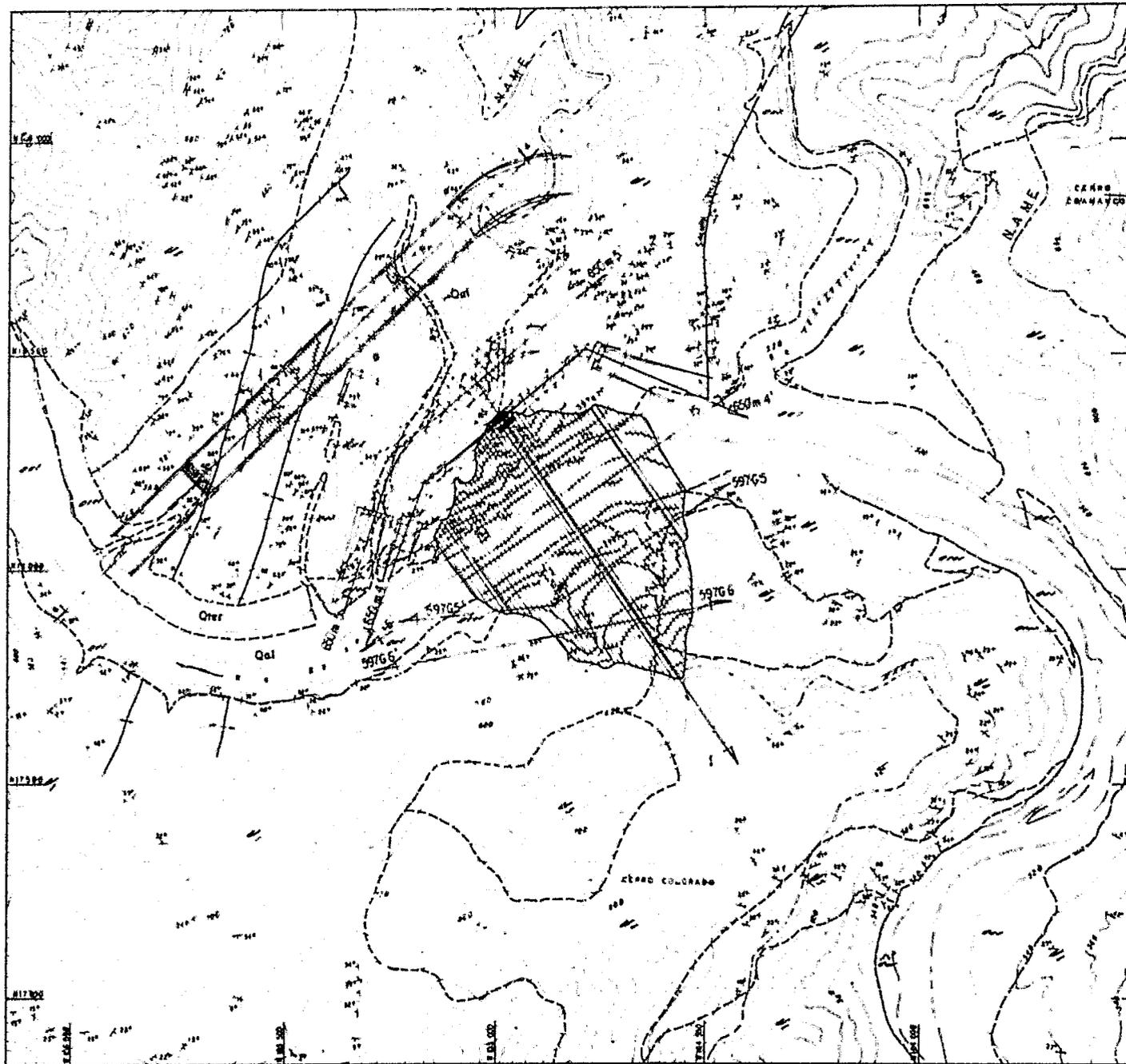
En estos términos la exploración geológica juega un papel de vital importancia, es conveniente que la misma se realice con una secuencia ordenada y bien organizada, así como también -- contar con información de otras áreas como la ingeniería civil y otras especialidades relacionadas con la Geotécnica.

CONCLUSIONES

- a) El área de estudio en particular, presentó cuatro posibles ejes de los cuales, el eje número cuatro es el que presenta las mejores condiciones geológicas y geotécnicas para el desplante de una cortina, tanto de tipo gravedad como de materiales graduados.
- b) Para la zona del eje cuatro se determinaron cuatro unidades geomecánicas, dos alojadas en la Formación Mexcala y dos en el miembro volcanoclástico Tetelcingo, de las cuales la que presenta las mejores condiciones geotécnicas es la Unidad U_1 de buena calidad de roca, y sobre la misma quedarán ubicadas la mayoría de las obras civiles.
- c) En cuanto a la permeabilidad del sitio de la cortina el miembro superior de la Formación Mexcala presenta 2.64 U.L. en promedio, para las tobas y tobas brechoides se tienen de 5 a 8 U.L. y para las brechas y brechas tobáceas presentan 8. a 18.5 U.L., lo cual hace concluir que a la elevación 597 el macizo rocoso es impermeable y a la

elevación 650 m.s.n.m. se tienen rocas que se consideran de poco permeables a permeables como es el caso de la unidad U_4 compuesta por brechas y brechas tobáceas.

- d) Para la zona de embalse se considera que al cerrar el vaso no se tendrán problemas graves de permeabilidad, debido a que las zonas altamente permeables como dolinas y sumideros, se encuentran muy alejadas de la zona del futuro embalse, sin embargo se realizó un plano para la zonificación de la permeabilidad en el vaso (ver anexo 2).
- e) A la elevación 650 m.s.n.m. parte de la cortina en la margen izquierda quedará desplantada básicamente sobre la -- unidad U_3 y otra pequeña parte sobre la unidad U_4 , y en base a que la U_3 está constituida litológicamente por tobas y tobas brechoides y estas a su vez mineralógicamente contienen arcillas del tipo de la montmorillonita, por lo que se prevén problemas, ya que estas arcillas presentan la propiedad de expanderse al contacto con el agua lo --- cual causa que la roca tienda a disgregarse y por lo tanto a generar zonas potencialmente inestables.
- f) A la elevación 597 m.s.n.m. se considera conveniente la - cortina del tipo gravedad, ya que la cimentación estará - formada sólo por una unidad geotécnica (U_1), la cual se - considera mecánicamente competente para soportar los es-- fuerzos a los que se verá sujeta.
- g) La margen derecha presenta echados que varían entre 10° y 25° buzando hacia el río y el espaciamiento de las discontinuidades es de 0.25 m a 1.5 m e incluso de 1 m a 3 m en algunas zonas, con orientaciones preferenciales casi N-S- y E-W, por lo que se plantea que no presentaran problemas graves de inestabilidad.



Qel

Qtr

U1

U2

U3

U4

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

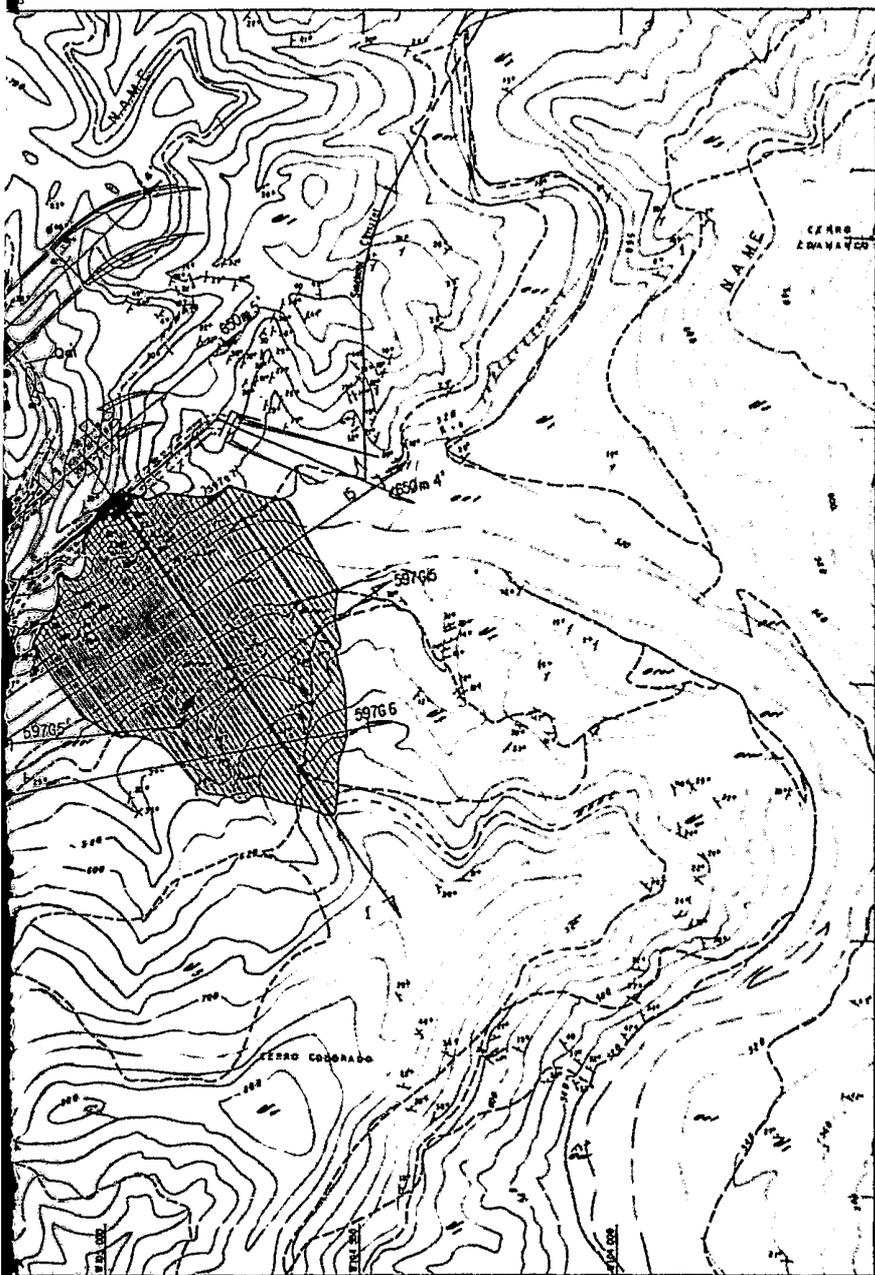
+

+

+

+

NOTA DEL
DE ESTE



— LEYENDA —

CLASIFICACION GEOMECANICA (Boussinesq)

CLASE	R M R	Descripcion de la zona
I	81 - 100	muy buena calidad
II	61 - 80	buna calidad
III	41 - 60	regular calidad
IV	21 - 40	baja calidad
V	0 - 20	muy baja calidad

Qel Aterción
Qter Depósitos de terraza

FORMACION MEXCALA

U₁ Consiste de estratos gruesos hasta 3 m de espesor, con intercalaciones de lutita de 15 cm de espesor en promedio. Esta unidad se encuentra en el miembro superior de la Fm. Mexcala.

ROD = 76% RMR = 66
Juntas = 0.25 - 1.5 m (espaciamiento) CLASE II + Rocas de buena calidad
RC = 500 - 1000 Kg/cm²

U₂ Litológicamente consta de una interstratificación de areniscas y lutitas con pre-dominancia de éstas últimas, las areniscas presentan espesores que varían de 5 cm - 10 m de espesor, mientras que las lutitas son laminares. Esta unidad abarca la parte superior del miembro medio y la base del miembro superior de la Fm. Mexcala.

ROD = 40 - 45% RMR = 41
Juntas = 0.05 - 0.20 m (espaciamiento) CLASE III + Rocas de regular calidad
RC = 125 - 500 Kg/cm²

MIEMBRO VOLCANOCLASTICO TETELCHICO

U₃ Está constituido de lavas y tefes brechados en la parte inferior del miembro Volcanoclastico Tetelchico.

ROD = 73% RMR = 40
Juntas = 0.05 - 0.30 m (espaciamiento) CLASE IV + Rocas de baja calidad
RC = 125 - 500 Kg/cm²

U₄ Se encuentra en la parte superior del Miembro Volcanoclastico Tetelchico y litológicamente está constituido por brechas y brechas lobocosas.

ROD = 73% RMR = 58
Juntas = 0.30 - 1.40 m (espaciamiento) CLASE III + Rocas de regular calidad
RC = 500 - 1000 Kg/cm²

SIMBOLOGIA

- Rumba y echada vertical
- Rumba y echada
- Curva de nivel
- Línea de sección
- Eje de antitlinal
- Eje de sinclinal
- Contacto geotéctico
- Río
- N.A.M.E.

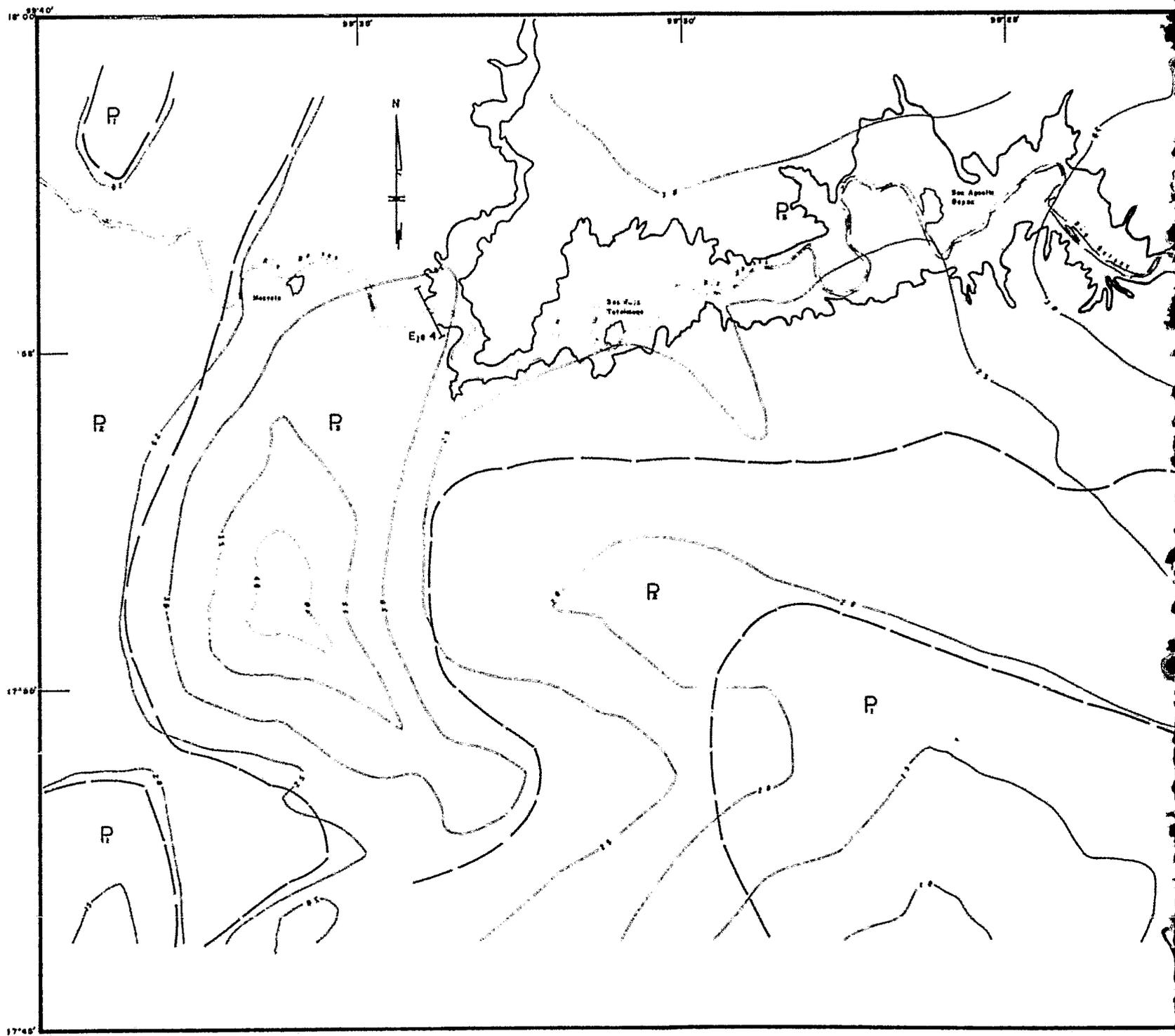
ANEXO I

UNAM	
Facultad de Ingeniería	
CLASIFICACION GEOMECANICA DEL MACIZO ROCOSO PARA LA ZONA DE LA BARRILLA DEL P.N. SAN JUAN TETELCHICO C.A.	
RIB BALBAS, ERG	
DCT	LUISA AGUILAR P
1982	EDUARDO PALACIOS B

Notar la disposición de las obras y la geología de esta zona se puede ver en la FIG. 63

ESCALA GRAFICA





LEYENDA

-  Isolíneas de igual densidad de disecación Km x Km²
-  río
-  Límite inferido entre zonas de permeabilidad
-  Zona de alta permeabilidad
-  Zona de regular permeabilidad
-  Zona de baja permeabilidad
-  Eje No 4
-  Poblado
-  N A M E

Escala gráfica



NOTA Para la realización de este estudio se tuvo como base el plano topográfico E 14 C 18 de DETERAL (Inventario)

Anexo 2

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA	UNAM	
	Facultad de Ingeniería	
	Zonificación de la permeabilidad para la zona del vaso del P.H. San Juan Tetel cinco Río Balsas.	
	C.R.	
	AUT.	LUIZ A. REVILLAR
	CORR.	EDUARDO PALACIOS

- h) El espesor de los acarreos del río varía entre 6 y 14 m - con un promedio de 8 m y en el área de la cortina descansan sobre la unidad U_1 . La posición estructural de los estratos de esta unidad es hacia aguas arriba, lo cual -- constituye la mejor condición geohidrológica.
- i) Dentro de un radio de 15 km partiendo del eje de la cortina, se tienen bancos de material de cantidad y calidad -- apropiados para construir una presa del tipo de materiales graduados o de concreto tipo gravedad.

RECOMENDACIONES

- a) Es necesario ampliar el programa de ensayos para conocer la distribución de la permeabilidad en la zona del macizo rocoso, de interés para las obras.
- b) En la margen izquierda es conveniente remover material de talud, así como el paleocanal ya que se localiza en la -- parte central de la sección transversal de la cortina y -- constituye una zona de alta permeabilidad, su baja capacidad de carga permite inferir que no se comportará satisfactoriamente bajo esfuerzos.
- c) Se considera necesario efectuar pruebas de mecánica de - suelos, para las rocas que constituyen la unidad U_3 para conocer la expansibilidad de las mismas bajo condiciones de saturación.
- d) Es conveniente programar también pruebas de mecánica de - rocas con el objeto de conocer los valores de resistencia y deformabilidad de la roca y el estado interno de esfuerzos del macizo rocoso.

- e) Asimismo será necesario conocer los valores de resistencia al esfuerzo cortante de las juntas de la roca, bajo condiciones de saturación en la zona que se considera inestable localizada aguas arriba del eje cuatro (eje 2 - margen izquierda).
- f) Para la impermeabilización del macizo rocoso se deberá tener en cuenta la orientación de los sistemas, α y β y en especial en la intersección de los mismos ya que son las zonas en las cuales se tiene una mayor permeabilidad secundaria.
- g) Será necesario recubrir las zonas de excavación en la unidad U_3 puesto que son rocas que tienen una velocidad de intemperismo muy alto.
- h) Es importante que se adopte el método de excavación más apropiado al tipo de roca, para evitar el incremento de las discontinuidades en el macizo rocoso, lo cual propiciaría zonas de inestabilidad adicionales a las potencialmente factibles.
- i) Para la alternativa de materiales graduados a la elevación 650 m.s.n.m., se requiere aprovechar totalmente la rezaga, producto de la excavación para la formación parcial de los respaldos complementándolos con los bancos de materiales.
- j) La roca del miembro volcanoclástico Tetelcingo no se considera adecuada para ser utilizada después de ser excavada por lo que es pertinente no tomarla en cuenta.

BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- Barton, N., Lien, R., y Lunde, J. 1974, "Engineering Classification of rock masses for the design of tunnel support", - Rock Mech. vol. 6, p. 199-236.
- Bazán, E., Esteva, L., Guerra, O.R. 1980, "Sismicidad en zonas de subducción", Rev. Ingeniería Sísmica, Agosto 1980, No. 21.
- Bernal Montemayor, C. y Cuéllar Borja, R. 1975, "Análisis de estabilidad de la ladera ubicada en la margen derecha del sitio número cuatro en el P.H. El Caracol, Gro.", México D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Piniowski, T. Z. 1974, "Geomechanics classification of rock masses and its application in Tunneling", ISMR Procd. - 3rd Cong. vol. 24, Denver USA.
- Bohnenberger Thomas, Otto, 1955, "Bosquejo geológico a lo largo de la carretera Iguala-Chilpancingo, Estado de Guerrero" UNAM, Esc. Nal. de Ingenieros, tesis profesional.
- Bolívar, J. M. 1963, "Geología del área delimitada por El Tomatl, Huitzucó y Mayanalán, Estado de Guerrero", UNAM, Instituto de Geología, Bol. 69.
- Campa Uranga, M. F. 1978, "Prospecto Zoquiapan, zona Poza Rica", PEMEX, informe geológico, inédito.

- CETENAL-Instituto de Geografía 1970, "Carta de climas", México, D. F., Hojas México, Acapulco, Veracruz y Oaxaca, etc. - - 1:500 000 mapas con texto.
- Comisión Americana de Nomenclatura Estratigráfica 1970, "Código de Nomenclatura Estratigráfica", 2a. ed.
- Cserna, Zoltan de 1965, "Reconocimiento Geológico en la Sierra-Madre del Sur de México, entre Chilpancingo y Acapulco, Estado de Guerrero", UNAM, Instituto de Geología, Bol. 62.
- Cserna, Zoltan de, Palacios Nieto, M. y Pantoja Alor, J. 1978, - "Relaciones de facies de las rocas cretácicas en el noroeste de Guerrero y en áreas colindantes de México y Michoacán", UNAM, Instituto de Geología, Revista, vol. 2 p. 8-18.
- Cserna, Zoltan de, Ortega Gutiérrez, F. y Palacios Nieto, M. -- 1980, "Reconocimiento geológico de la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Estados de Guerrero y Puebla", Comisión Federal de Electricidad, III Reunión Nal. de Geotécnica y Geotermia, Libro guía de la excursión geológica a la parte central de la cuenca del alto Río Balsas, Guerrero y Puebla.
- Chávez Quirarte, R. 1980, "Estudio geológico regional y de la - boquilla del Proyecto Hidroeléctrico de Sn. Juan Tetelcingo, Río Balsas, Estado de Guerrero", IPN, Esc. Sup. Ingeniería y Arquitectura, tesis profesional inédita.
- Deere, D.U., Peck, R.B., Parker, H. W. y Monsees, J. E. 1970, - "Design of tunnel support systems", Highway Research Record, No. 339 p. 26-33.

- De la O-Carreño, Alfonso 1954, "Las provincias geohidrológicas de México" Parte 2: UNAM, Inst. Geología, Bol. 56.
- Derruau, M. 1980, "Geomorfología", Editorial Ariel Barcelona.
- Electroconsult, 1975, "Sistema Hidroeléctrico del Río Balsas, - P.H. El Caracol", México, D. F., Comisión Federal de Elec tricidad, informe inédito.
- Esteva, M. L. 1968, "Bases para la formulación de decisiones - de diseño sísmico", México, D. F., UNAM, Inst. de Ingente ría, informe 182.
- Esteva, M. L. 1970a. "Regionalización sísmica de México para - fines de Ingeniería", México, D. F., UNAM, Inst. de Inge- niería.
- Esteva, M. L. y Bazán, E. M. 1978, "Riesgo sísmico en El cara-- col", México, D. F., UNAM, Inst. de Ingeniería, informe - inédito.
- Figueroa, A. J. 1959, "Carta sísmica de la República Mexicana", Anales del Instituto de Geofísica, UNAM, vol. 5, México, - D. F.
- Figueroa, A. J. 1972, "Sismicidad en el Estado de Guerrero", - Revista de Ingeniería, año 1972 No. 1.
- Fosado López, J. A. 1982, "Geología y Geotécnia del Proyecto - Hidroeléctrico Huixastla, en el Río Balsas, Estado de - - Guerrero", UNAM, Fac. de Ingeniería, tesis profesional, - inédita.

- Fries Carl Jr. 1960, "Geología del Estado de Morelos y de partes adyacentes de México y Guerrero, región central meridional de México", UNAM, Inst. de Geología, Vol. 60.
- Galindo y Villa Jesús y Dolores, 1946, "Geografía sumaria de la República Mexicana", México, D. F.
- García, E. 1964, "Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarlo a las condiciones particulares de la República Mexicana", offset Larios, México, D. F.
- González y Denetro Jesús 1981, "Informe Geotécnico de Factibilidad", Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos, Subgerencia de Ingeniería Preliminar Civil y Geotécnica, Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Goodman, Richard E. 1980, "Introduction to rock Mechanics", -- edit. John Wiley and Sons.
- Hernández Palacios, G., Maycotte, J. I., Chávez, Q. R., Landgrave, N. J. 1981, "Informe geológico del P.H. Sn Juan -- Tetelcingo", Brigada de estudios Geológicos de la Cuenca del Río Balsas, Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Hills Sherbon, E. 1977 "Elementos de Geología Estructural", -- Editorial Ariel. Segunda Edición.
- International Society for Rock Mechanics (SIMR), 1980 "Commission on Clasificación of rocks and rock masses", Basic -- Geotechnical Description (B.G.D.).

- Jiménez Domínguez Abel, 1965 "Estudio geológico del Proyecto - Hidroeléctrico de la presa de Sn. Juan Tetelcingo, sobre el Río Balsas" Tesis profesional. Facultad de Ingeniería- UNAM.
- Kostenko, N. P. 1977, "Bosquejo geomorfológico estructural de la presa (en proyecto) El Caracol, en el Río Balsas, Guerrero", México, D. F., U.I.A.M., Inst. de Ingeniería, Informe inédito.
- Lauffer, H. 1958 "Gebirgs Klassifizierung für den Stollenbau", - Geologie und Bauwesen, vol. 24, 1958.
- Leavenworth, W. C. 1946, "A preliminary study of the vegetation of the region between cerro Tancitaro and the rio -- Tepalcatepec, Michoacán," México, Amer. Midl, Nat. 36:137 206.
- Lesser Jones, H. y Torres Izabal L. 1959, "Reconocimiento geológico de las boquillas del proyecto El Caracol, sobre el Río Balsas, Edo. de Guerrero", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Lugo Hupb, J. 1978, "La Geomorfología y sus aplicaciones en la Ingeniería civil", Curso de Ingeniería Geológica. Centro de Educación continua Div. Est. Sup. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Martínez B. 1979, "Estudio Socioeconómico de la cuenca del alto Río Balsas" Brigada de Estudios Socioeconómicos C.F.E., -- informe inédito.
- Maycotte J. I., Cserna Zoltan de 1981, "Geología y geotécnica - del Proyecto Hidroeléctrico El Caracol, Guerrero".

- Miranda, F. 1943. "Estudios sobre la vegetación de México. IV. Algunas características de la flora y de la vegetación de la zona de Acatlán, Puebla". An. Inst. Biol. México. 14:-407-421.
- Miranda, F. 1947, "Estudios sobre la vegetación en México V. - Rasgos de la vegetación en la cuenca del Río de las Balsas", Rev. Soc. Mexicana Hist. Nat., t. VIII.
- Mota Palomino R. 1979, "Contribución a L'Etude Sismo-tectonique Du Mexique Meridional", Tesis doctoral Université de Paris VII Département des Sciences de la Terre. Inst. de - Geofísica.
- Müller S. L. y Fecker F. 1979, "Experience in site investigation for dam construction in folded areas", International Association of Engineering Geology. Bulletin No. 20.
- Nájera Garza, J. 1965, "Estudio Geológico del área de Sn. Agustín Oapan, Edo. de Guerrero", IPN, Tesis profesional.
- Ordoñez Esequiel 1946, "Principales provincias geográficas y geológicas de la República Mexicana", en Guía del explorador minero, Cap. VI, Com. Direct. Invest. Recursos min. - México.
- Ortega Gutiérrez Fernando 1980, "Rocas Volcánicas del Maestrichtiano en el área de Sn. Juan Tetelcingo, Estado de Guerrero", Libro Guía de la excursión geológica a la cuenca del alto Río Balsas.
- Palacios Nieto Miguel, 1959, "Informe geológico del P.H. El -- Caracol", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad informe inédito.

- Palacios Nieto Miguel, 1960, "Informe Geológico del Proyecto - Hidroeléctrico El Caracol", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Palacios Nieto Miguel, 1963, "Informe geológico del P.H. El - Caracol", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad informe inédito.
- Palacios Nieto Miguel, 1973, "Resumen de los trabajos geológicos en la boquilla de El Caracol, Río Balsas, Guerrero", - México, D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe- inédito.
- Palacios Nieto Miguel, 1974, "Informe geológico del P.H. El - Caracol", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Palacios Nieto Miguel y García Calvario M. A. 1975, "Resumen - Geológico parcial del P.H. El Caracol, sitios 2 y 4, Río Balsas, Gro.", México, D. F., Comisión Federal de Electricidad, informe inédito.
- Powell J. W. 1875, "Exploration of the Colorado River of the - West and its tributaries", Washington, D. C. Smithsonian- Inst.
- Raisz E. 1959, "Landforms of México", Geography Branch of the- office of Naval Research. Cambridge Mass.
- Rangel Rincón, S. 1979, "Prospecto Balsas Gro., Zona Poza Rica" PEMEX. Informe inédito.

- Razo Montiel, Antonio 1976, "Reconocimiento geológico para - - bancos de arcilla, arena, grava y enrocamiento para el -- P.H. El Caracol", México, D. F., Comisión Federal de - - Electricidad, informe inédito.
- Rosas Lopez J. L. y Prieto Velez R. 1978, "Exploraciones Geo-- lógicas para obras de Ingeniería Civil", Facultad de In-- geniería UNAM, tesis profesional.
- Rzedowski Jerzy 1978, "Vegetación de México", Editorial Limusa.
- Terzaghi, K. 1946, "Rock defects and loads on tunnel supports" in R. V. Proctor and T.L. white, Rock Tunneling with - - steel supports, commercial shearing and stamping Co. Yo-- ungston, Ohio.
- Wickham, Tiedemann y Skinner, 1974, "Ground support prediction model". R. S. R. concept proc. 2nd RETC Conf. (A I M E) - p. 691-707.
- Wilson, B. W. Hernández J. P. y Meave-Torrescano E. 1955, "Un- banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Esta- do de Guerrero" México, Soc. Geológica Mexicana, Bol. V.- 18 No. 1.
- Záruba Q. Menci V. 1976, "Engineering Geology", Elsevier Scien- tific Publishing Company. Prague Czechoslovakia.