



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO
HIDROELECTRICO HUIXASTLA, EN EL RIO
BALSAS, EDO. DE GUERRERO**

T E S I S

que para obtener el Título de

INGENIERO GEOLOGO

p r e s e n t a :

JORGE ANTONIO FOSADO LOPEZ

México, D. F., 1982



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
c 0-1-26

Al Pasante señor JORGE ANTONIO FOSADO LOPEZ,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Prof. Ing. Mariano Ruiz Vázquez, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de INGENIERO GEOLOGO.

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO HIDROELECTRICO HUIXASTLA,
EN EL RIO BALSAS, EDO. DE GUERRERO".

Resumen

- I. Introducción
 - II. Información general
 - III. Geología regional
 - IV. Geología y geotecnia del sitio
 - V. Análisis de estabilidad de la margen izquierda
 - VI. Conclusiones y recomendaciones
- Bibliografía
Ilustraciones

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

Atentamente,
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, D.F., a 15 de abril de 1962
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espriú

JJE 'MRV' mdb.

I N D I C E

	<u>R E S U M E N</u>	1
I.-	<u>INTRODUCCION</u>	4
II.-	<u>INFORMACION GENERAL</u>	6
	A) LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO	6
	B) CLIMA Y VEGETACION	7
	C) FISIOGRAFIA	9
	D) ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	12
	E) ANTECEDENTES	14
	F) MARCO GENERAL DEL PROYECTO	16
	G) CARACTERISTICAS DEL PROYECTO	21
III.-	<u>GEOLOGIA REGIONAL</u>	26
	A) <u>ESTRATIGRAFIA</u>	27
	PALEOZOICO	
	1) Complejo Acatlán	27
	JURASICO	
	2) Cuarcita Cualac	28
	CRETACICO	
	3) Formación Zicapa	29
	4) Anhidrita Huitzuco	30
	5) Formación Morelos	32
	6) Formación Cuautla	34
	7) Formación Mexcala	35
	8) Formación Tetelcingo	37
	TERCIARIO	
	9) Formación Balsas	39
	10) Riolita Tilzapotla	40
	11) Andesita Buenavista	41
	12) Formación Oapan	42
	CUATERNARIO	
	13) Aluvión	43
	B) <u>GEOLOGIA ESTRUCTURAL</u>	43
	C) <u>HISTORIA GEOLOGICA</u>	45
IV.-	<u>GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL SITIO</u>	49

A) INTRODUCCION	49
B) LITOLOGIA Y ESTRUCTURA	51
1) Litología	51
2) Estructura	53
3) Discontinuidades	54
C) PERMEABILIDAD Y NIVELES FREATICOS	56
1) Permeabilidad	57
2) Niveles Freáticos	58
D) GEOFISICA APLICADA	59
1) Método Sísmico	60
2) Método Eléctrico	60
E) UNIDADES GEOTECNICAS	61
1) Parámetros	61
2) Unidades	63
3) Distribución	69
F) ASPECTOS GEOTECNICOS DE LAS OBRAS	70
1) Cortina	70
2) Obra de Desvio	74
3) Obra de Toma y Tuberías de Presión	77
4) Obra de Control y Excedencias	78
5) Casa de Máquinas	79
6) Pozos de Oscilación y Desfoques	80
G) MATERIALES DE CONSTRUCCION	81
1) Canteras	82
2) Bancos de Materiales Graduados	83
3) Bancos de Arcilla	83
V.- <u>ANALISIS DE ESTABILIDAD DE LA MARGEN IZQUIERDA</u>	85
A) PLANTEAMIENTO	85
1) Situación Actual	85
2) Origen	85
B) CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO	86
1) Litología	86
2) Zonificación	87
3) Discontinuidades	87
4) Nivel Freático	88

	iii
C) CONSIDERACIONES PARA EL ANALISIS	82
1) Parámetros	88
2) Método	91
D) EVALUACION DE LA ESTABILIDAD	97
1) Evaluación de la Zona I	97
2) Evaluación de la Zona II	99
3) Evaluación de la Zona III	102
E) METODOS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD	110
VI.- <u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	113
A) CONCLUSIONES	113
B) RECOMENDACIONES	118
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	121
<u>ILUSTRACIONES</u>	iv

I L U S T R A C I O N E S

	Pag.
1) Fig. 2.1.- Plano de Localización y Acceso del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla.	6
2) Fig. 2.2.- Mapa de las Provincias Fisiograficas del Sur y Centro de la República Mexicana (Raisz 1959).	9
3) Fig. 2.3.- Localización de las Alternativas de Aprovechamiento Hidroeléctricas en el cauce del Río Balsas.	18
4) Fig. 2.4.- Alternativas de Aprovechamiento Hidroeléctrico en la Cuenca Alta del Río Balsas.	19
5) Fig. 2.5.- Disposición de las Obras Civiles del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla.	21
6) Fig. 3.1.- Plano de Geología Regional de la Cuenca del Alto Río Balsas.	26
7) Fig. 3.2.- Secciones Geológicas Regionales.	26
8) Fig. 3.3.- Tabla de Correlación Estratigráfica.	36
9) Fig. 4.1.- Localización de las Alternativas 1 a 6 del P.H. -- Huixastla.	49
10) Fig. 4.2.- Plano Geológico de las Alternativas 5 y 6 del P.H. Huixastla.	52
11) Fig. 4.3.- Estereodiagrama de Fracturamiento, Formación Mexcala.	54
12) Fig. 4.4.- Estereodiagrama de Fracturamiento, Formación Morelos.	54
13) Fig. 4.5.- Socavones 5 y 6.	56
14) Fig. 4.6.- Barreno 42	67
15) Fig. 4.7.- Sección a través del Eje de la Cortina.	71

	Pag.
16) Fig. 4.8.- Secciones a través de las Obras Civiles Margen De recha.	75
17) Fig. 4.9.- Secciones a través de las Obras Civiles Margen - Izquierda.	78
18) Fig. 4.10 Secciones a través de la Casa de Máquinas y Corte Subestación Elevadora.	79
19) Fig. 5.1.- Zonificación de la Masa Rocosa, Margen Izquierda- Eje 5.	86
20) Fig. 5.2.- Modelo de Análisis de Estabilidad de talud con Fa lla Plana.	95
21) Fig. 5.3.- Secciones Geológicas a través de las Zonas I, II, III Margen Izquierda.	96
22) Fig. 5.4.- Estereodiagramas para Análisis de Estabilidad de- la Zona I.	97
23) Fig. 5.5.- Estereodiagramas para Análisis de Estabilidad de- la Zona II.	99
24) Fig. 5.6.- Estereodiagramas de Estabilidad en los extremos - de la Zona II.	100
25) Fig. 5.7.- Estereodiagramas de Análisis de Estabilidad Zona- III.	102
26) Fig. 5.8.- Gráficas de Sensitividad del Factor de Seguridad- Zona III.	109
27) Fig. 5.9.- Orientación y Buzamiento de los Taludes para Ex-- plotar la Zona III.	110

Anexo I .- Plano de Unidades Geotécnicas del P.H. Huixastla.

R E S U M E N

En el aprovechamiento hidroeléctrico de la Cuenca del alto río, Balsas, la alternativa número 3 formada por los proyectos de San Juan Tetelcingo y Huixastla es la más favorable puesto que tiene la mayor relación beneficio/costo.

En el Proyecto Hidroeléctrico de San Juan Tetelcingo se ha concluido la etapa de factibilidad y está listo para entrar a la fase de construcción. Para el proyecto de Huixastla las condiciones geotécnicas no han sido muy favorables y hasta antes de éste estudio se habían desechado 4 sitios a lo largo del cañón de éste mismo nombre. En este estudio se trata el área localizada a la salida -- del cañón de Huixastla donde se han ubicado los sitios 5 y 6 de dicho proyecto Hidroeléctrico, y con mayor énfasis a la del sitio 6 puesto que ofrece mejores condiciones geotécnicas para la realización de obras civiles.

El diseño del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, comprende una cortina de materiales graduados con un volumen aproximado de 14 millones de m³, y 150 m de altura, siendo la elevación de la corona a los 730 m.s.n.m, el NAME a los 728 m y el NAMINO a la cota 690 m. El vaso tendrá un volumen total de $5880 \times 10^6 \text{ m}^3$ y la obra vertedera una capacidad para desalojar 14,780 m³/seg.

En la primera etapa del P.H. Huixastla se tiene programado instalar 2 unidades generadoras, estas turbinas tendrán una potencia instalada de 306 M.W. con capacidad de generar 1193 G.W. H anuales

El sitio Huixastla y su futuro embalse quedan incluidos dentro-

de la subprovincia fisiográfica del Balsas-Mexcala que es a su vez parte de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur. En esta subprovincia el relieve es más bien accidentado con pocas superficies semi planas. Las rocas calcáreas del Cretácico Inferior forman las prominencias más elevadas del terreno, como en el caso del cañón de Huixastla. Estas rocas calcáreas presentan un drenaje espaciado y una forma redondeada, algunas ocasiones se observan ragos carsticos. Por otra parte las rocas del Cretácico Superior y Terciario son predominantemente terrígenas y volcánicas, en las cuales la red de drenaje es más densa y las formas del relieve angulosas.

Existen 12 unidades litoestratigráficas en la Cuenca del alto río Balsas y futuro embalse del P.H. Huixastla. Esta secuencia tiene un basamento metamórfico del Paleozoico (Complejo Acatlán) posteriormente y en orden estratigráfico se encuentra la Cuarcita Cualac del Jurásico para seguir con la secuencia Cretácica que es calcárea básicamente en su base para variar a terrígena hacia finales de este período. En el Terciario son característicos los depósitos continentales de la Formación Balsas y activo vulcanismo, representado por las unidades del Oligoceno y Mioceno.

La secuencia sedimentaria del Cretácico que fué depositada sobre el basamento Paleozoico es deformada por la Orogenia Laramide, que actuó del Maestrechtiano al Oligoceno en esta área. La cuenca del alto río Balsas se puede dividir tectónicamente en 3 zonas, en el área del P.H. Huixastla las estructuras geológicas corren en la dirección N-S al Sur del río Balsas y al llegar a la zona del actual cauce del río, las estructuras modifican su rumbo a SSE-NNW, esto se atribuye a fenómenos de "decollement" siendo la "Anhidrita Huit-

zuco" el elemento lubricante.

Las rocas aflorantes a la salida del cañón de Huixastla donde se localizan las alternativas 5 y 6 corresponden a las calizas y dolomias de la Formación Morelos y a la secuencia calcáreo-evaporítica y terrígena de la Formación Mexcala.

Se definen las características geológicas de ésta área y se mencionan los criterios para elegir el sitio 6, de éste último se tratan aspectos geotécnicos de las obras civiles en base a la disposición que estas tienen en el actual diseño, y a las características geomecánicas de la masa rocosa presente en dicha alternativa 6.

El macizo rocoso presente en la margen izquierda de la alternativa 5, está sumamente fracturado, y debido a la posición estructural de las discontinuidades existe un riesgo potencial de falla -- del talud. Se efectua un análisis de ésta ladera y una zona resulta inestable. Al comparar los métodos de tratamiento resulta más conveniente el reducir el ángulo del talud, y utilizar el volumen-producto de la excavación como material de construcción.

C A P I T U L O I
I N T R O D U C C I O N

En la segunda mitad del siglo XX el Desarrollo Industrial de México se ha incrementado notablemente, y por consiguiente se ha registrado un aumento en la demanda de energéticos, lo que conduce a la política de diversificación de las fuentes de energía primaria. Debido a la importancia que han adquirido los hidrocarburos en el ámbito internacional, así como para hacer un uso racional de los mismos se deriva la conveniencia de utilizarlos de una forma más productiva y rentable que el de la generación de energía eléctrica

En el desarrollo de un país y dentro del área de energéticos, la electricidad adquiere una vital importancia, y la Comisión Federal de Electricidad tiene el compromiso de aumentar en 8 veces, para el año 2000 su generación media anual actual, siendo la meta alcanzar los 400 600 G.W.H. En el presente existen 17,000 M.W. de capacidad instalada en el país, de los cuales el 66% corresponden a las centrales termoeléctricas, el 33% a plantas hidroeléctricas y únicamente el 1% a las plantas geotermoeléctricas.

Al finalizar el siglo se requerirán 81,000 M.W. instalados, y existirá un cambio en ésta distribución de fuentes generadoras de electricidad, según lo contempla el Plan de Expansión del Sector Eléctrico al Año 2000 de Comisión Federal de Electricidad (México-1978). En ese entonces las generadoras a base de combustóleo o gas ocuparán un 46%, las plantas hidroeléctricas el 17%, las centrales nucleolétricas el 22%, mientras que las centrales geotérmicas tendrán el 1% y las carboeléctricas el 1.5% restante.

Dentro del plan de desarrollo de plantas hidroeléctricas, la --

cuenca del río Balsas ocupa un lugar de importancia, tanto por su potencial hidroeléctrico y por estar situada cerca de la región -- más densamente poblada del país.

En la parte alta de la cuenca del río Balsas se han localizado 4 sitios con posibilidad de desarrollo hidroeléctrico, y de acuerdo con las evaluaciones realizadas considerando generación, costo y beneficio, la alternativa que incluye a los proyectos de San -- Juan Tetelcingo y Huixastla es la más favorable.

En el presente trabajo se exponen las características generales del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, y al dar especial tratamiento a las características geológicas y geotécnicas del sitio, se pone de manifiesto la importancia y el carácter decisivo que tienen estas, en el dictamen final de factibilidad y aprobación para la construcción de estas grandes obras de infraestructura.

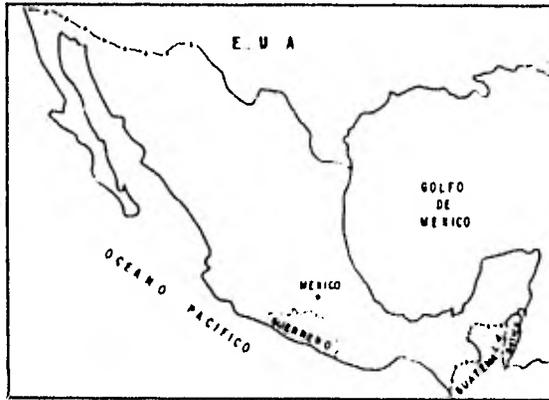
CAPITULO I I
I N F O R M A C I O N G E N E R A L

A) LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

El sitio del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, enclavado en la región centro - oriental de Guerrero y sobre el Río Balsas, -- esta definido por las coordenadas geográficas 17° 53' 51" de latitud norte y 99° 15' 52" de longitud oeste. Se encuentra a 170 km. al sur de la ciudad de México y a unos 63 km sobre el cauce del río, del cruce de la carretera México - Acapulco.

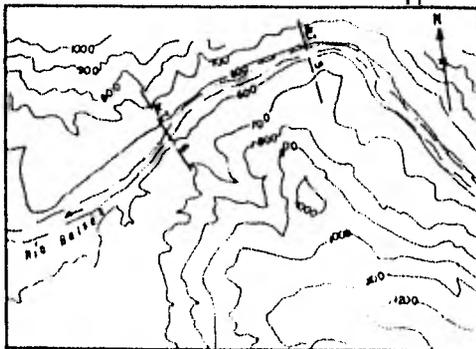
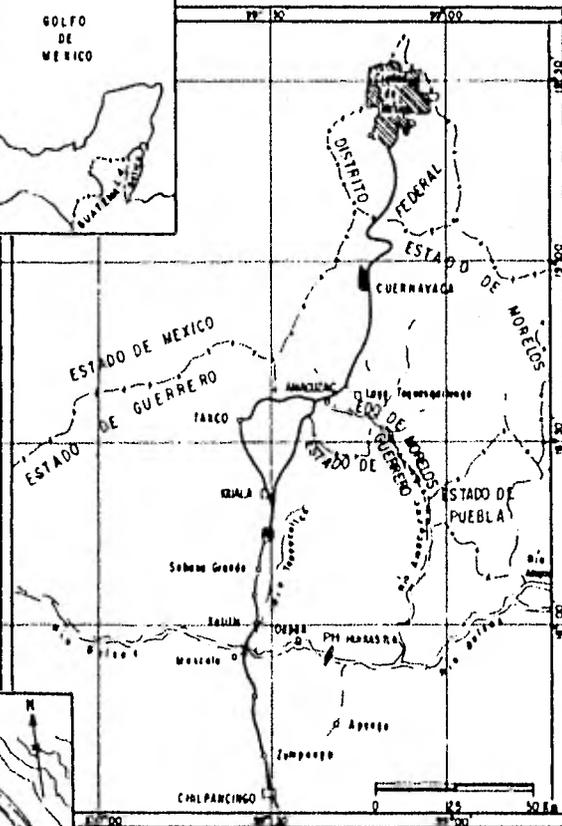
La ciudad más importante al suroeste de la boquilla del proyecto es Chilpancingo, capital del estado. Hacia el noroeste se localiza la ciudad de Iguala desde la cual se realiza el acceso terrestre a través de la carretera federal No. 95 México - Acapulco. Al haber recorrido 43 km desde la ciudad de Iguala por dicha carretera (6 km antes del puente Mezcala) se continúa por un camino de terracería de unos 60 km., el cual ha sido realizado y/o acondicionado por la Comisión Federal de Electricidad. Esta brecha que es transitable en toda época del año, toca en su recorrido a los poblados de San Juan Totelcingo, San Agustín Oapan, San Miguel -- Tecuixiapan y San Francisco Ozomatlán; en este último se encuentra el campamento de la Residencia de Geología de C.F.E.

El tiempo promedio en recorrer el trayecto en un vehículo Pick up, de la Cd. de Iguala al proyecto es de dos horas con cuarenta y cinco minutos. Anteriormente cuando se estudiaron otros sitios en el cañon de Huixastla el acceso se llegó a realizar en lanchas a través del Río Balsas desde el Puente de Mezcala y en algunas ocasiones a lomo de mula cuando el paso de los vehículos era imposible.



Jorge A Fosado López

TESIS
PROFESIONAL



ESC. GRAFICA APROXIMADA
0 100 200

Fig 2.1 Plano de localización y Acceso del Proyecto Hidroeléctrico Huixtla

B) CLIMA Y VEGETACION

En general el clima predominante en la región es cálido subhúmedo con lluvias en verano y según la Clasificación de Climas de Koppen modificada por E. García para la República Mexicana, corresponde al tipo $Aw_0(w) (i') g$ (CETENAL / Instituto de Geografía, - UNAM 1970) siendo este el más seco de los climas subhúmedos con un coeficiente de P/T (mm/ c) de 43.2

De acuerdo con el Catálogo Climatológico de C.F.E. (México -- 1981) la estación climatológica El Caracol coincide con la clasificación antes citada, sin embargo las estaciones de Mezcala y -- San Juan Tetelcingo relativamente más cercana al sitio tiene diferente clasificación. Para la estación Mezcala se tiene clima del tipo $Bs (h')w(w) (i')g$ que es el menos seco de los climas Bs (seco o estepario) con un cociente P/T Mayor de 22.9, en tanto que -- para la estación San Juan Tetelcingo los registros indican un clima $Bs (h')w' (w) (i')g$ el cual corresponde al más seco de los climas Bs , con la relación P/T menor a 22.9.

Para este clima cálido subhúmedo con lluvias en verano, y de -- acuerdo con las referencias antes mencionadas, los parámetros meteorológicos en la parte alta de la cuenca del Balsas son:

Precipitación Media Anual	860 mm
Mes de Máxima Precipitación	Agosto
Mes de Mínima Precipitación	Marzo
Porcentaje de Lluvia Invernal	5% - 10%
Temperatura Media Anual	28°C
Temperatura Media del Mes más caluroso (Mayo)	32°C
Temperatura Media del mes menos caluroso (Enero)	24.6°C
Cociente P/T (mm/ C)	43.2

Por lo general la vegetación es del tipo chaparral, y únicamente en las partes altas se encuentran coníferas. En las partes altas dañadas al proyecto es común encontrar árboles de poca altura (4 - 12 m.) del tipo " Cuajiotal ", así como vegetación típica de zonas áridas tales como los organos ramificados y sencillos y las biznagas y " rabo de Iguana ". A continuación se muestra un cuadro de las principales especies encontradas: (Becerril Ma de la Paz, 1979)

<u>Nombre Común</u>	<u>Especie</u>
Cuajote Colorado	(B. Longipies y B. Morensis)
Cuajote Amarillo	(B. Odorata)
Cuajote Verde	(B. Fagorois)
Cuajote Chino	(B. Lancilfolia)
Cuajote Copal Santo	(B. Jowlensis)
Organo Ramificado	(Lemaireocesis Veber)
Organo Sencillo	(Cephalorecerus Mezcalensis)
Rabo de Iguana	(Fouqueiria Ochoteranai)
Pochote	(Ceiba par Vifolia)

C) FISIOGRAFIA

El área circundante al proyecto de Huixastla está comprendida dentro de la subprovincia de la cuenca del Balsas - Mezcala, de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur. (Raisz - - 1959). Esta subprovincia es característica por presentar un relieve sumamente accidentado, del cual únicamente el 6% corresponde a terreno pene-plano. Al norte se encuentra delimitada por el Eje Neovolcánico hacia el sur por la Sierra Madre del Sur, mientras que por el occidente por la subprovincia de la Altiplanicie Septentrional y la subprovincia de la Altiplanicie Oaxaqueña por el oriente, estas dos últimas también se encuentran dentro de la Provincia Fisiográfica de la Sierra Madre del Sur (Raisz 1959).

En esta zona de la parte alta de la cuenca del Balsas, donde se localiza el sitio Huixastla y su futuro embalse, existen diferentes tipos de roca y con diferentes orientaciones estructurales, lo que da como resultado las diversas expresiones del relieve. En general las rocas calcáreas que son propias del Cretácico Inferior tienen un aspecto redondeado y su drenaje está ampliamente espaciado, además de formar en muchos casos altas prominencias topográficas, por otra parte las rocas con mayor contenido terrigenos así como las rocas volcánicas las cuales se depositaron tanto en el Cretácico Superior como en el Terciario, se manifiestan con formas más angulares y una red de drenaje de mayor densidad.

Desde el nacimiento del Río Balsas, cerca del poblado de San Juan del Río, Puebla, hasta donde se encuentra la boquilla del P.H. San Juan Tetelcingo, Gro., se puede dividir el área en tres

Jorge A Fosado López

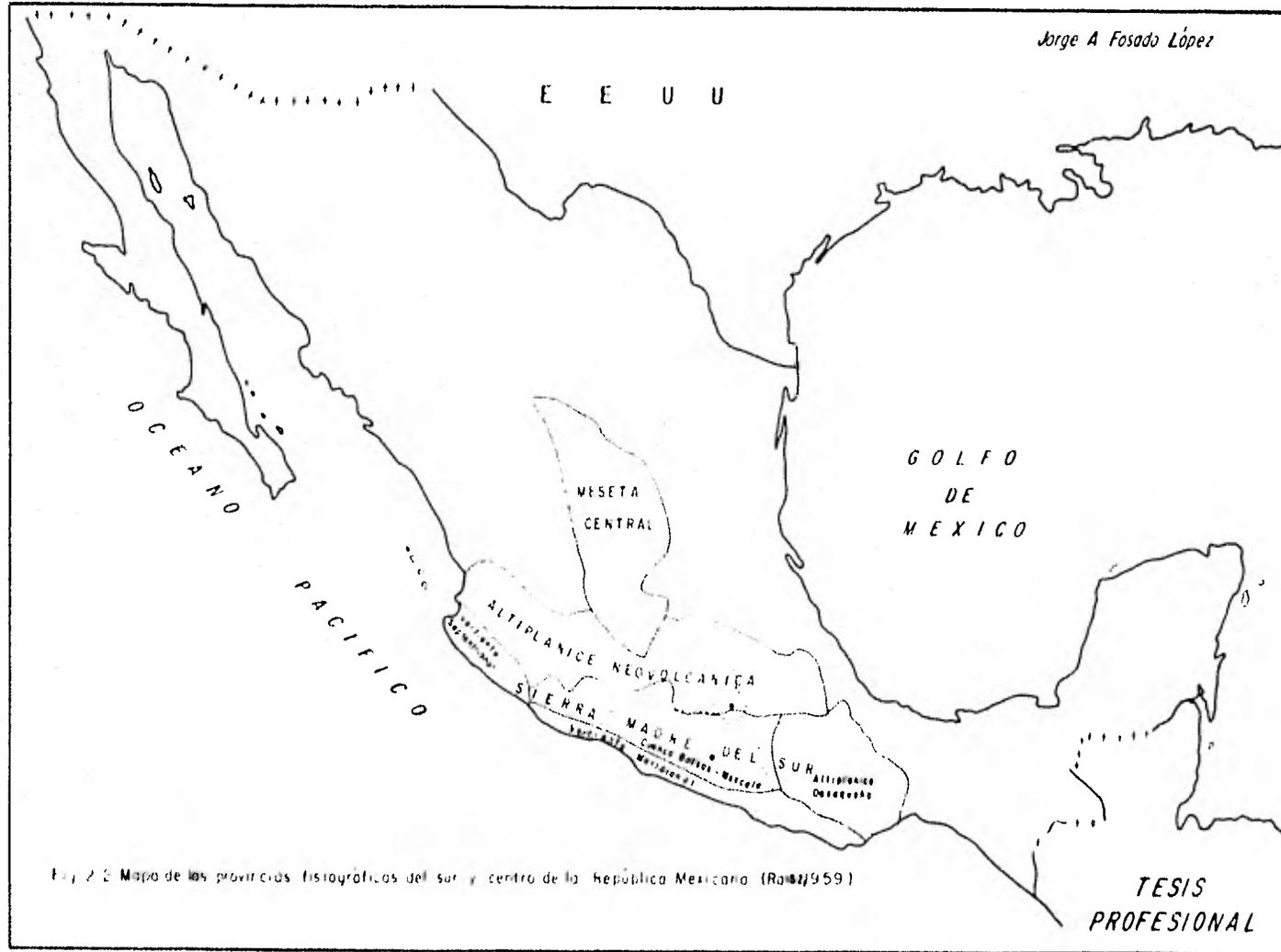


Fig. 2.2 Mapa de las provincias fisiográficas del sur y centro de la República Mexicana (Raima/959)

TESIS
PROFESIONAL

partes según la Morfología que presenta el terreno (de Cserna, -
et al 1980).

Hacia el oriente del Proyecto Hidroeléctrico de Huixastla, y -
donde tienen su confluencia los ríos Atoyac y Mixteco, el relieve
se encuentra principalmente labrado en rocas metamórficas del - -
Complejo Acatlán, aquí el terreno se encuentra maduramente disec-
tado y el relieve local promedio es de unos 500 m. Posteriormente
al oriente de la Cabalgadura de Papalutla, que pone en contacto -
las rocas paleozoicas del complejo Acatlán, con las calizas cretá-
cicas de la Formación Morelos, se encuentra la región con mayores
prominencias en la topografía, con un relieve local cercano a los
1000 m., en esta zona es donde se localiza el Cañon de Huixastla,
la disección en las calizas es juvenil, mientras que en las rocas
clásticas tiende a ser madura; las anticlinales formados por ro -
cas calcáreas forman las partes positivas, y están separadas por -
valles sinclinales de lutitas y areniscas.

Al occidente del proyecto, donde las rocas aflorantes, están -
constituidas por areniscas, lutitas y limolitas del Cretácico Su-
perior y rocas Continentales y Volcánicas del Terciario, el relie-
ve está cercano a la madurez y tiene como promedio unos 350 m.

La red hidrográfica del área, está constituida por el Río Bal-
sas (el más importante de la región) y sus afluentes, siendo --
los más importantes de aguas arriba hacia aguas abajo, el Atoyac-
y Mixteco donde se origina el río, el Nexapa, Tlapaneco, Amacuzac
Tlapehualapa y el río Tepecuacuilco.

El Río Balsas sigue un curso general de oriente a occidente, -
con algunas variaciones locales, y corta en forma perpendicular a

a la mayoría de las estructuras geológicas que tienen un rumbo regional N-S. A los afluentes del Balsas en esta región se les puede catalogar como consecuentes por fluir en la dirección de las estructuras geológicas, es decir perpendicularmente, al río, en cuanto al cauce principal de esta cuenca se le ha clasificado como superpuesto ó superimpuesto (de Cserna, 1980) ya que ha cavado su curso hacia niveles topográficos y estratigráficos más profundos, lo cual descarta la posibilidad de tratarse de una fosa tectónica.

En las rocas metamórficas del Complejo Acatlán, el Río Balsas sigue un curso sinuoso, en el que no se observa control estructural, más adelante en las proximidades de la confluencia del Río Nexapa, el Balsas tiende a fluir sobre la traza superficial de la falla Papalutla en la dirección NW-SE, posteriormente a la altura del poblado de Zicapa, el río abandona el terreno metamórfico dando una variación en su curso y fluir en la dirección preferencial E-W, y cortar en forma perpendicular a las estructuras plegadas de las rocas cretácicas, en este tramo, es donde se encuentran las máximas prominencias del relieve sostenidas en las rocas calcáreas de las formaciones Morelos y Cuautla, y únicamente, en la confluencia del Amacuzac se forma un valle amplio por la presencia de rocas poco resistentes a la erosión tales como la anhidrita y lutita. A la salida del cañon de Huixastla y hasta antes de la boquilla del P.H. San Juan Tetelcingo donde el río se encañona nuevamente, el Balsas sigue un curso meándrico y desarrolla amplias llanuras de inundación.

D) ASPECTOS SOCIOECONOMICOS

Si bien es cierto que la construcción de una presa acarrea en cierta forma problemas ecológicos y demográficos, también crea - beneficios tales como fuentes de trabajo, control de avenidas, - desarrollo ictiológico, sistema de riego, etc. Además en el caso de los proyectos hidroeléctricos se tiene como principal objetivo la generación de energía eléctrica básica para el desarrollo del país.

Los poblados que se encuentran en la cuenca del alto Balsas, - y que serán inundados por las aguas de los proyectos hidroeléctricos de San Juan Tetelcingo y Huixastla, son pueblos ribereños de características muy similares. El embalse del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla afectará 10 poblados, de los que únicamente 3 de ellos sobrepasan los 1000 habitantes, y son Atenango del -- Río, Tlalcozotitlán y San Francisco Ostutla con 3 222, 1 363, -- 1 123 habitantes respectivamente. Según censo de Arq. Ma. de la Paz B. (1979).

Esta región del Estado de Guerrero es una de las más marginadas del país, y la mayoría de los poblados carece de uno o varios de los servicios básicos, como agua potable, drenaje, electricidad, servicios médicos, educación, vías de comunicación etc. Las viviendas están construidas de adobe, y muchas veces consiste simplemente en una choza fabricada de vara y palma, pocas son las construcciones de tabique.

Los habitantes de ésta región desarrollan una economía de supervivencia en la que la agricultura es la principal actividad de la población. Por las características de la zona, la agricultura es de temporal en la mayoría de los casos, motivo que provo

ca el desempleo de la población en varias épocas del año.

Los cultivos más comunes en la región son el frijol, chile, - maíz, ajonjolí, cacahuete, sandía y melón.

La ganadería es otra actividad efectuada en la región, pero - en menor escala, y en general con animales de mala calidad. Se - cría ganado vacuno, cabrío, porcino, así como aves domésticas.

Con la introducción de proyectos de infraestructura, de las - diferentes dependencias del gobierno federal, se han creado fuen - tes de trabajo para los habitantes de la región.

Debido a la falta de maestros y escuelas rurales, la escolari - dad es muy baja y el analfabetismo sigue presente en el área. A - pesar de que en épocas recientes se han incrementado el número - de escuelas rurales en la región, los infantes no asisten a cla - ses en las épocas de cultivo ya que sus mayores los requieren pa - ra éstas jornadas.

La población se encuentra mal alimentada ya que su dieta básic - a consiste de frijol, chile y tortilla, pocas veces comen carne y otros alimentos nutritivos. Alrededor del 50% de la población - son menores de 14 años (de la Paz B 1979) y debido a la desnu - trición y falta de atención médica, ésta parte de la población - es la que registra el mayor índice de mortalidad. Los servicios - médicos cada vez penetran más en la región pero aún no suficien - temente ésto aunado a la desconfianza de la gente y a la falta - de higiene originan un gran número de enfermos en la población.

La religión más predicada es la católica, de la cual existen - templos en la mayoría de los poblados, en menor escala existen - otras religiones. Los habitantes de la región además de hablar -

idioma español, conservan el dialecto nahuatl.

E) ANTECEDENTES

Desde el año de 1952 Comisión Federal de Electricidad, ha realizado estudios en el cañón de Huixastla, ya que por estar localizado aguas abajo de la confluencia del Amacuzac, y por su estrechez topográfica representa un potencial hidroeléctrico atractivo

En la década de los años cincuentas varios contratistas realizaron trabajos para la C.F.E., entre ellos los Ingenieros Francisco Torres Herrera y Manuel Alvarez Carbajal que proponen una boquilla 10 km aproximadamente aguas abajo de la confluencia del Amacuzac. Es de mencionar que en la visita que realiza el Ing. Francisco Torres H., a un sitio localizado 63 km aguas arriba del puente de Mezcala, recomienda un estudio geológico detallado. En el año de 1961 la Oficina de Estudios Civiles, realiza dos anteproyectos, un eje denominado " El Gavilán " que está aproximadamente 4.5 km aguas abajo de la confluencia del Amacuzac.

En el año de 1962 los Ingenieros Razo y Soto después de recorrer el cañón de Huixastla deciden que el sitio más favorable es " El Gavilán " y comienzan las exploraciones en la zona. Para Septiembre de 1964 el Ingeniero Razo prepara el Informe Geológico Final de la Boquilla " El Gavilán ", en el cual llega a las conclusiones de que el sitio no ofrecía buenas condiciones, siendo el principal problema la permeabilidad en la boquilla y zonas adyacentes. En los años subsecuentes se suspendieron los trabajos y únicamente se hicieron visitas esporádicas. A partir de 1977 la Comisión Federal, a través de la Residencia de Estudios Geológi -

cos de Río Balsas, reanuda el trabajo con mayor intensidad, con el fin de conocer a detalle las condiciones geológicas y geotécnicas de varios sitios, así como las características del embalse. Esta Residencia ha elaborado varios informes, y también ha contratado los servicios de particulares, entre ellos del Ing. Jerjes Pantoja A.

Los estudios de geología regional del área, corresponden en su mayoría a trabajos de tesis profesionales. La primera de ellas de Thomas Bohnenberger (1955) abarca un tramo de la carretera México Acapulco. Posteriormente se realizaron cuatro tesis dirigidas por el finado Doctor Carl Fries Jr., las cuales son de: Crespo Hernández (1963), Bolívar (1963), Nájera Garza (1965) y Olea Gomezcaña (1965). Estos trabajos y el realizado por Dávila Alcoser (1979), también de tesis profesional abarcan la zona central y occidental de la parte alta de la cuenca del Balsas, mientras que los trabajos de tesis de Maestría (Rodríguez Torres 1970) y tesis profesional (Ruiz / Castellanos), así como el estudio regional de Ortega G. (1975) comprenden la parte oriental de la cuenca, en la que son comunes las rocas metamórficas.

Los Doctores de Cserna y Ortega Gutiérrez, ambos investigadores del Instituto de Geología U.N.A.M. y que además fungen como asesores de C.F.E., recopilaron la información existente, y realizaron levantamientos geológicos en las zonas de la parte alta de la cuenca del Balsas no cubiertas anteriormente para elaborar un trabajo que cubre toda ésta región, el cual aparece en el "Libro-Guía de la Excursión Geológica a la Parte Central de la Cuenca -- del Alto Río Balsas, Guerrero y Puebla" (1980), donde también aparecen trabajos de las zonas locales de ésta parte alta del Balsas

realizados tanto por gente del Instituto de Geología, UNAM como de la Residencia Estudios Geológicos del Río Balsas C.F.E.

F) MARCO GENERAL DEL PROYECTO

En vista de la imperante necesidad de la energía eléctrica, -- así como por las ventajas que representan las centrales hidroeléctricas la Comisión Federal ha intensificado los estudios y construcción de éste tipo de generadoras en las principales cuencas hidrológicas del país. Tal es el caso de la cuenca del Río Balsas en la cual la C.F.E. comenzó a realizar estudios para conocer su potencial hidroeléctrico en el año de 1938, de tal forma se desarrolló el Sistema Hidroeléctrico Ixtapantongo en la subcuenca que forman los ríos, Malacatepec, Tilostoc, Valle de Bravo, Zitácuaro Tuxpan e Ixtapan del Oro, en los estados de Michoacán y México, -- dicho sistema hidroeléctrico cuenta con varias centrales, pero -- únicamente 6 de ellas sobrepasan los 10 M.W. de capacidad instalada, siendo las plantas de Ixtapantongo y Tingambato las más importantes con 106 M.W. y 135 M.W. de capacidad instalada respectivamente. Este sistema tiene una capacidad total de 372.3 M.W. (De la Parra, et. al 1980).

Para el año de 1956 en base a la necesidad de suministrar el fluido eléctrico a la región central del país, y después de estudios técnicos y económicos, se llegó a la decisión de utilizar -- primeramente la parte baja de la cuenca del Balsas, ya que representaba mayor energía a menor costo, lo que condujo a la construcción de la central hidroeléctrica de El Infiernillo, y posteriormente para aprovechar el tramo existente entre la cortina de ésta planta hidroeléctrica y la desembocadura del Río Balsas, se insta

16 la planta hidroeléctrica La Villita.

APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS EN LA CUENCA DEL RIO BALSAS

(Plantas en operación)

SISTEMA IXTAPANTONGO	Capacidad Instalada (M. W.)
P.H. Ing. Martínez D'Meza (Sn. Bartolo 1), Méx.	25.2
P.H. Gral. Agustín Millán (Sn. Bartolo 2), Méx.	18.9
P.H. El Durazno, Méx.	18.0
P.H. Ixtapantongo, Méx.	106.0
P.H. Santa Bárbara, Méx.	67.6
P.H. Tingambato, Méx.	135.0
P.H. con menos de 10 M.W.	1.6
	<hr/>
Total	372.3 M.W.

SISTEMA LAZARO CARDENAS

P.H. Cupatitzio, Mich.	72.4
P.H. El Cobano, Mich.	52.0
P.H. El Infiernillo, Gro.	1012.0
P.H. La Villita, Mich.	300.0
P.H. con menos de 10 M.W.	30.6
	<hr/>
Total	1467.0 M.W.

Total de Capacidad instalada en la -- Cuenca del Balsas.	1839.3 M.W.
--	-------------

TABLA No. 1

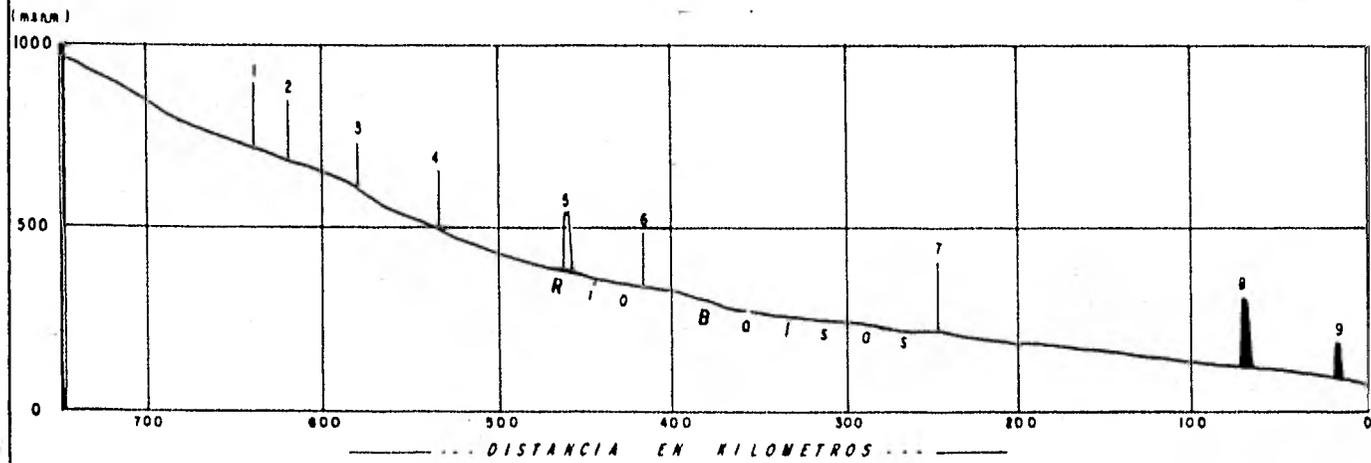
En los años subsecuentes la Comisión Federal prosiguió los estudios para aprovechamiento hidroeléctrico, tanto en la parte media-como en la alta del cauce principal de la Cuenca del Río Balsas, - de tal forma se tienen localizados varios sitios sobre dicho río, - algunos a nivel de anteproyecto, otros en estudio y existe un proyecto en construcción actualmente.

Aguas arriba del P.H. Infiernillo y sobre la cauda de su embalse se tiene localizado el sitio " Caimanera ", antes de la región agrícola de Cd. Altamarino. En la zona media de la cuenca se definieron dos sitios con posibilidades de desarrollo hidroeléctrico, el primero denominado " Tepoa " cerca del poblado Sto. Tomás, el otro llamado " El Caracol " situado a la elevación 418 m sobre el cauce y donde el río sigue un curso meándrico. La parte alta de la Cuenca del Río Balsas queda limitada por el poblado de Mezcala al Occidente y por la confluencia de los ríos Nexapa, Atoyac y Tlapaneco al Oriente, y se han localizado cuatro sitios como posibles aprovechamientos hidroeléctricos y son de aguas abajo hacia aguas arriba, San Juan Tetelcingo, Huixastla, Ostutla y Chiltepec (ver figura No. 11).

En base a la información topográfica, hidrológica y geológica, aunado a las consideraciones específicas de cada sitio, y tomando en cuenta los aspectos técnicos y económicos, se llegó al resultado de que el Proyecto Hidroeléctrico " El Caracol ", representaba ser el de mayor potencial hidroeléctrico, razón por la que se decidió su realización en primer término y actualmente se encuentra en proceso constructivo.

Dadas las características de pendiente suave, geología regional y volumen de escurrimiento del Río Balsas, el aprovechamiento más conveniente lo representa un sistema de presas escalonadas con planta generadora a pie de cortina (De la Parra, et. al 1980) Lo que proporciona las ventajas de tener una regularización de los escurrimientos y control de avenidas, que representa una reducción del 50% aproximadamente en la descarga de las obras de excedencias, además los proyectos intermedios tendrán la capacidad-

Jorge A. Fosado López



- 1.- SITIO CHILTEPEC
- 2.- SITIO OSTUTLA
- 3.- SITIO HUIXASTLA
- 4.- SITIO GM. JUAN TETELCINGO
- 5.- PRESA EL CARACOL
- 6.- SITIO TEPEA
- 7.- SITIO CAIMANERA
- 8.- PRESA INFIERNILLO
- 9.- PRESA LA VILLITA

- | SITIO EN ESTUDIO
- ▭ PROYECTO EN CONSTRUCCION
- ▬ PLANTA EN OPERACION

TESIS
PROFESIONAL

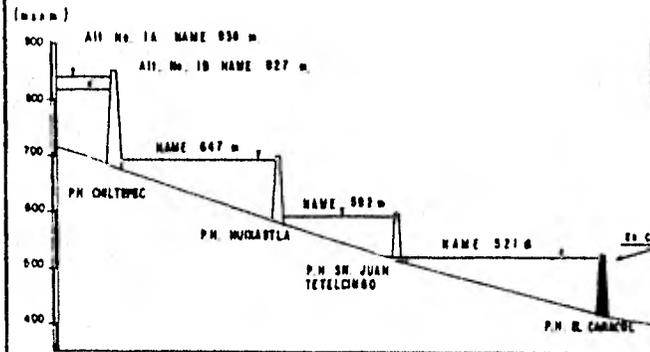
Fig. 2.3 Localización de las alternativas de aprovechamiento hidroeléctricas en el cauce del Río Balsas.

de retención de azolves, lo cual significa aumentar la vida útil - de los proyectos. Otro beneficio del sistema escalonado es que permite obtener una mayor generación que en las presas aisladas.

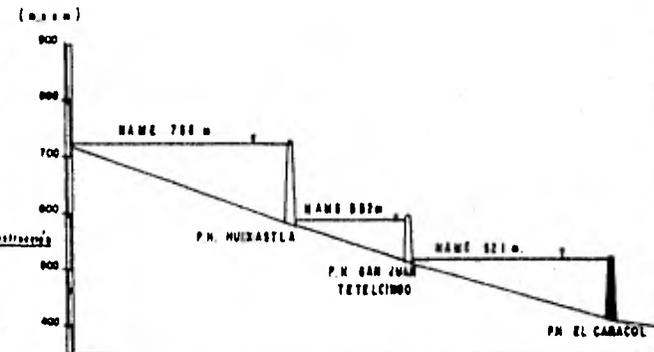
Con la construcción de proyectos en la parte alta de la cuenca del Balsas, se obtendrán notables beneficios en los proyectos " El Caracol " y " Tepoa ", tanto en generación, control de avenidas y retención de azolves entre los más importantes, el sitio Caimanera y las centrales El Infiernillo y La Villita, también recibirán beneficio pero en menor magnitud. La necesidad de construcción de alguna presa aguas arriba del P.H. Caracol, además de las antes citadas, consiste como lo menciona La Residencia de Estudios Hidroeléc|tricos C.F.E. Zona Pacífico, Centro Sur (Cuernavaca, Mor. 1981), en que la capacidad de retención de azolves de dicho proyecto es - pequeña y su vida útil se reduciría a 13 años si no existe una presa en la parte alta de la cuenca.

Con el objeto de definir la mejor alternativa de aprovechamientos hidroeléctricos factibles, localizados aguas arriba del P.H. - Caracol, la Oficina de Estudios de la Cuenca del Río Balsas a 'car- go del Ing. Raúl de la Parra, elaboró un estudio, en el que se analizaron 5 alternativas, en cuanto a la selección y dimensión de -- los sitios definidos en la cuenca alta del Río Balsas, es decir -- los sitios San Juan Tetelcingo, Huixastla, Ostutla y Chiltepec, dichas alternativas se muestran gráficamente en la figura 2.4. Tal - análisis considera datos hidrológicos, topográficos y de geología- y en base a estos se dimensionaron y establecieron las diferentes- obras de cada anteproyecto, tomando en cuenta las afectaciones de- cada embalse y todos los costos de construcción de cada planta, se elaboró un antepresupuesto, que junto con las consideraciones de -

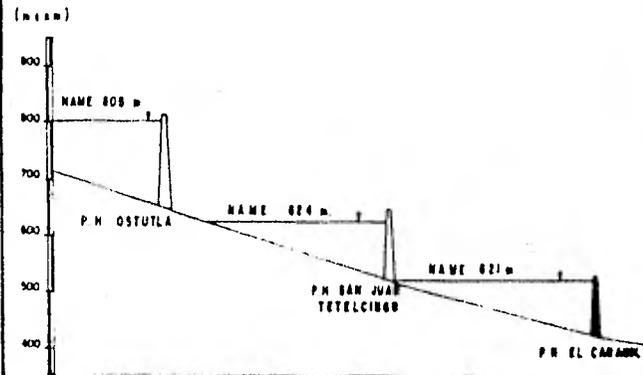
Jorge A. Fosado López



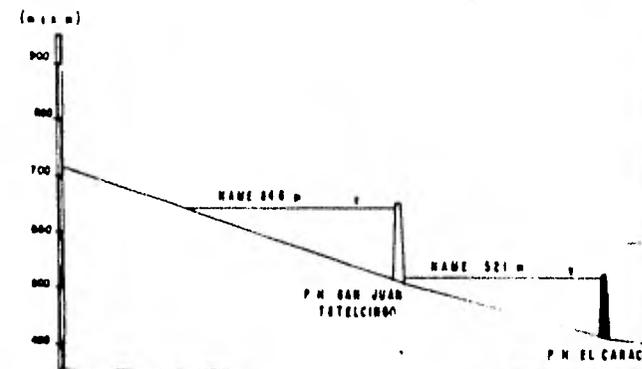
ALTERNATIVAS 1A y 1B



ALTERNATIVA 3



ALTERNATIVA 2



ALTERNATIVA 4

Alternativas de aprovechamiento Hidroeléctrico en la cuenca alta del Río Balsas

Fig 2.4

SISTEMA HIDROELECTRICO DEL RIO BALSAS

TESIS
PROFESIONAL

construcción y generación permitieron realizar una evaluación de - las alternativas. El resultado condujo a seleccionar la alternativa No. 3 ya que es la que proporciona la mejor relación de beneficio - costo con ventajas adicionales sobre las demás, en segundo - lugar se tiene la alternativa 1,A.

POTENCIA Y GENERACION de las ALTERNATIVAS de APROVECHAMIENTO HIDRO
ELECTRICO DEL ALTO BALSAS

ALTERNATIVA	PROYECTOS	POTENCIA (M.W.)	ENERGIA PRODUCTIBLE (G.W.H.)
1 A	Chiltepec	198	807.5
	Huixastla	248	949.2
	S.J.Tetelcingo	211	791.7
	Total	657	2548.4
1 B	Chiltepec	169	746.5
	Huixastla	240	933.2
	S.J.Tetelcingo	204	787.1
	Total	613	2466.8
2	Ostutla	205	823.3
	S.J.Tetelcingo	285	1064.2
	Total	490	1887.5
3	Huixastla	306	1177.5
	S.J.Tetelcingo	211	798.1
	Total	517	1975.6
4	S.J.Tetelcingo	315	1217.5

Obtenido por el método
Electricite de France SOFRELEC
De la Parra (1980)

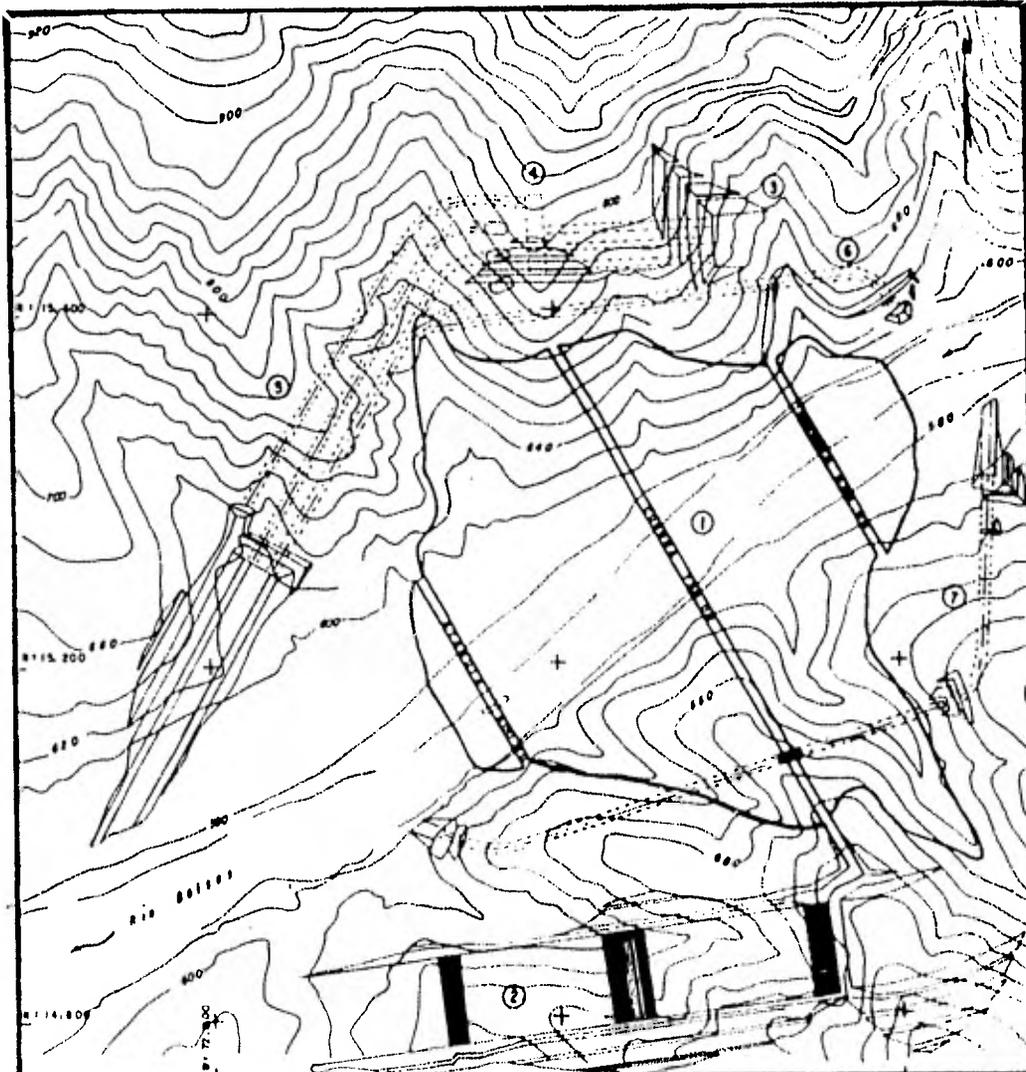
La alternativa No. 3 está constituida por los proyectos de San Juan Tetelcingo y Huixastla, hasta ahora el sitio de San Juan Tetelcingo ha quedado definido a nivel de factibilidad y se realizará su construcción. En cuanto a Huixastla las condiciones geotécnicas no han sido muy favorables, se han estudiado ejes para el posible desplante de la cortina, a la entrada y parte media del cañón que lleva este nombre y no se ha encontrado un sitio adecuado desde el punto de vista geotécnico. Ahora se llevan a cabo exploraciones a la salida del cañón y el presente trabajo tiene por objeto llegar a las conclusiones geotécnicas de dicha zona.

G) CARACTERISTICAS DEL PROYECTO

A continuación se citan los parametros generales de diseño para el Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, ya que aun se encuentra a nivel de prefactibilidad, y estará sujeto a cambios sobre todo en dimensionamiento y orientación de las obras civiles. En cuanto a los factores hidrológicos, así como de potencia y generación se pueden considerar como constantes para cualquier alternativa.

Hasta ahora la alternativa número 6 situada a la salida del Cañón de Huixastla parece presentar los mejores características geotécnicas por lo que se presenta la disposición de obras para dicho eje.

El Proyecto Hidroeléctrico de Huixastla constará en su primera etapa de 2 unidades generadoras, con una capacidad instalada de 306 M.W., con lo que se planea alcanzar una generación media anual de 1,193 G.W.H. Se tiene previsto instalar una tercera unidad generadora en la etapa final y tener una capacidad instalada de -



DISPOSICION DE LAS OBRAS CIVILES DEL PROYECTO
 HIDROELECTRICO HUIXASTLA

- | | |
|---------------------------------|-----------------------|
| ① CORTINA | ④ CASA DE MAQUINAS |
| ② OBRA DE CONTROL Y EXCEDENCIAS | ⑤ TUNELES DE DESFOGUE |
| ③ OBRA DE TOMA | ⑥ ⑦ OBRA DE DESVIO |

Jorge A Fosado López
 TESIS PROFESIONAL

Fig 2 5

459 M.W.

El nivel del embalse que alcanza la cota 728 m. abarca un área de 11,400 Hm², que dan como resultado una capacidad de 5,880 Hm³. El área total de la cuenca tributaria de este proyecto es del orden de los 3,803.400 Hm².

Cortina

Dadas las características de la zona y considerando factores -- técnicos y económicos de construcción, se opto por una cortina -- flexible de materiales graduados. La elevación de la corona se -- tiene proyectada a los 730 m., con lo que tendrá una altura desde el nivel del río de 150 m. A continuación se muestra una tabla -- con datos generales.

Elevación de la Corona	730 m .s.n.m
Longitud de la Corona	640 m
Ancho de la Corona	10 m
Bordo Libre	2 m
NAME	728 m .s.n.m
NAMO	716 m .s.n.m.
Nivel de Diseño	706 m .s.n.m.
Nivel de obra de toma	670 m .s.n.m.
NAMINO	690 m .s.n.m.
Nivel de Desfogue	587 m .s.n.m.

Obra de Desvío

Por tratarse del caso de una presa de materiales graduados en- que no se permite el paso del agua por encima de ella durante su- construcción, la obra de desvío fue calculada para un período de-

retorno de $T(r) = 100$ años con lo que se obtuvo un volumen de avenida máxima de 813 millones de m^3 con un gasto pico de $2856 m^3/seg.$

En el anteproyecto de Huixastla C.F.E. (1981), la obra de desvío consiste de 2 túneles circulares de 11 m de diámetro con una capacidad de desalojos $1800 m^3/s$ como gasto máximo.

Obra de Control y Excedencias

Con base a los estudios hidrológicos y tomando un período de retorno $T(r) = 100$ años, se llegó a que la avenida máxima probable, suponiendo la entrada de 2 ciclones en la parte alta de cuenca tributaria, tiene un gasto máximo de $17,100 m^3/seg.$ En vista a esto se procedió al dimensionamiento de la obra de excedencias; del anteproyecto realizado por la Gerencia de Proyectos Hidroeléctricos (Cuernavaca, Mor. 1981).

La obra de excedencias del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, en su diseño preeliminar consta de un vertedor superficial con capacidad de $3960 m^3$ y gasto máximo de $14,780 m^3/seg.$

La longitud de la cresta vertedora será de 75.60 m y tendrá 9 compuertas de control radiales, separadas por pilas de 3 m de ancho. La elevación de la cresta vertedora está diseñada a los 706 m con lo cual tendrá una carga máxima de 20 m.

Obra de Toma y Tuberías de Presión

El nivel de la plantilla en la estructura colectora de la obra de toma estará a la elevación 670 m, y tendrá un gasto de diseño total de $376 m^3/seg.$ correspondiendo $188 m^3/seg.$ para cada una de las 2 unidades generadoras.

Inmediatamente a la obra de toma existirá un ducto de 7.00 m. de diámetro que variará a 6.00 m. de diámetro para la tubería a presión; que finalmente descargará el fluido a las unidades generadoras a la elevación 581 m. A 45 m de eje de las unidades generadoras está diseñado el pozo de oscilación para control de los fenomenos hidráulicos, éste pozo de oscilación tendrá como nivel inferior la elevación 567 m y como máximo los 608 m. En seguida de ésta estructura se encontraron los desfuegos que por medio de una tubería de 900 m de diámetro comunicará al exterior a la elevación 581 m.

Planta Generadora

La casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla está alojada en caverna, constando de 2 unidades generadoras tipo francis en la primera etapa y de 3 unidades para la etapa final.

El dimensionamiento y orientación de la casa de máquinas aun está sujeta a cambios, al igual que otras estructuras del Proyecto por estar a un nivel de anteproyecto, sin embargo se estima -- que las dimensiones de la caverna tengan 20 m de ancho por 90 m de longitud y 45 m de altura en el eje.

La potencia instalada en la primera etapa será de 306 M.W. para una generación media anual de 1193 G.W.H., la velocidad de rotación de las turbinas será de 150 r.p.m. para producir energía con una frecuencia de 60 Hz.

En seguida se muestra una relación de los principales parámetros.

Carga bruta máxima

129 m

Carga bruta diseño	119 m
Carga bruta mínima	103 m
Gasto de diseño obra de toma	376 m ³ /seg.
Gastos de Diseño por Unidad 188 m ³ /seg.	
Potencia de diseño de cada turbina	196 M.W.
Potencia máxima de la turbina al NAMO	213.6 M.W.
Potencia máxima garantizable NAMINO	169.8 M.W.
Potencia instalada	306 M.W.
Generación media anual	1193 G.W.H.
Generación anual firme	937 G.W.H.
Generación anual secundaria	256 G.W.H.
Generación mensual garantizada	80 G.W.H.

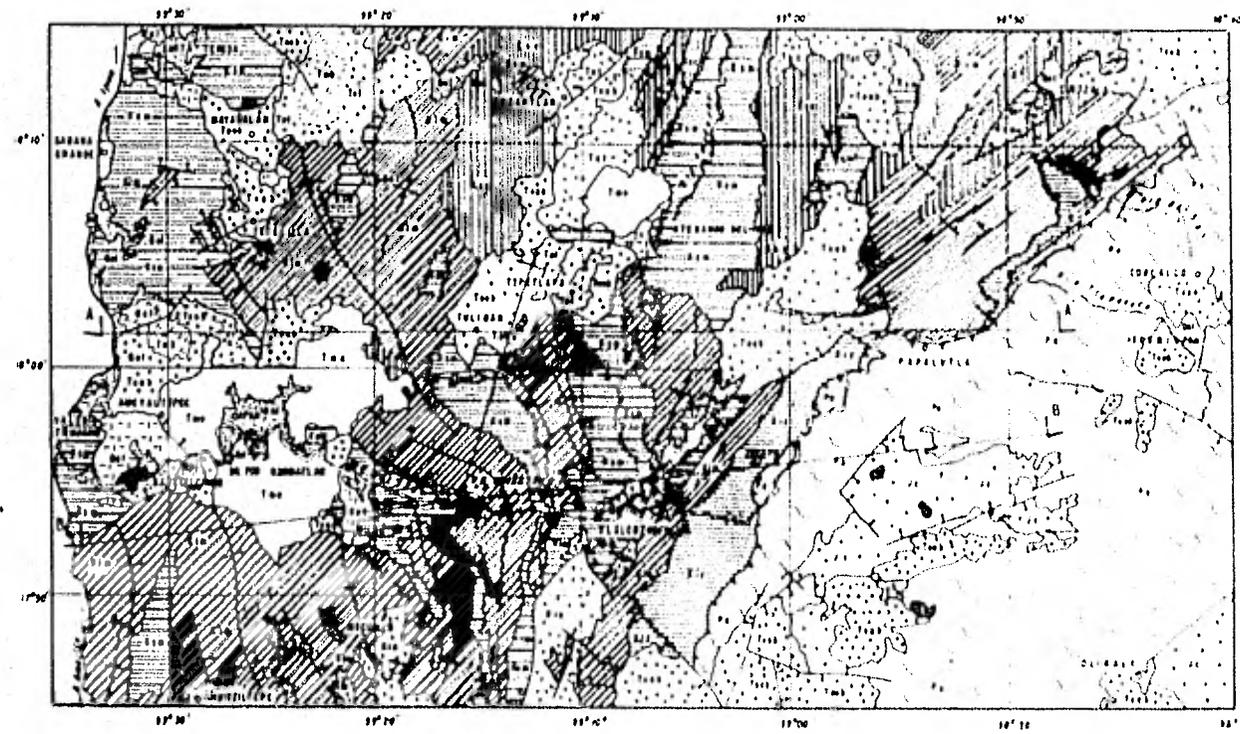
C A P I T U L O I I I
G E O L O G I A R E G I O N A L

Las unidades estratigráficas encontradas en la zona de la cuenca del alto río Balsas, varían desde el Paleozoico hasta el Mioceno - Plioceno. El complejo Acatlán compuesto por rocas metamórficas constituye el basamento de una cuenca de sedimentación Cretácica, que fue deformada por la Orogenia Laramide a finales del -- Cretácico Superior y principios del Terciario.

El régimen de sedimentación del Cretácico en sus inicios fue - predominantemente evaporítico y calcáreo, y hacia el final abundó el aporte de terrígenos. En el Terciario prevalecen los sedimentos continentales y la actividad volcánica.

En la región de Huixtla la Formación Morelos del Albiano Cenomaniano, es cubierta por la Formación Mexcala que abarca en ésta zona desde el Turoniano al Cenomaniano, lo que indica que la Formación Cautla del Turoniano no se depositó en ésta región como anteriormente se suponía (de Cserna et. al 1980).

Las estructuras geológicas presentes en el área obedecen a dos tipos principales de esfuerzos; los Orogénicos compresionales que actuaron en la dirección preferencial E-W y los esfuerzos de distensión que tienen una orientación general N-S. Tectónicamente se divide en 3 porciones la cuenca del alto Balsas, donde las estructuras de la parte occidental siguen una orientación N-S y NW-SE, - la parte central es similar a la occidental en el sur pero al norte del río Balsas tienen un giro abrupto a ENE-WSW. En la porción occidental las estructuras son rígidas y corren de NE-SW.



LEYENDA

- CUATERNARIO
 - [Symbol] ALUVA
 - [Symbol] FORMACION DEBAY
- TERCIARIO
 - [Symbol] GRANITO ALBUQUERQUE
 - [Symbol] FUERTE TILTEPECATE
 - [Symbol] FORMACION BALLESA
 - [Symbol] FORMACION ESTEREOC
 - [Symbol] FORMACION MEXICALTE
 - [Symbol] FORMACION CUATLES
 - [Symbol] FORMACION MEXICALTE
- CRETACEO
- JURASICO
- PERMIANO
- [Symbol] GRANITO MEXICALTE
- [Symbol] GRANITO ALBUQUERQUE
- [Symbol] GRANITO MEXICALTE

SIMBOLOGIA

- [Symbol] Carretera Federal
- [Symbol] Poblado
- [Symbol] Frontera geologica
- [Symbol] Contacto afine
- [Symbol] Rio normal
- [Symbol] Rio anormal
- [Symbol] Anticlinal (Punto de inflexion)
- [Symbol] Anticlinal (Punto de inflexion)
- [Symbol] Linea de falla
- [Symbol] Rio

Fig 33 Plano Geológico Regional Cuenca del Alto Río Balsas

NOTA Plano base tomado [de Cerna et al 1980] modificado



U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	GEOLOGIA REGIONAL CUENCA DEL ALTO RÍO BALSAS
	MAYO 1981 ANTONIO TRUJILLO

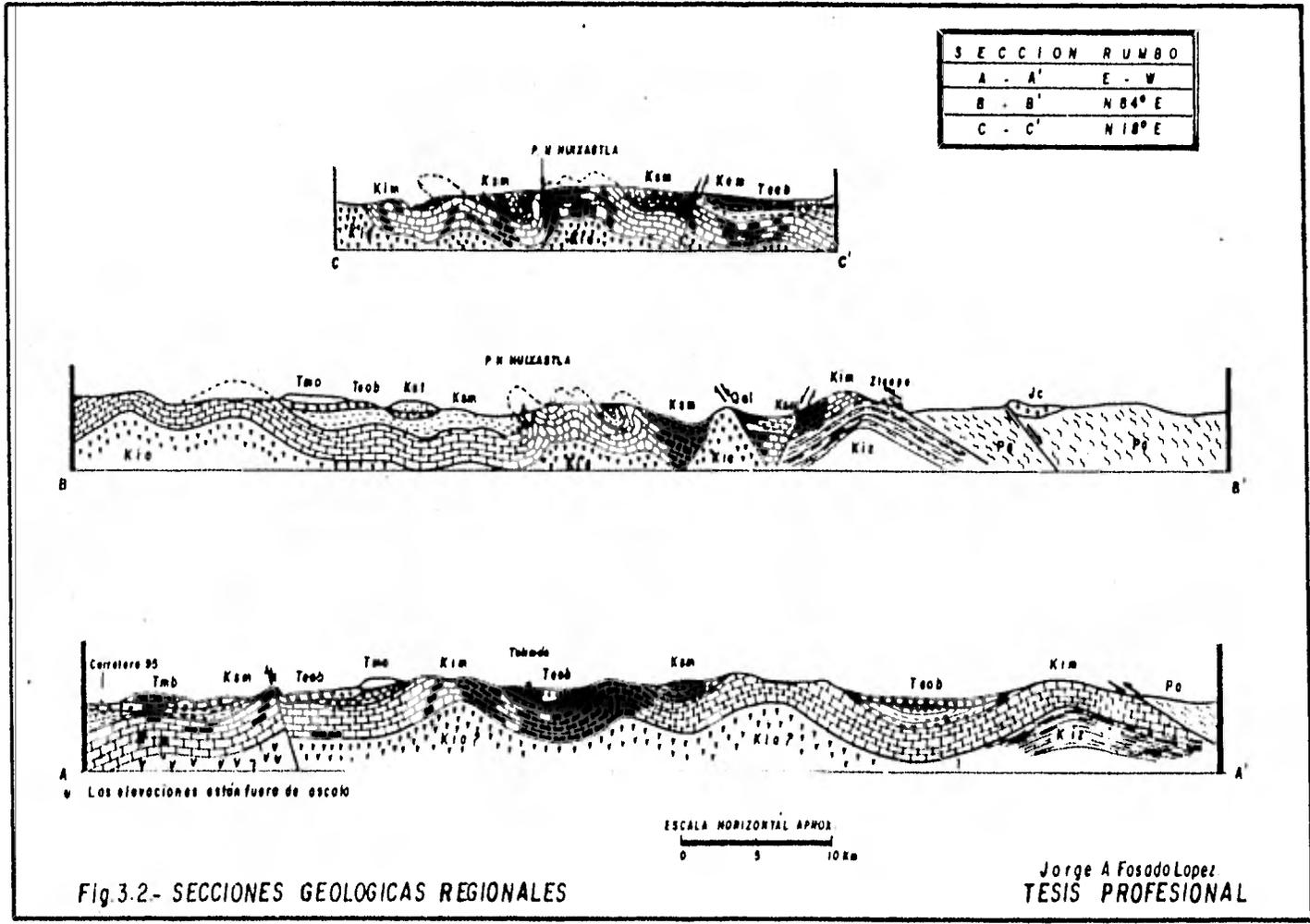


Fig 3.2.- SECCIONES GEOLOGICAS REGIONALES

Jorge A Fosado Lopez
TESIS PROFESIONAL

A) ESTRATIGRAFIA

PALEOZOICO

1) Complejo Acatlán

El basamento de las rocas existentes en el área está constituido por una secuencia metamórfica, a la cual Ortega Gutiérrez (1978) designa con el nombre de Complejo Acatlán. Dicho complejo consta de cuarcita y filita cuarzosa en la región de Chiltepec - Ostutla, de metagrauvascas cerca de Olinala, mientras que hacia Ixcamilpa consiste de gneis y esquistos de Clorita Muscovita con granate, en los alrededores de Coacalco predominan dos tipos de esquistos: uno negro el cual corresponde a una filonita gris de mica blanca y cuarzo, y un esquisto verde de albita-clorita, epidota, tremolita y esfena.

Las manifestaciones superficiales de éste Complejo Acatlán -- más cercanas al sitio están en el área de Chiltepec-Ostutla, la que forma parte del embalse. Este complejo metamórfico se extiende hacia el oriente hasta la región de Acatlán, Pue., localidad de que toma su nombre, por el occidente abarca hasta Papalutla - Guerrero, donde la cabalgadura del mismo nombre pone en contacto a éstas rocas metamórficas con los sedimentos del Cretácico Inferior.

Todas estas rocas del Complejo Acatlán están intensamente deformadas y foliadas, y generalmente la foliación tiene una inclinación hacia el sur, los esquistos y gneises del área de Olinala Ixcamilpa dan la apariencia de cubrir estructuralmente a las cuarcitas y filitas de la región de Ostutla (Ortega G. 1978).

Según el Dr. Ortega los metasedimentos de la región de Ostu -

tla-Chiltepec son depositados en la margen de un oceáno en expansión, mientras que las rocas que dan origen a los esquistos del área de Coacalco, se depositaron en un ambiente marino más profundo en el cual hubo manifestaciones de rocas ígneas básicas. La edad de éste depósito se supone que ocurrió en el Cámbrico o finales del Pre-Cámbrico los estudios radiométricos Rb/Sr realizados por el Dr. L. Armstrong reflejan que el último evento tectónico que afectó metamórficamente a ésta secuencia ocurrió en el Devónico Temprano (380 ± 6 m.a.).

La Cuarcita Cualac cubre en forma discordante al Complejo Acatlán lo que representa una época de erosión y/o no depósito del orden de 150 millones de años. Hacia el occidente el Complejo está en contacto tectónico por medio de la Cabalgadura de Papalutla con las formaciones Zicapa y Morelos del Cretácico Inferior. La Fm. Balsas llega a cubrir discordantemente a éste complejo metamórfico en algunos sitios (de Cserna et. al 1980).

JURASICO

2) Cuarcita Cualac

a) Definición

Esta unidad litoestratográfica fue designada por Guzmán, J. E. (1950) en la región del poblado de Cualac, Guerrero.

b) Litología

En la descripción litológica dada por Erben H. en el año de 1956. La Cuarcita Cualac consiste de un conglomerado con clastos de cuarzo dentro de una matriz cuarzosa con limolita y arenisca, reportando un espesor máximo de 80 m.

c) Edad y Correlación

En la localidad tipo se encuentra descansando concordantemente sobre la Formación Rosario y le sobreyace también en concordancia la Formación Zorrillo, a las que se les asignó una edad de Jurásico Medio.

En los alrededores del poblado Chimalacancingo al sur de Papalutla la Cuarcita Cualac se encuentra sobreyaciendo discordantemente al Complejo Acatlán (Ortega G.op.cit) y consiste de un conglomerado Oligmítico de cuarzo en matriz cuarcítica, en donde se aprecia estratificación gradada.

d) Sedimentología

El aporte de sedimentos continentales provienen seguramente de las rocas del Complejo Acatlán, las que se depositaron en un ambiente litoral de los mares del Jurásico.

CRETACICO

3) Formación Zicapa

a) Definición

Se denomina con el nombre de Formación Zicapa a la secuencia de capas rojas constituida por limolitas, areniscas y conglomerado, la cual fue nombrada por de Cserna y Ortega Gutiérrez (1980), proponiendo la localidad tipo a 5 km al sur del poblado del mismo nombre en el estado de Guerrero.

b) Litología

Ademas de las rocas continentales se presenta un espesor de calizas hacia la cima de la formación. La estratificación en las li

molitas es delgada y de mayor espesor para las areniscas y conglomerado. Los fragmentos que constituyen al conglomerado consisten de cuarzo lechoso y de rocas metamórficas, las areniscas tienen alto grado de impureza de Limos y arcillas.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

En la localidad tipo no aflora la base de la formación por estar en contacto con las rocas del Complejo Acatlán por medio de la Cabalgadura de Papalutla, mientras que el contacto superior es transicional con la Formación Morelos, lateralmente interdigita a la Anhidrita Huitzuco, el espesor registrado en el área es del orden de los 700 m. (de Cserna op. cit). Por las relaciones estratigráficas se le asigna una edad del Albiano Inferior y es posible que en su base abarque hasta el Aptiano.

d) Sedimentología

Se infiere que el ambiente de depósito de ésta secuencia es Continental deltáico.

4) Anhidrita Huitzuco

a) Definición

Esta unidad litoestratigráfica fue propuesta formalmente por de Cserna y Ortega G. (1980), para designar a las rocas evaporíticas que afloran en la región de Huitzuco, Gro., al SE de la Ciudad de Iguala.

Anteriormente Fries (1960) y Bolívar (1963) en trabajos realizados en la parte norte y noreste del estado de Guerrero incluyen ésta unidad como un miembro informal en la parte basal de la Formación Morelos.

La Anhidrita Huitzuco aflora en el área del embalse del P.H. - Huixastla en los alrededores del poblado de Tlalcozotitlán, Gro., al oriente del río Amacuzac cerca de su confluencia con el Balsas así mismo se encuentra superficialmente en la barranca de las Salinas al SW de Tlalcozotitlán. Alrededor de esta área se observan numerosos rasgos Kársticos que hacen suponer su presencia en el sub-suelo. Esta unidad también aflora en los alrededores de Tilzapotla Morelos.

b) Litología

Básicamente está constituida por anhidrita de color blanco con bandas laminares de color gris, pero existen zonas principalmente cerca de la superficie que han sido transformadas a yeso por procesos de hidratación. Esta unidad presenta capas de dolomia incluidas en la anhidrita, en las cuales se observa boudinage.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

En esta área la Anhidrita Huitzuco se presenta la mayoría de los casos en forma diapírica, por lo cual los contactos con las formaciones Morelos y Mexcala son generalmente tectónicos, aunque se ha observado en ciertas ocasiones que existe concordancia con la formación Morelos, así mismo los trabajos de Fries y Bolívar comprueban que la Anhidrita Huitzuco subyace concordantemente a la Fm Morelos. La edad asignada para ésta unidad es del Aptiano al Albiano Inferior. Por no aflorar la base así como por su carácter diapírico no se conoce su espesor en el área.

d) Sedimentología

Las interpretaciones estratigráficas indican que la Anhidrita-

Huitzucó se deposita en un ambiente lagunar con alta evaporación, existiendo un cambio lateral para interdigitarse con las capas rojas de la Formación Zicapa, que representan la planicie Costera de la cuenca de sedimentación del Albano Inferior (de Cserna - op. cit).

5) Formación Morelos

a) Definición

Originalmente Fries C. Jr. (1960) propone el nombre de Formación Morelos para una secuencia constituida de calizas y dolomias con un miembro evaporítico en la base (Anhidrita Huitzucó) que afloran ampliamente en los estados de Morelos y Guerrero, y en menor escala en Puebla, México y Oaxaca. La Formación Morelos - - - comprende a la mayoría de afloramientos de calizas en el estado de Guerrero, y se encuentran desde Taxco por el norte hasta la región circundante al río Papagayo por el Sur.

b) Litología

Las calizas Morelos varían en textura desde mudstone o grainstone, siendo más común encontrar las texturas finas, la coloración al fresco varía en diversos tonos de gris llegando a encontrarse también el color crema. Las dolomias por otra parte exhiben una textura sacaroide y un color pardo - gris por lo general. La fauna presente en estas rocas abarca diversas especies de miliólidos, gasterópodos y rudistas, algunos estratos de la Morelos - contienen pedernal tanto en bandas como en nódulos, la estratificación es de gruesa a masiva con algunas excepciones en que se encuentran pequeños espesores de estratificación delgada. Algunos autores (Fries 1960, Bolívar 1963) han encontrado zonas arreci-

fales en esta formación. Las dolomias de la Formación Morelos se desvanecen lateralmente y no tienen penetración vertical, además de existir fósiles parcial o totalmente dolomitizadas, lo cual indica que la dolomitización ocurrió durante la diagénesis.

Es precisamente la Formación Morelos junto con la Mexcala, las rocas que constituyen el cañon de Huixastla y el sitio del proyecto, la Morelos se extiende hacia el norte y sur de ésta región -- controlada por la estructura geológica (ver plano regional).

c) Edad y Correlación

La edad asignada a la Formación Morelos comprende desde el Albiano Medio el Cenomaniano. Como se mencionó anteriormente, esta formación sobreyace concordantemente a la Anhidrita Huitzuco, no obstante que la mayoría de los casos la primera afecta diapíricamente a la segunda en ésta área, así mismo la Morelos cubre a Fm. Zicapa que interdigita con la Anhidrita Huitzuco. Por otra parte la Formación Morelos cubre discordantemente al Complejo Acatlán -- por medio de la Cabalgadura de Papalutla.

Según los resultados de los estudios paleontológicos, así mismo por las observaciones realizadas en ésta área, la Formación -- Mexcala sobreyace a la Formación Morelos, por medio de un contacto Transicional. Abad Toscano (1976) en la región del poblado -- de Zitlala localizada al sur del Cañon de Huixastla, observó también que a la Formación Morelos le sobreyacía una secuencia terrígena por medio de un contacto transicional, dejando abierta la posibilidad de tratarse de la Formación Mexcala. Otros autores como Nájera Garza (1965), Jiménez (1965) de la misma manera observaron que la Formación Mexcala descansa sobre la Formación More --

los en puntos localizados al norte y noroeste de Huixastla.

Anteriormente se incluía a la Formación Cuautla de edad Turo - niana dentro de ésta región del Cañon de Huixastla (de Cserna et al 1980) sin embargo los resultados paleontológicos (Bonet F. y Ponce de León O. 1979) indican la presencia de Nummoloculina heini y de Quinqueloculina Valvulina índices de Albiano - Cenoma - niano y Cenomaniano respectivamente, de la misma manera Soto Jara millo (1980) registra la presencia de la Nummoloculina heini en muestras del área de la boquilla. Alencaster G. en los análisis - realizados en un núcleo de barreno de el área del sitio registra la presencia de Nerinea fleuriani gasterópodo índice del Albiano - Cenomaniano y le sobreyace la secuencia evaporítica-terrágena de la Formación Mexcala, conducen a la conclusión de que la Forma -- ción Cuautla no se depositó en ésta área. (por esta razón se ha modificado el plano de geología regional).

d) Sedimentología

De acuerdo con el registro fósil y sus relaciones estratigráfi cas, se infiere que el ambiente de depósito de ésta unidad calcá - rea corresponde a una secuencia de plataforma de un mar somero de aguas tibias con bancos aislados.

6) Formación Cuautla

a) Definición

Con el nombre de Formación Cuautla Fries C. (1960) denomina a una secuencia de calizas, las cuáles tienen su localidad tipo al - occidente de la ciudad del mismo nombre en el estado de Morelos.

b) Litología

Esta unidad estratigráfica está constituida por tres facies según la descripción del Dr. Fries; la primera de ellas consiste de una facies de " bahamita " o banco calcáreo, el siguiente miembro está constituido por calizas de estratificación mediana a delgada con la presencia de nódulos de pedernal y ocasionalmente bandas del mismo material. La tercera facies de la Fm Cuautla consta de una caliza de textura media en estratos delgados, con horizontes de limolita carbonosa interestratificados.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

La edad asignada a ésta formación corresponde al Turoniano, su contacto inferior presenta una ligera discordancia angular con la Formación Morelos (Fries, op.cit) mientras que en la parte superior le sobreyace concordantemente la Formación Mexcala. Se estima que el espesor máximo de la Cuautla para sus tres miembros es del orden de los 1050 m.

d) Sedimentología

El ambiente de depósito varió de un arrecife en la primera facies a una cuenca de aguas someras con ambiente reductor en la tercera.

La Formación Cuautla aflora al norte de Huixtla según lo reportan Dávila A. (1974) Crespo H. (1963) de Cserna (1980).

7) Formación Mexcala

a) Definición

La formación Mexcala fué nombrada por Fries C. (1960) para una

secuencia de areniscas, limolita y lutita calcárea, teniendo como localidad tipo la región comprendida entre los poblados de Mexcala y Valerio Trujano en el estado de Guerrero.

b) Litología

Esta formación está compuesta por tres miembros, los cuales -- tienen variación lateral dependiendo de la zona en la que se depositaron. En el área de San Juan Tetelcingo el miembro basal está compuesto por limolitas calcáreas y carbonosas, la parte media de la formación por arenisca y lutita en estratos delgados, mientras que el miembro superior consta de una alternancia de arenisca, lutita y conglomerado (de Cserna op. cit).

Hacia el norte de Huixastla en el valle del río Amacuzac, Dávila la Alcoser (1974) reporta tres miembros para la Formación Mexcala el primero consiste de lutitas y limolitas calcáreas, el miembro medio está constituido de limolitas y areniscas, y el tercer -- miembro que es la cima de la formación consta de areniscas, lutitas y conglomerados.

c) Zona del Proyecto

En la zona de la boquilla del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla existe un cambio de facies para la Mexcala, así el miembro basal es esencialmente evaporítico, constituido por una secuencia de lutitas interestratificadas con yeso y algunos horizontes de lutita carbonosa, posteriormente existe una alternancia de areniscas calcáreas y lutitas, estas últimas predominan en la parte superior. Sobre las lutitas descansan en discordancia angular las rocas terciarias, por lo que no se puede asegurar que haya existido depósito de otra unidad en el área.

TABLA DE CORRELACION ESTRATIGRAFICA

Jorge A Fosado López

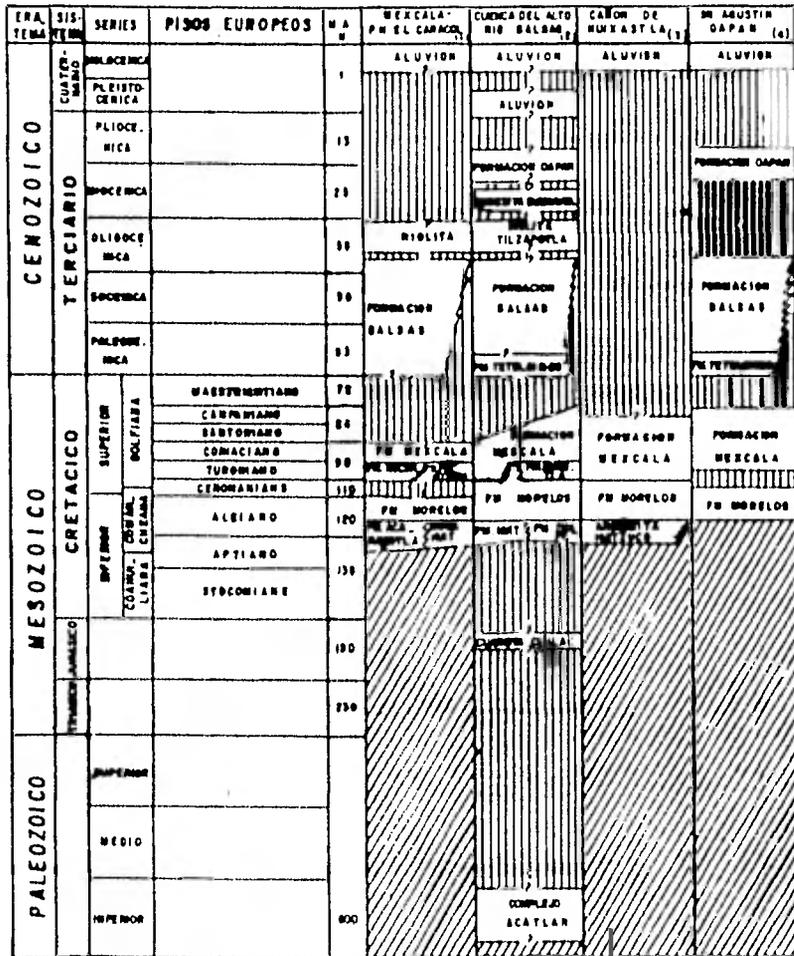


Fig. 3 3

M A Millones de años

- (1) de Cerna et al (1978)
- (2) de Cerna et al (1980)
- (3) C F E (1982)
- (4) Najera G (1965), Modificada (1982)

- Secuencia no expuesta en superficie
- Secuencia erosionada o depositada

TESIS
PROFESIONAL

d) Edad y Relaciones Estratigráficas

En su localidad tipo la Mexcala está cubierta en discordancia por la Formación Tetelcingo (Ortega G. 1980) descansando sobre la Formación Cuautla en forma concordante (Fries 1960), (Bolívar 1963), (de Cserna et al 1980). Asignándole una edad del Turoniano Superior al Coniaciano, de Cserna (1980) contempla la posibilidad de que la Formación Mexcala tiene mayor alcance estratigráfico hacia el oriente, abarcando desde el Coniaciano al Maestrichtiano, sin embargo no se puede afirmar hasta no tener un estudio estratigráfico - paleontológico detallado de dicha zona.

En el área circundante al Cañon de Huixastla, la Formación Mexcala sobreyace, por medio de un contacto transicional a la Formación Morelos del Albiano - Cenomaniano y la cubre en forma discordante el conglomerado de la Formación Balsas. En la Barranca del Vickingo, cerca de la boquilla, se reportó la existencia de las amonitas. Texasia s.p., Hoplitoides s.p. de los gasterópodos Cassiope s.p., Tylostoma sp, así como de Inoceramos sp (Alencaster G 1980) los que le dan un rango estratigráfico a la Mexcala en esta área del Turoniano al Coniaciano.

e) Sedimentología

La Formación Mexcala representa una secuencia del tipo flysh, en el cual se empieza a notar la predominancia de terrígenos y depósitos continentales sobre los marinos, como consecuencia de los levantamientos que empezaban a manifestarse en toda la región.

8) Formación Tetelcingo

a) Definición

Esta formación fué designada por Ortega Gutiérrez (1980) estableciendo la localidad tipo a 5 km al oeste del poblado de San -- Juan Tetelcingo en el estado de Guerrero. Anteriormente Nájera -- Garza (1965) la incluía en la Formación Balsas, asumiendo un origen sedimentario.

b) Litología

La Formación Tetelcingo consta de rocas volcánicas y volcano -- clásticas de composición andesítica, en las que se distinguen -- tres zonas (Ortega G. 1980). La parte basal está constituida -- por tobas y brechas, las cuales varían transicionalmente a lavas -- y brechas en la zona intermedia y a brechas piroclásticas en la -- cima.

Las tobas y brechas de la parte basal son tanto líticas como -- cristalolíticas con algún contenido de vítreos, los fragmentos es -- tán constituidos de plagioclasas, biotita, cuarzo y líticos ande -- síticos en una matriz eriptocristalina arcillosa. La lava de la -- zona intermedia consiste en una andesita-basáltica de olivino y -- piroxena en la que las plagioclasas constituyen una matriz micro -- lítica para alojar cristales de ortopiroxena, olivino (reemplazan -- do a iddingsita) augita y magnetita. Las rocas volcanoclásticas -- de la parte superior constan de fragmentos de plagioclasa, bioti -- ta, hornblenda en una matriz eriptocristalina a vítrea (Ortega G -- op. cit).

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

La Formación Tetelcingo cubre discordantemente a las formacio -- nes Morelos y Mexcala,

La edad de la Formación Tetelcingo se obtuvo por análisis radiométricos K-Ar, resultando ser del Maesrichtiano (Ortega G. 1980). Las relaciones estratigráficas con la Formación Balsas aún quedan indefinidas.

TERCIARIO

9) Formación Balsas

a) Definición

Anteriormente Fries (1960) designó a ésta secuencia continental con el nombre de Grupo Balsas, en la cual distinguía una facies conglomerática y otra areno-arcillosa. Posteriormente (de Cserna 1978) le es asignado el rango de formación.

b) Litología

La Formación Balsas se presenta en casi toda la cuenca del Balsas-Mexcala, y tiene una amplia variación lateral y vertical. De tal forma la facies conglomerática varía de fragmentos de rocas metamórficas del Complejo Acatlán así como de la Cuarcita Cualac en la parte oriental, a clastos de calizas cretácicas en la parte occidental de ésta región del alto Balsas. La facies arcillo-arenosa también presenta amplia gama en litología y espesor. Es común encontrar diques y colados basálticos dentro de la Formación Balsas.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

Estas rocas continentales de la Formación Balsas cubren en forma discordante, prácticamente a todas las rocas pre-Terciarias -- aflorantes en ésta región, desde el Complejo Acatlán y Cuarcita - Cualac a las calizas cretácicas y Formación Mexcala. Ortega Gutiérrez (1980) y de Cserna (1980) consideran que la Formación Balsas

cubre a la Formación Tetelcingo del Maestrichtiano, por lo que su rango de edades del Eoceno Superior-Oligoceno. La Formación Balsas está cubierta concordantemente por la Riolita Tilzapotla en Tuzantlán hacia el norte del proyecto, mientras que en áreas alejadas al río Balsas está cubierta discordantemente por la Formación Oapan.

d) Sedimentología

El ambiente de depósito de la Formación Balsas es de tipo continental, y por la variación en tamaños de sedimentos, se infiere que los actuaron diferentes agentes erosivos.

10) Riolita Tilzapotla

a) Definición

Esta unidad litoestratigráfica es nombrada por Fries C (1960) con localidad tipo en Tilzapotla Morelos, cerca del Lago de Tequesquitengo.

b) Litología

Consiste de toba riolítica y de riolita holocristalina a vitrofida según estudios petrográficos (Fries, 1960), (Bolívar, 1963) El color al fresco es generalmente verde y varía del blanco al amarillo pardusco cuando está intemperizada.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

La Riolita Tilzapotla aflora al norte del proyecto en los alrededores de Mayanalán y Tuzantlán, su contacto inferior con la Formación Balsas es aparentemente concordante en el área de Mayanalán le sobreyace concordantemente la Andesita Buenavista, mien --

tras que en la región comprendida de Tuzantlán a Atenango del Río, la Riolita Tilzapotla es cubierta en discordancia por la Formación Oapan. El espesor de ésta unidad litoestratigráfica es variable y se ha llegado a encontrar de 150 m en las cercanías de Taxco. La edad fue determinada por el método plomo/alfa (Fries, 1960) dando como resultado 26 millones de años, que corresponde al límite del Oligoceno - Mioceno.

11) Andesita Buenavista

a) Definición

Con el nombre de Grupo Buenavista Fries (1960) designa a una secuencia de rocas extrusivas de composición andesítica principalmente las cuáles se encuentran ampliamente entre los poblados de Amacuzac Morelos y Buenavista de Cuéllar Gro.

b) Litología

La Andesita Buenavista está constituida por brechas y tobas andesíticas y de lavas andesíticas y basálticas. Fries C. llegó a inferir un espesor cercano a los 1000 m en los alrededores de Buenavista.

En la región del Alto Balsas, la Andesita Buenavista presenta pocos afloramientos aislados, como en el área de Mayanalán, y en los alrededores de Ahuelican, Lagunillas y Santa Teresa (de Cserna et al, op. cit).

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

Cubre paralelamente a la Riolita Tilzapotla, llegando a descansar sobre rocas más antiguas a ésta, como a la Formación Balsas, - su cima corresponde a una superficie de erosión. Por medio de sus-

relaciones estratigráficas se le ha asignado a la Andesita Buenavista una edad del Mioceno.

12) Formación Oapan

a) Definición

Esta unidad estratigráfica es propuesta por Nájera Garza (1965) para designar una secuencia lacustre de areniscas tobáceas, yeso y arcilla las cuales tienen su localidad tipo en el área de San Agustín Oapan en el estado de Guerrero.

b) Litología

La arenisca tobacea es de color verde, los estratos varían de delgados a gruesos observándose estratificación gradada. Los minerales constituyen a éstas areniscas son cuarzo, feldespato y calcita entre los más abundantes los cuales están cimentados por celadonita (Nájera G. 1965). Los yesos se presentan de color rojizo al verde por el contenido de impurezas como óxidos y arcillas, -- también llega a ser blanco el cual es común rellenando fracturas. Hacia la cima de la formación se encuentran capas de calizas lacustres las cuáles protegen de la erosión a las capas menos resistentes, lo que propicia morfologías características como amplias mesetas.

c) Edad y Relaciones Estratigráficas

Además de las exposiciones en el valle de San Agustín Oapan la Formación Oapan aflora al noreste de Atenango del Río descansa -- con ligera discordancia sobre la Riolita Tilzapotla (de Cserna et al 1980).

El espesor de la Formación Oapan en la localidad tipo alcanza los 200 m, y por su posición estratigráfica le corresponde una edad del Mioceno-Plioceno. Esta unidad es la joven en la columna estratigráfica.

d) Sedimentología

El ambiente de depósito de la Formación Oapan correspondió a una cuenca lacustre, con un clima árido, las aguas drenadas a esta antigua cuenca transportaron alto contenido de sulfatos.

CUATERNARIO

13) Aluvión

La mayoría de los depósitos aluviales son resultado de los procesos fluviales del río Balsas, y por esta razón es muy común encontrarlos formando terrazas en las zonas con menor pendiente hidráulica.

También es común encontrar depósitos de aluvión en las dolinas y poljes que se desarrollan en las calizas cretácicas.

B) GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas de la cuenca del alto Balsas, son el resultado de 2 tipos de esfuerzos principales, primeramente los esfuerzos compresionales de la Orogenia Laramide que actuaron en la dirección preferencial E-W y los esfuerzos de tensión que prosiguen a los eventos orogénicos cuya acción aun sigue presente en la dirección N-S.

Tectónicamente la región puede ser dividida en 3 zonas: la pri

mera comprendida entre San Francisco Ozomatlán y el límite occidental del área, en el que las estructuras plegadas de las rocas mesozoicas forman un Siclinorio y siguen un rumbo general N-S con variaciones al NW-SE y con el desarrollo de fallas tensionales en la dirección NE-SW. La segunda zona comprendida entre San Francisco - Ozomatlán y las cercanías del Río Amacuzac, consiste de un anticlinorio al cual de Cserna (1980) denomina con el nombre de Anticlinorio Huixastla Tuzantlán.

Esta región al sur del río balsas es muy similar a la zona occidental, ya que las estructuras están orientadas N-S y NE-SW, sin embargo a la altura del río balsas y justo en los alrededores del proyecto Hidroeléctrico Huixastla, las estructuras cambian bruscamente en orientación, para seguir un rumbo ENE-WSW.

Esta variación tan pronunciada de las estructuras en el área de Huixastla, es debida seguramente a que la anhidrita Huitzucó actuó como lubricante durante los procesos dinámicos del área, fenómeno al que los franceses nombran "decollement".

La zona al oriente del río Amacuzac, tiene un patrón estructural general de NE-SW, y se encuentran fallas de tipo normal e inverso en ésta misma dirección.

Es en ésta zona donde se localiza la cabalgadura de Papalutla, la que se extiende a lo largo de la dirección NE-SW por más de 70-km.

El hecho de no existir evidencias de "decollement" en el área puede deberse a la ausencia de la anhidrita Huitzucó en el subsuelo, sin embargo al presentarse estructuras tan rígidas y de diferente orientación con respecto a las del área contigua, refleja -

que en ésta zona el patrón de deformación estuvo en gran parte controlado por las rocas paleozoicas, que configuraban el basamento de la cuenca, el cual se encuentra inmediatamente al oriente de ésta zona.

Las principales estructuras encontradas en el área del cañon de Huixastla, corresponden al anticlinal de Huixastla y el Sinclinal de Atlizintla Zapotitlán, entre estos está el anticlinal de Cuat-zón que es una bifuración del anticlinal de Huixastla (ver plano geológico). Estas estructuras que corren N-S al Sur del río Balsas y cambian a la dirección ENE-WSW son del tipo recostado y construidas en las formaciones Morelos y Mexcala.

En general el fallamiento en la región de Huixastla es de tipo normal y en las direcciones N-S, NE-SW y algunas E-W. Alrededor de los cuerpos diapíricos de la Anhidrita Huitzucó abundan pequeñas fallas normales en diferentes direcciones.

C) HISTORIA GEOLOGICA

A principios del Paleozoico se depositaron los sedimentos que darían origen al Complejo Acatlán, estos sedimentos presentaban facies marinas someras en el área Ostutla-Chiltepec, mientras que al oriente de dicha región el mar era más profundo. Para finales del Cámbrico y principios del Devónico el área es afectada por intensos procesos tectónicos que deformaron y metamorfizaron la secuencia suponiéndose que para el Devónico temprano cesan estos eventos tectónicos (Ortega G. 1978).

Las rocas del Complejo Acatlán formaron parte de un antiguo continente el cual fue sujeto a largos procesos de erosión según se -

inferiere de los sedimentos netamente cuarcíticos de la Cuarcita - Cualac. Esta tiene una diferencia de edad de 150 millones de años con la superficie del Complejo Acatlán.

Para ese entonces en el Jurásico Medio de los mares comenzaban a invadir el continente y así el Cretácico Inferior en la parte occidental de la cuenca ya existía un mar somero que propiciaría el depósito de la Anhidrita Huitzucó en el Albiano este mar variaba lateralmente a una planicie costera hasta llegar al continente en esta planicie se depositan los lechos rojos que constituyen la Formación Zicapa.

Para finales del Albiano los mares habían inundado ésta región por completo y abunda entonces la sedimentación de tipo calcárea acompañada del desarrollo de arrecifes, éste depósito continuó -- hasta el Cenomaniano Medio o Superior en otros casos, dando como resultado la Formación Morelos.

A finales del Cenomaniano y principios del Turoniano hubo una variación en el régimen de sedimentación así tenemos que al norte del actual cauce del Río Balsas se depositaron los fangos calcáreos de la Formación Cuautla, mientras que en los alrededores de Huixtla el mar era somero y recibía aporte de terrígenos del -- continente esto aunado a las condiciones de evaporación dieron -- origen a la acumulación de los yesos y limolitas de la base de la Formación Mexcala. En varios puntos de la cuenca de la sedimentación existieron paleoislas donde no hubo depósito durante el Cenomaniano Superior-Turoniano (Nájera Garza 1965), (de Cserna et al-1980).

Para el Coniaciano en toda la región existe gran aporte de

Terrígenos (Secuencia Flysh) acompañado de variaciones en el nivel del mar, lo cual indicaba las primeras manifestaciones de la Orogenia Laramidica. Posterior al Coniaciano comienza la deformación de esta secuencia sedimentaria, deformación a la que de Cserna y Ortega G. (1980) consideran progresiva de occidente a oriente, abarcando del Santoniano al Maestrichtiano en ese mismo sentido.

En consecuencia de los plegamientos compresionales de la Orogenia Laramide, las tierras emergen nuevamente y en el área de San Juan Tetelcingo vienen acompañadas de actividad volcánica. Posteriormente a principios del Terciario vienen los movimientos tafrogénicos de distensión y los depósitos continentales; tal es el caso de la Formación Balsas, donde es común encontrar intrusiones y coladas basálticas.

Para el Oligoceno y Mioceno continua la actividad volcánica que en un principio es de tipo ácido, como se observa en la Riolita -- Telzapotla y varía a vulcanismo básico a finales del Mioceno, representado por la Andesita Buenavista.

El carácter endorreico de la región a finales del Mioceno y -- principios del Plioceno originó un gran lago en el cual se deposita la secuencia lacustre de la Formación Oapan. Con los procesos erosivos del Cuaternario se inicia la socavación del Río Balsas y la integración de la red de drenaje, y con esto la acumulación de los depósitos aluviales presentes en el área.

La Cabalgadura de Papalutla aun sigue activa según datos simológicos del área y se supone que el fallamiento tuvo sus inicios a -- principios del Terciario y a finales del Cretácico Superior ya que las rocas metamórficas del Complejo Acatlán cabalgan sobre las ca-

lizas Cretácicas ya plegadas. Los esfuerzos comprensionales para crear una estructura de tal magnitud deben tener una relación con los procesos tectónicos de la Orogenia Laramide que en la región de Papalutla tuvo manifestaciones hasta principios del Terciario (de Cserna, Ortega G. 1980).

CAPITULO IV

GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL SITIO

A) INTRODUCCION

El cañón de Huixastla representa un sitio favorable para la realización de un proyecto hidroeléctrico, ya que además de su estrechez topográfica está localizado aguas abajo del río Amacuzac que aporta aproximadamente al 50% del caudal del Balsas en ésta zona.

Existen 6 alternativas a lo largo del cañón (ver figura 4.1) en las cuales se han realizado exploraciones geológicas en 2 etapas; - primeramente en el período de 1961 - 1964 y posteriormente de 1978 a 1982. A pesar de la situación estratégica del cañón de Huixastla las condiciones geotécnicas de las formaciones Morelos y Mexcala - no han sido muy favorables, y se han desechado las alternativas de la 1 a la 4, y es objetivo de éste trabajo determinar las condiciones geotécnicas de las alternativas 5 y 6 situadas a la salida del cañón.

En las primeras exploraciones geológicas (Razo M. 1964) se pensó que el eje 2, nombrado el Gavilán localizado en la Formación -- Mexcala, ofrecía las mejores características para la construcción de una presa, pese a ello las exploraciones directas de barrenos y socavones revelaron que la roca presentaba alta permeabilidad además de problemas de estabilidad en la margen izquierda, por consiguiente fue desechado éste sitio.

Aguas arriba del eje 2 se localiza la alternativa 1, en las calizas Morelos; que presentan alta permeabilidad debido a fenómenos cárstico, aunado a esto el eje intersecta una falla que afecta considerablemente la calidad de la roca.

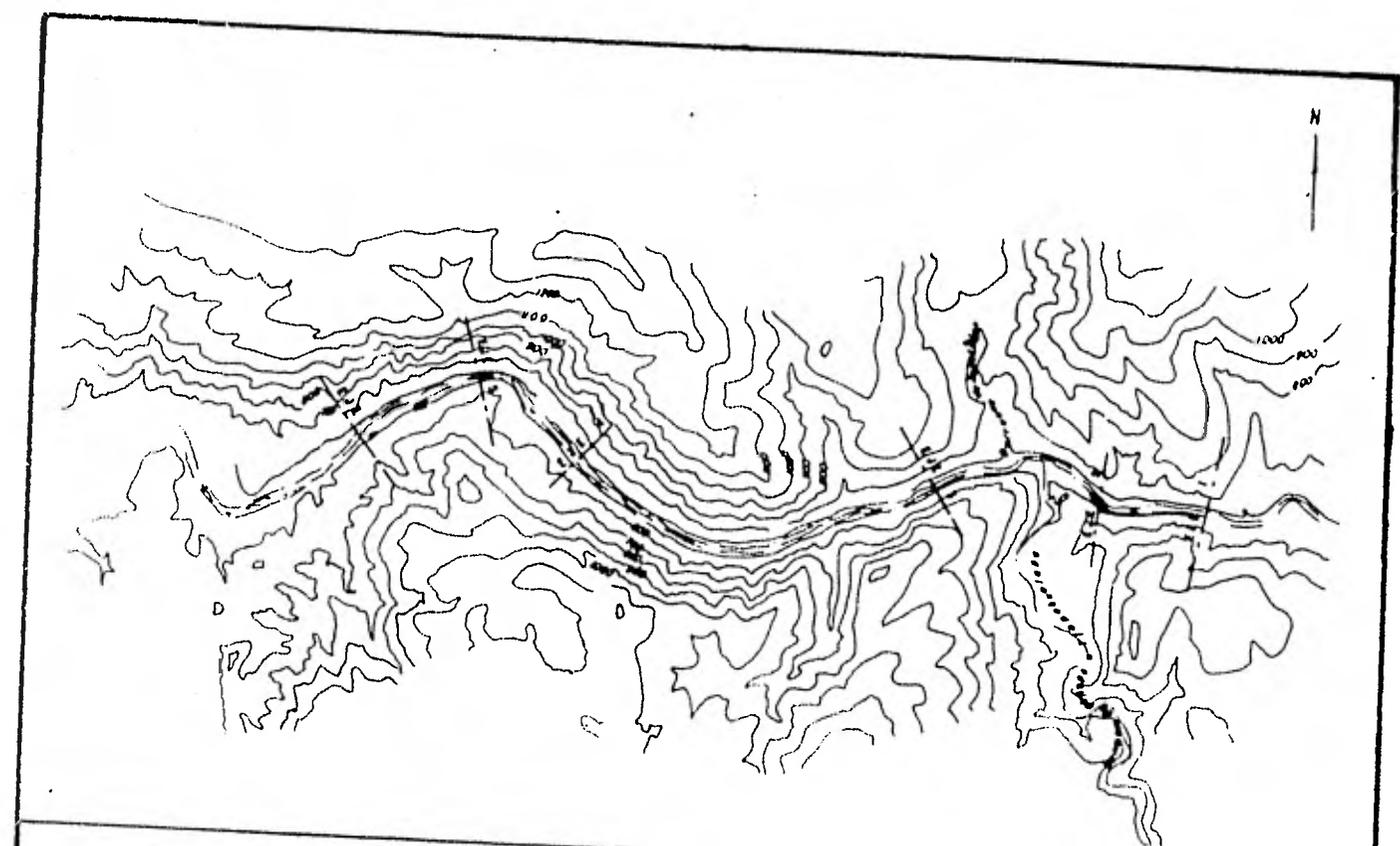


Fig. 4 - 1

LOCALIZACION DE LAS ALT 1 A 6 DEL PH. HUIXASTLA.

Jorge A Fosado López
TESIS PROFESIONAL

Posteriormente en la segunda etapa se eligió el eje 3 donde afloran las calizas de la Formación Morelos. Las exploraciones de detalle realizadas en el sitio revelaron que las calizas presentan carsticidad avanzada, así mismo mostraron que en el contacto entre las calizas Morelos y la Anhidrita Huitzuco situado a 280 m de profundidad en promedio, existe una zona de alta disolución. Estas condiciones condujeron a descartar el sitio (García Calvario et al 1981).

A la salida del cañón se localizaron los sitios 4, 5 y 6; los dos primeros se encuentran en las calizas de la Formación Morelos y el último sobre la secuencia evaporítico-terrágena de la Formación Mexcala. El eje 4 fue desechado por presentar características similares a las del sitio 3, por esto las exploraciones de detalle se orientaron hacia los sitios 5 y 6.

La alternativa 6 presenta mejores condiciones geotécnicas, ya que las lutitas y limolitas de la Formación Mexcala favorecen el cierre del vaso. En el sitio 5 el macizo rocoso presenta mayor permeabilidad, además en la margen izquierda esta sumamente fracturada disminuyendo notablemente la calidad de la roca, y convirtiéndola en una zona potencialmente inestable.

A pesar de que el eje 6 ofrece mejores condiciones que el eje 5, se deben tener presentes los problemas que pueden ocasionar la presencia de yeso, ya que es un material demasiado soluble. Así mismo deben considerarse los paquetes de lutita con yeso, ya que por ser materiales con baja resistencia representan problemas para el alojamiento de obras civiles.

Por otra parte es importante el considerar un posible deslizamiento de la ladera izquierda del eje 5, ya que por las cercanías con el eje 6 tendría consecuencias catastróficas.

B) LITOLOGIA Y ESTRUCTURA

1) Litología

Las rocas encontradas a la salida del cañón de Huixastla, donde se localizan las alternativas 5 y 6 del Proyecto Hidroeléctrico -- del mismo nombre, corresponden a las formaciones Morelos y Mexcala.

La Formación Morelos básicamente calcárea, consiste de calizas y dolomias de estratificación mediana a gruesa y en ocasiones masiva, la textura en las calizas varia de calcilutita a calcarenita y es sacaroide para las dolomias. El color más común en las calizas es el gris oscuro y pardo para las dolomias, es común encontrar nódulos y bandas de pedernal en esta secuencia.

Estas rocas calcáreas presentan por lo general muy buena calidad y únicamente en la margen izquierda de la alternativa 5, la roca esta sumamente fracturada y tiene mala calidad. Ocasionalmente se llegan a presentar oquedades de disolución pero son en un porcentaje bajísimo.

La Formación Morelos aflora en la alternativa 5 y cambia transicionalmente a la Formación Mexcala hacia el eje 6.

La Formación Mexcala aflora en el sitio 6, y por su distribución, todas las obras civiles en el diseño actual quedan alojadas dentro de esta formación.

Esta unidad litoestratigrafica del Cretácico Superior en el -- área de la alternativa 6 del P.H. Huixastla, consiste de dos miembros; uno predominantemente evaporítico con intercalaciones calcáreas y terrígenas, que se encuentra en la base de la formación, y otro miembro básicamente terrígeno-calcáreo hacia la parte superi-

or de la misma.

En el miembro basal de la Mexcala existe una zona de transición entre las calizas Morelos y ésta formación en la que se encuentran calizas, calizas arcillosas y algunos horizontes de lutitas.

Posteriormente se encuentra el paquete constituido de lutitas y limolitas interestratificadas con yeso con presencia de algunos estratos calcáreos. La ocurrencia del yeso es en laminillas de 1 cm. de espesor, pero en ocasiones se llegan a encontrar estratos de -- hasta 70 cm de espesor. Las exploraciones subterráneas han revelado que la secuencia evaporítica contiene anhidrita en el subsuelo, lo cual es coherente ya que la anhidrita es estable por debajo de los 150 m de profundidad; la transformación anhidrita yeso ocurre entre los 150-65 m, y en el intervalo de los 65 m de profundidad a la superficie el yeso tiene condiciones estables (Nieto A 1981).

El miembro superior de la Formación Mexcala en ésta área consiste de calizas arcillosas de color gris oscuro, interestratificadas con lutitas negras y algunos horizontes de arenisca. La estratificación de las calizas arcillosas es mediana y las lutitas negras son fósiles.

La Formación Mexcala fuera del área de la boquilla gradua hacia la parte superior a una secuencia terrígena constituido de lutitas con algunos estratos de arenisca.

La secuencia evaporítica de la Formación Mexcala aflora en la -- margen derecha del eje 6, mientras que en la margen izquierda aflora aguas arriba de dicho eje. En la margen izquierda del eje 6, -- aflora la secuencia calcáreo-arcillosa que posteriormente se encuentra aguas abajo del eje 6, en la margen derecha. (ver plano geo-

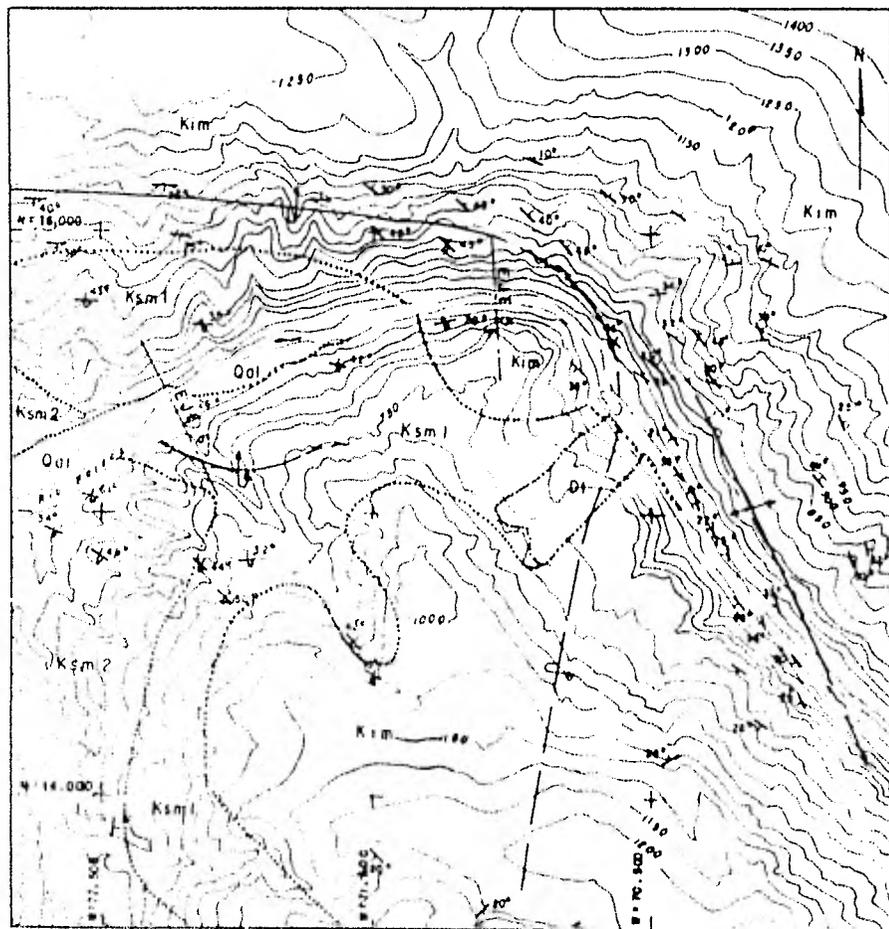


Fig. 4.2 PLANO GEOLOGICO DE LAS ALTERNATIVAS 5 Y 6 P.H. HUIXASTLA

LEYENDA

Kim

Aluvión

Di

Deposito de talud - Bloques de caliza, arenisca y limolitas empastada en el cimo y cementada con calcita.

FORMACION MEXCALA

Ksm 2

Miembro Superior - Calizas arcillosas y limolitas negras interstratificadas algunas herissons de areniscos, hacia la parte superior

Ksm 1

Miembro inferior - Calizas y limolitas con base para producir o hallar limolitas y calizas arcillosas interstratificadas

FORMACION MORELOS

Kim

Calizas, Mudebar o grachas con delgadas

SIMBOLOGIA

Anticlinas

Anticlinas resacas

Contacto geológico

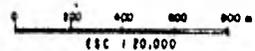
Tronco y achada

Di

Tronco y achada de sucesión saliente

Corra de Nivel

Estructura Geológica Infrada



C
U
A
T
E
R
N
A
R
I
O

S
U
P
E
R
I
O
R

C
R
E
T
A
C
I
C
O

I
N
F
E
R
I
O
R

Jorge A. Fosado López
TESIS PROFESIONAL

lógico del sitio).

2) Estructura

La estructura geológica en el sitio de la boquilla del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, está controlada por el anticlinal recostado que lleva este mismo nombre.

Este pliegue recostado al sur del río Balsas lleva un rumbo general N-S, y al llegar al Balsas, área del Proyecto, cambia bruscamente a la dirección SE-NW.

El pliegue "volcado" da por resultado una secuencia invertida y así las calizas Morelos del Cretácico Inferior cubren a la Formación Mexcala, del Cretácico Superior.

En general la estratificación tiene un rumbo de E-W a N-70°-W - con un buzamiento promedio de 30° a 50° hacia el NE. Por su carácter incompetente, la Formación Mexcala desarrolla numerosos plegamientos, que tienden a cambiar la actitud de la estratificación, - la mayoría de estos son muy pequeños y de influencia local, sin embargo el plegamiento localizado en la margen izquierda de la alternativa 6, es de mayor relevancia, ya que en esta zona cambia la actitud de la estratificación a un promedio de SE 35°NW - buzando de 30° a 50° SW.

En la margen izquierda de la alternativa 5, también existe variación en la estratificación, debido a flexuras y afallamientos - que sufre la roca en ésta zona, de tal forma los estratos buzan -- hacia el SW. Y en ocasiones en la dirección E.

Los planos de estratificación en la Mexcala, contienen generalmente arcilla, calcita y yeso, presentado poca rugosidad entre am-

bas paredes. En cuanto a los estratos de las calizas Morelos, tiende a existir arcilla y calcita, entre ellos las superficies son poco onduladas y algo rugosas.

3) Discontinuidades

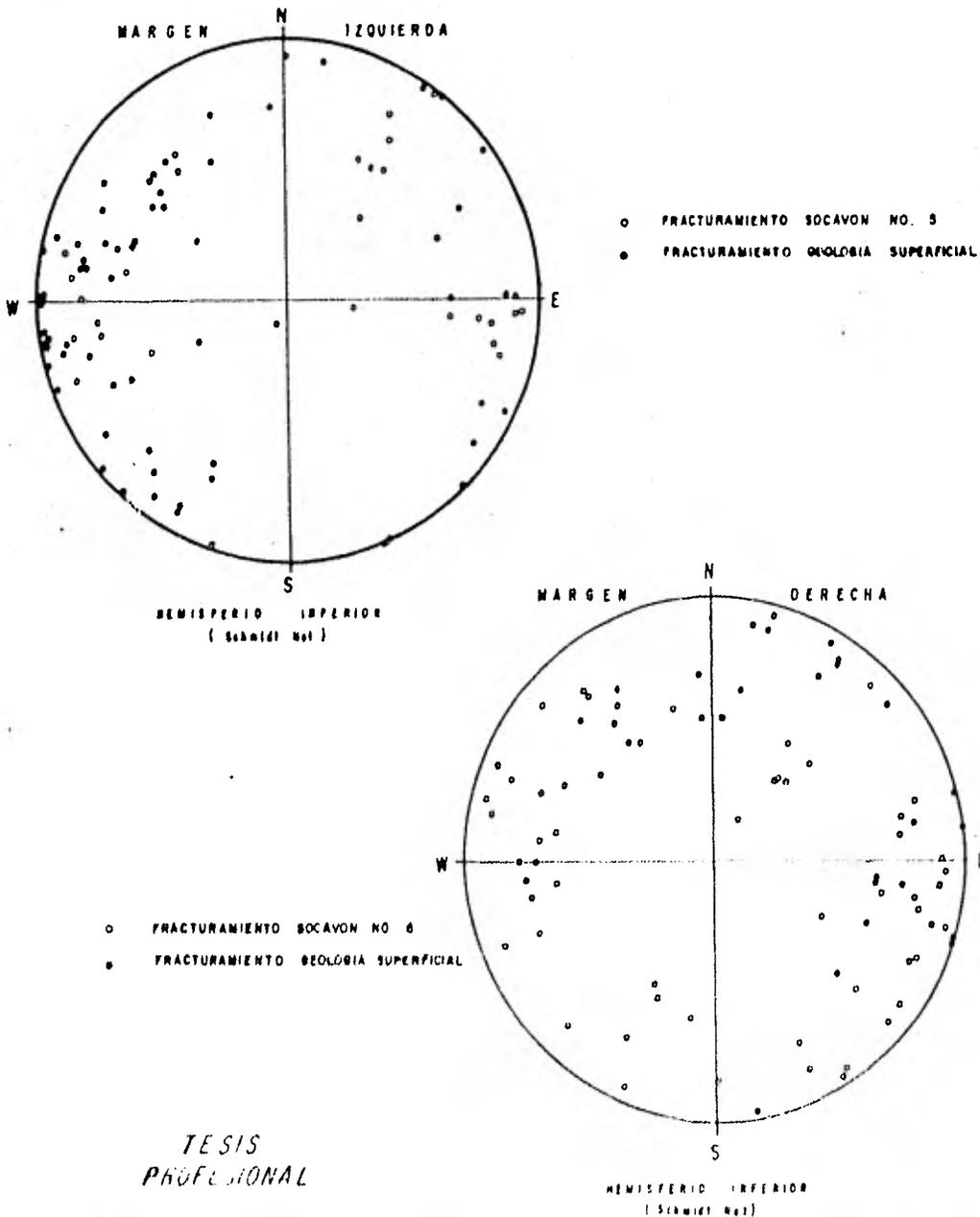
Una de las características de mayor interés para fines geotécnicos, es determinar los sistemas de discontinuidades presentes en - el macizo rocoso, ya que afectan considerablemente las propiedades mecánicas del mismo, haciendolo menos resistente, más deformable y más permeable, además de inducirle anisotropía.

En los planos de discontinuidad la resistencia al corte y la resistencia a la tensión perpendicular a estos es muy baja; lo cual - desfavorece al desarrollo de excavaciones y cortes, así mismo crea problemas de estabilidad de laderas y de resistencia en la roca de cimentación.

A pesar de que las discontinuidades tienen patrones definidos - en el sitio del P.H. Huixastla, la distribución y densidad tienen - variaciones para cada zona, por ésta razón, se presentan estereodi - agramas (ver figura 4.3) para cada margen y formación geológica. - De tal forma las discontinuidades presentes en la margen derecha - del eje 6 constituida por la Formación Mexcala, serán consideradas para el desarrollo de la obra de toma, planta hidroeléctrica y - - obra de desvío. Para la margen izquierda de este eje 6, la distri - bución de discontinuidades será tomada en cuenta para la realiza - ción del vertedor y obra de desvío en margen izquierda. El estereo - diagrama de discontinuidades de la Formación Morelos en margen iz - quierda será básico para el análisis de estabilidad en esa ladera.

Las dicontinuidades que afectan al macizo rocoso del sitio Hui-

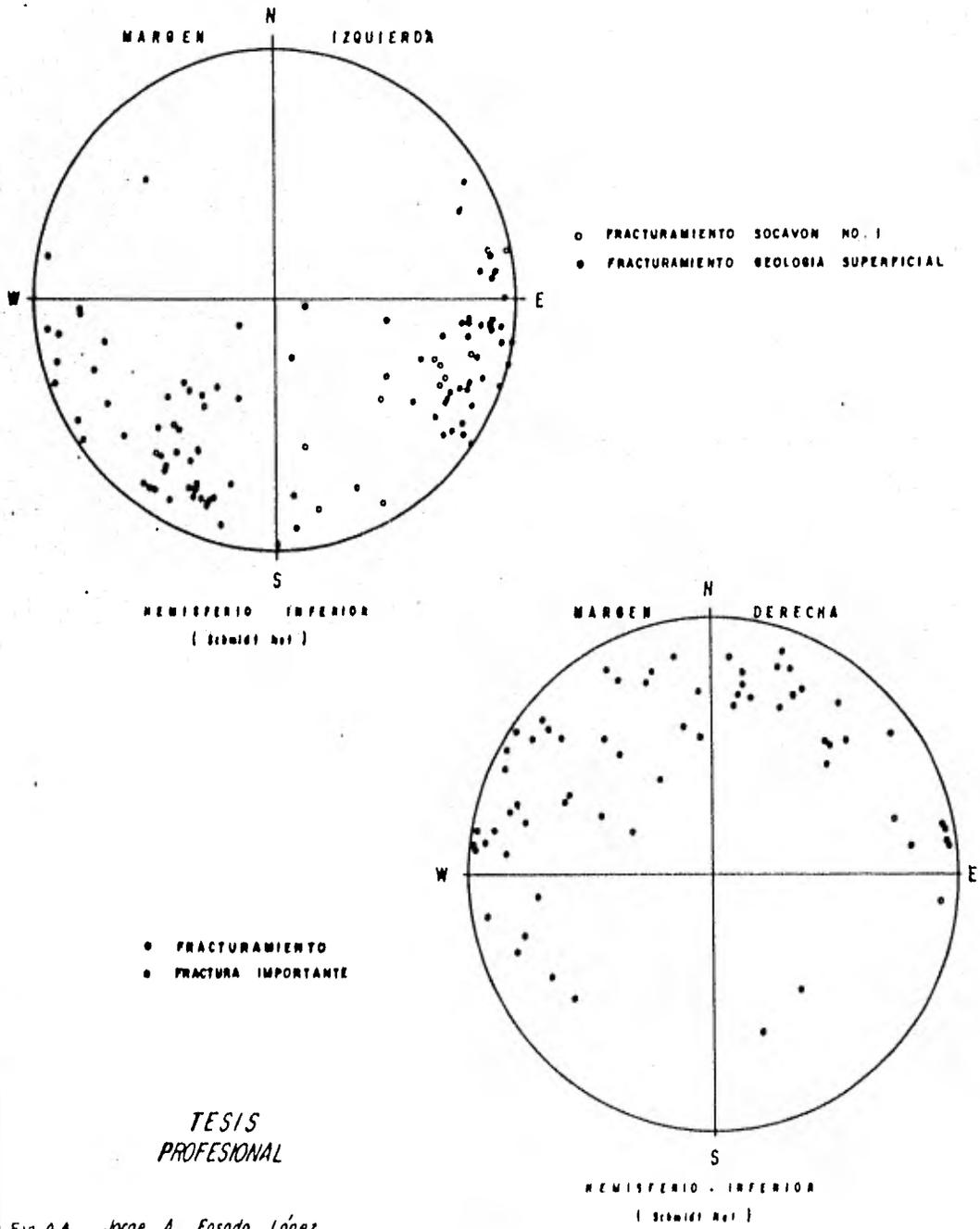
— FRACTURAMIENTO FORMACION MEXCALA —



TESIS
PROFESIONAL

Fig 4.3 Jorge A. Fosado López

— FRACTURAMIENTO FORMACION MORELOS —



TESIS
PROFESIONAL

Fig 44 Jorge A. Fosado López

xastla consisten de planos de estratificación (ya descritos) y de sistemas de fracturamiento con desarrollo de fallas normales que en general son de poco desplazamiento. Existen 3 patrones principales en la orientación del fracturamiento a los que se les denomina sistema alfa (α), beta (β) y gamma (γ).

Los sistemas α y β son los predominantes, en tanto que el sistema γ se presenta con mucho menor frecuencia.

El sistema alfa tiene una orientación principal de SSW-NNE, -- predominando los rumbos de 10° y 15° al SW-NE, con buzamiento de 60° a 80° hacia el NW, y en ocasiones al SE. Para este sistema -- también se han observado fracturas en la dirección SE- 5° NW, bu -- zando al NE y SW.

El sistema β tiene un rumbo general entre 45° y 60° SE-NW con buzamientos de 50° a 80° tanto al SW como al NE.

El sistema γ menos común, se presenta con un rumbo de 50° a 70° SW-NE y buzamiento de 70° a 80° al SE y NW.

En la Formación Morelos, se llegan a presentar fracturas mayores de hasta 1 m. de espesor rellenas con material brechoide pero son poco comunes, encontrándose con mayor frecuencia fracturas -- abiertas de 5 cm. de espesor rellenas con arcilla y calcita, los -- planos son lisos y poco rugosos.

Las fracturas en la Formación Mexcala, son cerradas o con 5-8- cm. de espesor, teniendo como material de relleno calcita, arcilla y yeso, los planos son poco rugosos y no ondulados por lo general.

Dentro de la Formación Mexcala, existen fallas normales de pe-

queño desplazamiento asociados al sistema beta (N 60° W-70° SW), y se han registrado 2 de mayor importancia, la F₁ localizada en -- margen derecha, y de la F₂ en la margen izquierda. El espesor de estas fallas es variable llegando a ser hasta de 1.5 m, el material que contiene es brechoide empacado en arcilla con algo de cemento calcáreo.

C) PERMEABILIDAD Y PIEZOMETRIA

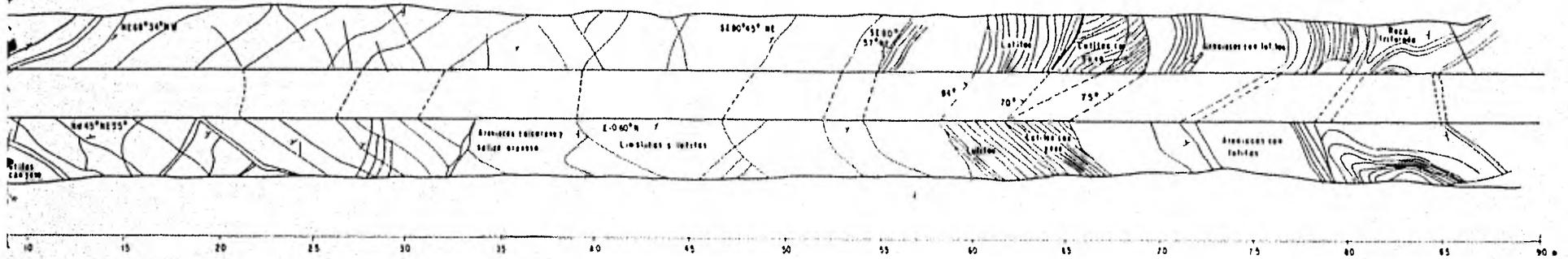
Los valores de permeabilidad y nivel freático que existen para el sitio del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, han sido obtenidos por la realización de pruebas tipo Lugeon para la permeabilidad, y de medición con sonda para los niveles freáticos. Estas pruebas y mediciones se han efectuado en barrenos exploratorios, los cuales están relativamente espaciados uno de otro como para establecer -- correlaciones que permitan construir configuraciones de isopermas y niveles freáticos. Por esta razón únicamente se delimitan las zonas con características similares de permeabilidad, para el eje número 6, y a medida que se cuente con mayor información en las etapas exploratorias sucesivas, se podrá determinar con mayor precisión las condiciones de permeabilidad del sitio.

En cuanto a los niveles freáticos se hace mención de su comportamiento tanto en margen izquierda como en margen derecha, pero -- nuevamente es de una manera aproximada ya que únicamente existe un barreno en margen derecha y dos en la margen izquierda de dicho -- eje 6.

También se mencionan las características de permeabilidad y nivel freático encontrados en las calizas de la Formación Morelos --

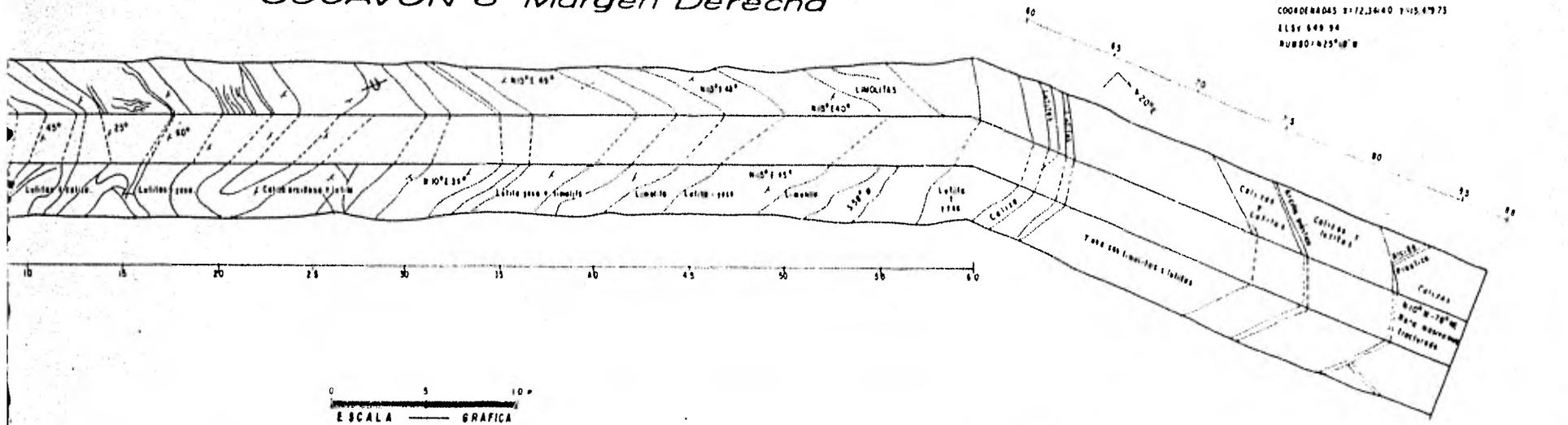
SOCAVON 5 Margen Izquierda

COORDENADAS X: 72231.21 Y: 1105244.39
 ELEV: 597.60
 RUMBO: 5.25°E



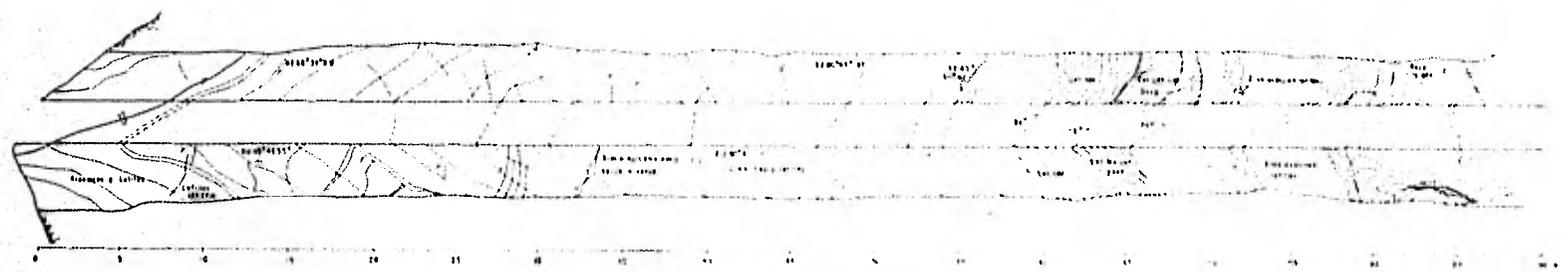
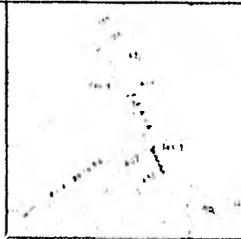
SOCAVON 6 Margen Derecha

COORDENADAS X: 72344.0 Y: 1105479.73
 ELEV: 640.94
 RUMBO: 425°10'W



SOCAVON 5 Margen Izquierda

MEMORIAL DE PROYECTO Y PLANOS
 E. S. 10. 1954
 E. 100. 1954



SOCAVON 6 Margen Derecha

MEMORIAL DE PROYECTO Y PLANOS
 E. S. 10. 1954
 E. 100. 1954



Fig 45.

ESCALA 1:1000
 GRÁFICA

FACULTAD DE INGENIERIA
 U:
 N:
 A:
 N:

que afloran en la alternativa 5.

1) Permeabilidad

La presencia de sedimentos arcillo-limosos en la Formación Mexcala favorecen las características de impermeabilidad para la alternativa número 6. Sin embargo existen zonas en donde el intenso fracturamiento ha creado una permeabilidad inducida en el macizo rocoso.

En la parte inferior de la ladera de la margen izquierda existe una zona de unos 100 m de espesor desde la superficie del terreno, que hacia la parte superior de la ladera disminuye a 50 m de espesor aproximadamente, que tienen permeabilidades del orden de 12-14 unidades Lugeon en promedio, lo cual indica una roca permeable. Por debajo de ésta zona las permeabilidades disminuyen, y en la zona inferior de la ladera predominan los valores de 6-8 unidades Lugeon y en la parte superior de la misma se tienen valores de 2-4 unidades Lugeon.

La razón por la cual, las permeabilidades en la parte inferior de la ladera son mayores, es debido que esta zona es afectada por un plegamiento recostado local, que ha causado mayor fracturamiento en la roca.

Para la margen derecha las condiciones de permeabilidad son más homogéneas, ya que no existen grandes variaciones estructurales, sin embargo se puede diferenciar una zona de mayor permeabilidad hacia la superficie del terreno. Dicha zona tiene un espesor aproximado de 80 m en la parte inferior de la ladera y 140 m para la parte superior, en esta zona las permeabilidades oscilan entre las 8 y las 12 unidades Lugeon.

Abajo de ésta zona las permeabilidades varían entre 4 y 8 unidades Lugeon predominando el valor de 6 U.L. (Sección).

En el cauce del río aun no se tiene información pero es posible que la zona con valores superiores a las 8 unidades Lugeon tenga unos 50 m de espesor.

La margen izquierda de la alternativa 5. Constituida de calizas de la Formación Morelos, registra altos valores de permeabilidad, en la mayoría de los casos superiores a 10 unidades Lugeon. Por otra parte las calizas Morelos, encontradas en la margen derecha, menos fracturadas tienen como promedio 8 unidades Lugeon de permeabilidad.

2) Niveles Freáticos

El nivel freático en la margen izquierda del eje 6 es controlado por la zona de mayor permeabilidad, esto se observa en el barreno 5 en que el nivel del agua subterránea se encuentra a los 582 m lo cual hace suponer una superficie freática sensiblemente horizontal hasta el cauce del río, donde el nivel de agua estaba a los 578 m cuando se realizó la medición. Posteriormente el nivel freático se encontró a los 634 m en el barreno 42, y se observa que al disminuir la permeabilidad hacia el interior del macizo rocoso. El nivel freático tiende a seguir la forma del terreno.

En la margen derecha el nivel freático tiende a seguir el perfil del terreno, y en el barreno 6 se encuentra a los 639 m.

En base a la información disponible se estima que el nivel freático en la margen derecha estará por debajo de los 50 m de la superficie, en la porción superior de la ladera y a unos 20 m en la-

parte inferior de la misma. En cuanto a la margen izquierda parece ser que la superficie, freática se encuentra a los 100 m de profundidad, y únicamente en la porción inferior de la ladera, que está cercana al río, el nivel freático está entre los 20 y 30 m (consultar la figura 4.7).

Cabe aclarar que estos valores fueron medidos en época de estiaje, y se puede considerar de un aumento de 5 - 8 m para la época de lluvias.

Los niveles de la superficie freática registrados en la margen izquierda de la alternativa 5, hacen suponer que esta es sensiblemente horizontal, ya que únicamente se encuentra a 2 ó 3 m sobre el nivel del río. Esto indica que la roca tiene buen drenaje subterráneo, causado por el fracturamiento, ya que las obras exploratorias no han encontrado evidencias de disolución avanzada. De cualquier forma las condiciones del agua subterránea serán mejor conocidas a medida que exista mayor número de datos.

D) GEOFISICA APLICADA

Dentro de los métodos indirectos incluidos en el programa de exploración del Proyecto Hidroeléctrico de Huixastla, están incluidos sondeos geofísicos, empleándose principalmente el método sísmico de refracción y sondeos eléctricos verticales.

Los tendidos utilizados para estos sondeos, se encuentran espaciados 250 m uno de otro, y se consideran a nivel de semidetalle. Para etapas posteriores se efectuarán trabajos de geofísica más detallados, con mayor énfasis en las zonas de desplante de obras civiles, y se han programado sondeos de calicatas y de polo-dipolo,

sondeos Up-Hole en barrenos, así mismo se tiene en plan correr registros geofísicos en pozos.

1) Método Sísmico

El método empleado en estos sondeos es el sísmico de refracción con tendidos simétricos de 200 y 250 m de longitud. Los principales objetivos eran el correlacionar las velocidades de propagación de las ondas para cada tipo de roca, con el fracturamiento y estructura presente en el macizo rocoso y establecer las condiciones generales de calidad de roca en el subsuelo.

Estos sondeos ayudaron a determinar la zona altamente fracturada y decomprimida en la zona de la "nariz", margen izquierda de la alternativa 5, donde se registraron velocidades del orden de 1500-3000 m/seg.

Con este tipo de sondeos también se determinaron las zonas decomprimidas en la ladera de la boquilla. Para la margen izquierda existe un espesor de 25 m con velocidad de 1450 m/seg, por debajo de ésta zona la roca mejora y se tienen velocidades de 3000 m/seg.

Para margen derecha la zona decomprimida de la ladera es del orden de 15 m de espesor, con velocidades de 2000 m/seg, por debajo de ésta zona la roca mejora y las velocidades promedio oscilan en los 4200 m/seg.

2) Método Eléctrico

Para los sondeos eléctricos realizados en el sitio de Huixtla se ha empleado a la fecha el método geoelectrico de resistividad, con el arreglo tetrapolar Schlumberger. Estos sondeos han sido útiles cuando llegan a mostrar el contraste de resistividad entre los

cuerpos yesíferos y las rocas adyacentes, así mismo en ciertas ocasiones han permitido establecer condiciones del nivel de saturación del agua.

E) UNIDADES GEOTECNICAS

En trabajos de tipo geotécnico es de mayor utilidad emplear clasificaciones geomecánicas para describir la masa rocosa, puesto que proporcionan más bases para el diseño y construcción de obras civiles, que las clasificaciones puramente litológicas.

Por los datos disponibles, y debido a que proporciona un valor general de la calidad del macizo rocoso, R.M.R. (Rock Mass Rating) se decidió emplear la clasificación Geomecánica de Bieniawski (1974), que tiene una escala que varía de 0-100 y agrupa a los diferentes tipos de masas rocosas en 5 clases, dependiendo de sus propiedades geotécnicas.

Clasificación Geomecánica de Bieniawski (R.M.R.)

Para Macizos Rocosos

<u>Clase</u>	<u>R.M.R.</u>	<u>Tipo de Masa Rocosa</u>
I	81-100	Muy Buena Calidad.
II	61-80	Buena Calidad.
III	41-60	Mediana Calidad.
IV	21-40	Baja Calidad.
V	0-20	Muy Baja Calidad.

1) Parámetros

Para esta clasificación se toman en cuenta 5 parámetros universales los cuales son: Resistencia de la Roca, calidad de los núcleos de Barreno (R.Q.D.), condiciones de Agua Subterránea, Espacia-

miento de las Discontinuidades y características de la discontinuidad.

Cada uno de estos parámetros tiene un rango de valores, y dependiendo de la masa rocosa en cuestión se asignará un valor a cada parámetro, los cuales al sumarse darán el R.M.R.

Los rangos de valores para cada parámetro varían como se puever a continuación:

<u>Parámetros</u>	<u>Rango</u>
- Resistencia a la Compresión Simple de la Roca.	0-15
- R.Q.D.	3-20
- Condiciones de Agua Subterránea. (A.S.)	0-10
- Espaciamiento de las Discontinuidades. E D	5-30
- Características de las Discontinuidades C D	0-25

R.M.R. = Valor Re + Valor R.Q.D. + Valor A.S. + Valor ED + Valor CD.

Bieniawski introduce un sexto factor, el cual se resta al valor obtenido de los 5 parámetros anteriores. Dicho factor considera -- las condiciones favorables o desfavorables para la realización de un trabajo, dependiendo de la orientación del mismo. Para túneles este decremento del R.M.R. llega a ser de (-12) y para cimentaciones de (-25).

La litología siempre es un factor de suma importancia para establecer las condiciones geotécnicas del macizo rocoso, por ésta razón las unidades geotécnicas definidas en éste trabajo toman en cuenta tanto la litología como el R.M.R.

El procedimiento para obtener el índice R.M.R. (Rock Mass Rating) propuesto por Bieniawski, consiste en realizar una suma de los valores de cada parámetro. Los valores de cada parámetro depen

deran de las características de la masa rocosa.

A continuación se muestra una tabla con los diferentes rangos de valores de los parámetros dependiendo de la característica de la masa rocosa. Bieniawski (1974) y Goodman R. (1980)

Resist. a la Compr. Simple (Rc) (Kg/cm ²)	2000	1000-2000	500-1000	250-500	250
Incremento	15	12	7	4	0
R.Q.D. (%)	90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	25%
Incremento	20	17	14	8	3
Espac. de las Discont. (m).	3	1-3	0.3-1	0.005-0.3	0.005
Incremento	30	25	20	10	5
Caract. de las Discontinuidades.	Cerradas, muy rug, y poco onuas.	Cerradas y poco rugosas.	abiertas menos de 1 mm sin relleno.	abiertas 1-5 mm. relleno 5 mm.	abiertas 5 mm relleno.
Incremento.	25	20	12	6	0
Cond. de agua Subterránea.	Completo. seco.	Húmedo	agua a pres. Moderada.	Severos problemas de agua.	
Incremento.	10	7	4	0	

2) Unidades:

Para el sitio del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla se han establecido 5 Unidades geotécnicas, 2 de ellas contenidas en la Formación Morelos, la U₁ y U₂ y 3 Unidades para La Formación Mexcala la-

U_3 , U_4 y U_5 .

Unidad U_1 .

Esta unidad forma parte de la Formación Morelos, constituida de caliza y dolomias, de estratificación mediana a gruesa y en ocasiones masiva.

Es una roca sumamente sana y resistente, no se tiene valor medido de su resistencia a la compresión simple, pero es seguro que oscile entre los 500 y 1000 Kg/cm², lo cual le da un valor de 9 para este parámetro.

El R.Q.D. de ésta roca es superior al 60%, y por tanto corresponde un valor de 15. Las condiciones de agua subterránea de ésta unidad no son bien conocidas, pero por inferencias no deben existir condiciones muy desfavorables, por lo cual se le asigna un valor de 7 a este respecto.

El espaciamiento de las discontinuidades queda dentro del rango de 0.3 - 1 m para el que corresponde un incremento de 20. Pocas de las discontinuidades son abiertas y su forma general es poco rugosa. Por lo tanto se le asigna un valor de 12.

$$\begin{array}{cccccc} \text{Rc} & \text{R.Q.D} & \text{A.S} & \text{ED} & \text{CD} & \\ \text{RMR} = & 9 & + & 15 & + & 7 & + & 20 & + & 12 & = & 63 \end{array}$$

Para ésta unidad U_1 se tiene un R.M.R. de 63, es decir es una masa de roca con buena calidad geomecánica. Clase II, (61-80).

Unidad U_2 .

Esta unidad litológicamente es similar a la U_1 , ya que consiste

de calizas de la Formación Morelos, y por tanto la resistencia a la compresión simple varía en el mismo rango que para la U_1 .

Sin embargo el R.M.R. baja notablemente para la U_2 , ya que la roca se encuentra muy fracturada, y los parámetros de R.Q.D, espaciamiento y condición de las discontinuidades se ven reducidas de tal forma que el R.Q.D en promedio no alcanza el 40%, el espaciamiento de las discontinuidades es del orden de 0.005-0.3 m. Las fracturas tienen a veces más de 5 cm. de espesor, rellenas de arcilla y/o calcita, estas características dan como resultado un R.M.R. de 38, lo que cataloga a ésta unidad dentro de la clase IV. Es decir de pobre calidad.

Las condiciones de agua subterránea no son desfavorables y no se ha reducido el R.M.R. por orientaciones desfavorables para realizar trabajos.

$$\begin{array}{rcccccc} \text{R.M.R.} & = & 9 & + & 6 & + & 7 & + & 10 & + & 6 & = & 38 \\ & & \text{Rc} & & \text{R.Q.D} & & \text{AS} & & \text{ED} & & \text{CD} & & \end{array}$$

$$\text{Unidad } U_2 \text{.- RMR} = 38$$

Clase IV (21-40) - Roca Baja Calidad.

Unidad U_3

Esta unidad litológicamente consiste de calizas, calizas arcillosas y lutitas que se encuentran en el contacto transicional de las formaciones Morelos y Mexcala.

La presencia de lutitas y calizas arcillosas produce una disminución del R.M.R. en comparación con el de la Unidad U_1 ya que estas rocas tienen menor resistencia, que las calizas. Así mismo las

lutitas producen una disminución en el ROD (%) debido a la fisibilidad característica en ellas. Por ésta misma característica las discontinuidades están menos espaciadas.

De acuerdo a las características en la unidad U_3 y de manera -- análoga a los casos anteriores se realiza la suma de incrementos -- del R.M.R y dan un total de 42 lo cual la clasifica en la clase -- III. Roca de mediana calidad.

$$\begin{array}{rcccccc} & R_c & R.Q.D. & AS & ED & CD & \\ R.M.R. & = & 5 & + & 10 & + & 7 & + & 15 & + & 5 & = & 42 \end{array}$$

$$\text{Unidad } U_3 \quad R.M.R. = 42$$

Clase (41-60) Roca de mediana calidad

Unidad U_4

Esta unidad corresponde a la secuencia evaporítica terrígena de la Formación Mexcala; litológicamente está compuesta por areniscas y lutitas de color verde con esporádicos horizontes de limolitas rojas y estratos de caliza. Toda ésta secuencia contiene yeso interstratificado y en forma de vertillas; el yeso se presenta desde pequeñas laminillas de 1 cm de espesor hasta estratos de 70 cm de espesor, siendo estos últimos poco comunes.

Aún no se han realizado ensayos de mecánica de rocas en éste -- proyecto, pero se estima que la resistencia a la compresión simple R_c para éste tipo de rocas blandas y semiduras, tenga un rango entre 250-500 kg/cm². El R.Q.D. medido en los barrenos 5, 6, 42 y 50- para esta unidad tienen en promedio 20-40%. Las discontinuidades -- tienden a ser poco rugosas y se encuentran cerradas o rellenas con

calcita arcilla o yeso, de 5 cm de espesor, y se encuentran espaciadas de 5 a 30 cm entre si.

Existen algunas pequeñas fallas normales alineadas en el sistema β , las más importantes son la F_1 localizada en la margen derecha y la F_2 en la margen izquierda. Estas fallas son importantes ya que llegan a tener 2 m de espesor, con material brechoide que está cementado con calcita y en ocasiones está empacado en arcilla y limo, y por tanto afectan la calidad de la masa de roca.

Por la poca permeabilidad los niveles freáticos bajos y en base a las observaciones en los socavones se deduce que no existirán -- condiciones de agua subterránea. Las características expuestas suman un "Rock Mass Rating" R.M.R de 34, lo cual cataloga a ésta unidad dentro de la clase IV Roca de Baja Calidad.

Por el contenido de lutitas ésta unidad está alterada superficialmente, pero tiende a mejorar a profundidad. Se ha observado -- (socavon 6) que las zonas donde abundan yeso y lutitas, tienden a intemperizarse rápidamente al contacto con el ambiente atmosférico dando como resultado un material arcilloso plástico. La presencia de yeso debe de ser tomada con especial atención puesto que es un material soluble y plástico.

$$\begin{array}{ccccccccc} & Rc & & R.O.D & AS & & ED & & CD \\ R.M.R. & = & 4 & + & 6 & + & 7 & + & 10 & + & 6 & = & 33 \end{array}$$

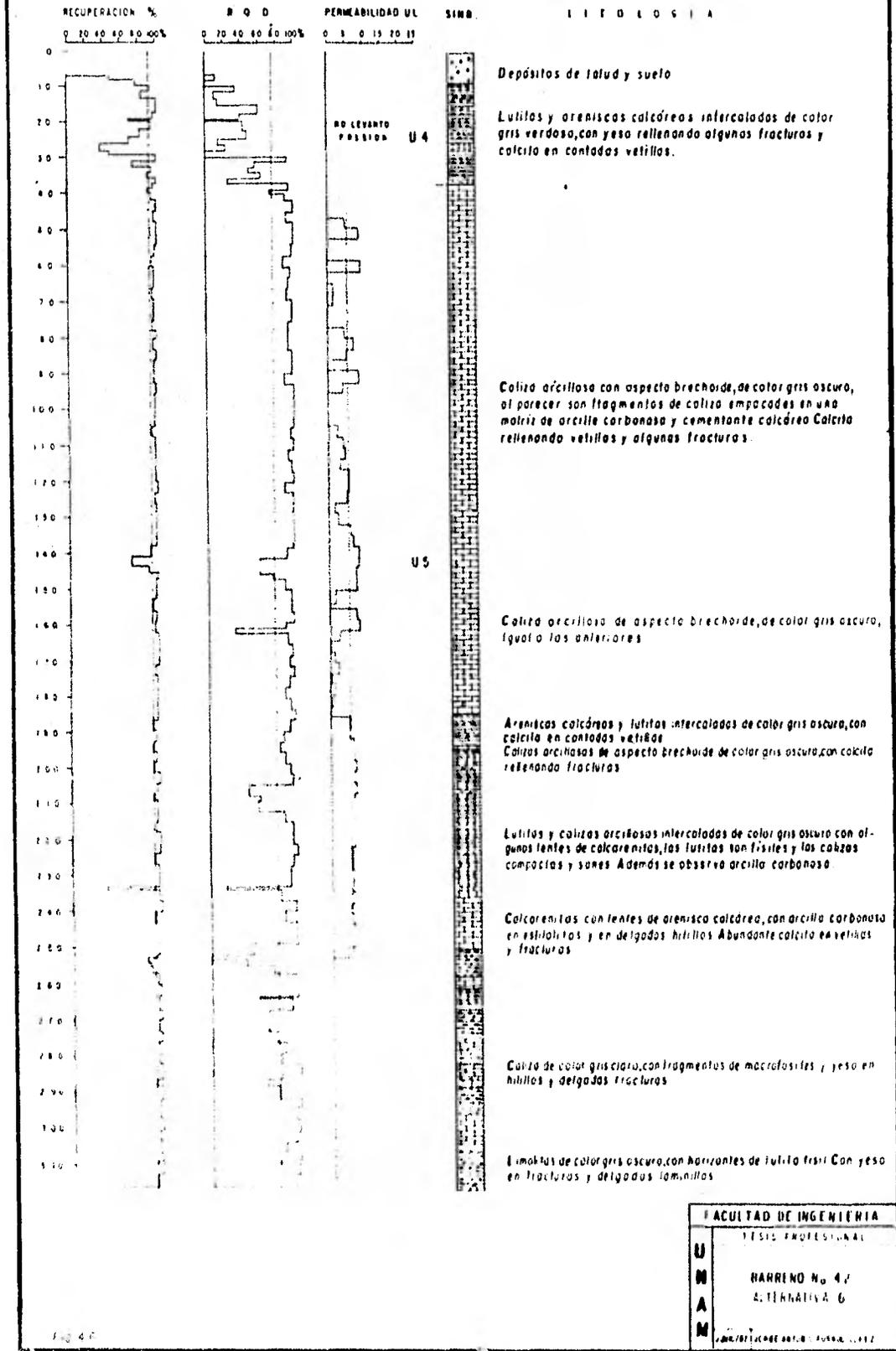
$$\text{Unidad } U_4 \quad RMR = 33$$

Clase IV (21-40) Roca de Baja Calidad.

Unidad U_5

— P H H U I X A S T L A —

— B A R R E N O N º 4 2 —



FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
BARRENO N º 42
 ALTERNATIVA 6
 PUBLICACION DE LA UNIVERSIDAD

Esta unidad corresponde a la parte superior de la Formación Mexcala, y por tratarse de una secuencia invertida se encuentra abajo de la unidad U₄, en ésta zona, del proyecto Hidroeléctrico Huixtla.

La litología consiste de calizas arcillosas de color gris oscuro interestratificadas con lutitas negras, esta en una proporción aproximada del 25%. Análogamente a las unidades anteriores la resistencia de la roca Rc es estimada y para este caso se supone un rango entre 300-500 kg/cm², y es posible que para las calizas arcillosas en el subsuelo la Rc sea mayor ya que se han encontrado altas velocidades en los sondeos de sísmica.

El porcentaje de R.Q.D obtenido de los barrenos para ésta secuencia tiene un promedio de 85%, y solo en algunos tramos (5m) -- donde existen paquetes de lutitas freables el R.Q.D disminuye al 40% ó 60%. La presencia de éstas lutitas freables en ciertos tramos, hace que las discontinuidades esten muy cercanas una de otra, pero en general en la secuencia las discontinuidades presentan un espaciamiento de 30 cm-60 cm. Estas discontinuidades son algo rugosas y por lo general planas, el material de relleno es arcilla carbonosa ó calcita, en ocasiones se presenta yeso.

Los incrementos del R.M.R dan un total de 55 lo cual clasifica a ésta unidad en la clase III, roca de mediana calidad, pero cerca de alcanzar el valor de la clase II (61) para masas de buena calidad. Los altos valores de R.Q.D y los valores determinados por sísmica que llegan hasta 4000 m/seg. nos revelan que la roca tiene -- muy buenas características físicas en el subsuelo, y es la presencia de los estratos de lutitas las que tienden a disminuir el R.M.R.

$$\begin{array}{rcccccc} & Rc & R.Q.D & AS & ED & CD & \\ R.M.R. & = & 4 & + & 18 & + & 7 & + & 15 & + & 8 & = & 55 \end{array}$$

$$\text{Unidad } U_5 - R.M.R. = 55$$

Clase III (41-60) - Roca de Mediana Calidad.

3) Distribución

Como se observa en el plano de unidades geotécnicas (anexo) el arreglo de las obras civiles del proyecto Hidroeléctrico Huixastla (eje 6) quedará alojado dentro de las unidades U_4 y U_5 , y una pequeña porción dentro de la U_3 .

Es la unidad U_4 la que tiene mayor superficie de exposición en el sitio, y por su posición estructural las obras de la planta hidroeléctrica alojadas en la margen derecha, que son obra de toma - tuberías de presión, casa de máquinas y pozos de oscilación quedarán contenidas dentro de ésta unidad U_4 . Los túneles de desfoque - así como la obra de desvío en esta margen derecha, serán excavados en parte en la U_4 pero hacia su salida atravesarán por la Unidad - U_5 .

En la margen izquierda la Unidad U_5 está distribuida en mayor proporción en el subsuelo y aflora en ésta margen hacia aguas abajo del eje 6. Por tanto la mayor parte de la obra del vertedor estará excavada en ésta unidad.

El desplante de la cortina como se puede observar queda en su mayor parte sobre la unidad U_4 y únicamente hacia la zona de la -- ataquía aguas abajo es donde la U_5 servirá de apoyo a la cortina.

Las calizas de la unidad U_1 que corresponden a la Formación Mo-

relos afloran en la margen derecha de la alternativa 5, y debido a posición estructural y a la secuencia estratigráfica se encuentran por encima de las Unidades U_3 , U_4 y U_5 así como de la zona de desplante de las obras civiles de la alternativa 6. (ver plano de unidades geotécnicas).

La Unidad U_2 corresponde a la masa rocosa decomprimida de las calizas de la misma Formación Morelos en la zona de la "Nariz" localizada en la margen izquierda de la alternativa 5.

F) ASPECTOS GEOTECNICOS DE LAS OBRAS

1) Cortina

La cortina que se tiene como anteproyecto para la alternativa 6 de Huixastla, como ya se dijo (ver capítulo II), es del tipo de materiales graduados (C.F.F. Cuernavaca, Mor.)

En este tipo de cortinas las propiedades mecánicas de la roca - de cimentación, en particular la resistencia y deformabilidad, no necesitan cumplir con los requisitos más estrictos que se requieren para las cortinas de gravedad ó de arco. Esto se debe en gran parte a la amplia superficie del apoyo que distribuye la carga sobre mayor área y a la flexibilidad que tienen las cortinas de materiales graduados.

En estas cortinas flexibles el riesgo por sismo es mucho menor que para las cortinas de concreto, sin embargo los deslizamientos de masa dentro del vaso son de mayor riesgo para estas ya que pueden producir una ola que pase sobre la cortina y con esto la falla de la estructura es inminente.

Las fallas más relevantes en presas de tierra se han debido en la mayoría de los casos a condiciones específicas de geohidrología o al desconocimiento de ellas (Oliveira R, 1979), de ahí el especial cuidado que se requiere para el estudio y tratamiento de la impermeabilización de la masa de roca. Por otra parte las condiciones de deformabilidad y estabilidad en las laderas que servirán de apoyo a la cortina son otro factor de importancia para el diseño y construcción de éste tipo de estructuras.

a) Atagüa Aguas Arriba

La atagüa de aguas arriba quedará desplantada en la unidad U_4 en ambos márgenes. Se ha realizado un barreno en el cauce del río en ésta zona y cortó 13 m de acarrees.

La unidad U_4 abarca hasta los 25 m de profundidad y desde ésta, hasta el fondo del barreno (120 m) el sondeo cortó las calizas arcillosas de la unidad U_5 .

La altura de la atagüa será de 50 m; en la margen derecha los estratos buzan hacia adentro de la ladera por lo que no se preeven problemas de inestabilidad al apoyar ésta atagüa, en la margen izquierda la estratificación buza hacia el río con intensidad de 35° a 50° , sin embargo las pendientes son muy suaves (25°) además de encontrarse una barranca en esa zona por lo que parece no haber problemas en cuanto a estabilidad.

b) Eje de la Cortina

Se tiene un barreno en el cauce del río sobre el eje de la cortina (Bno-37), y en ésta zona se cortaron 15 m de espesor de acarrees, y posteriormente calizas arcillosas de la unidad U_5 hasta

Jorge A Fasado López

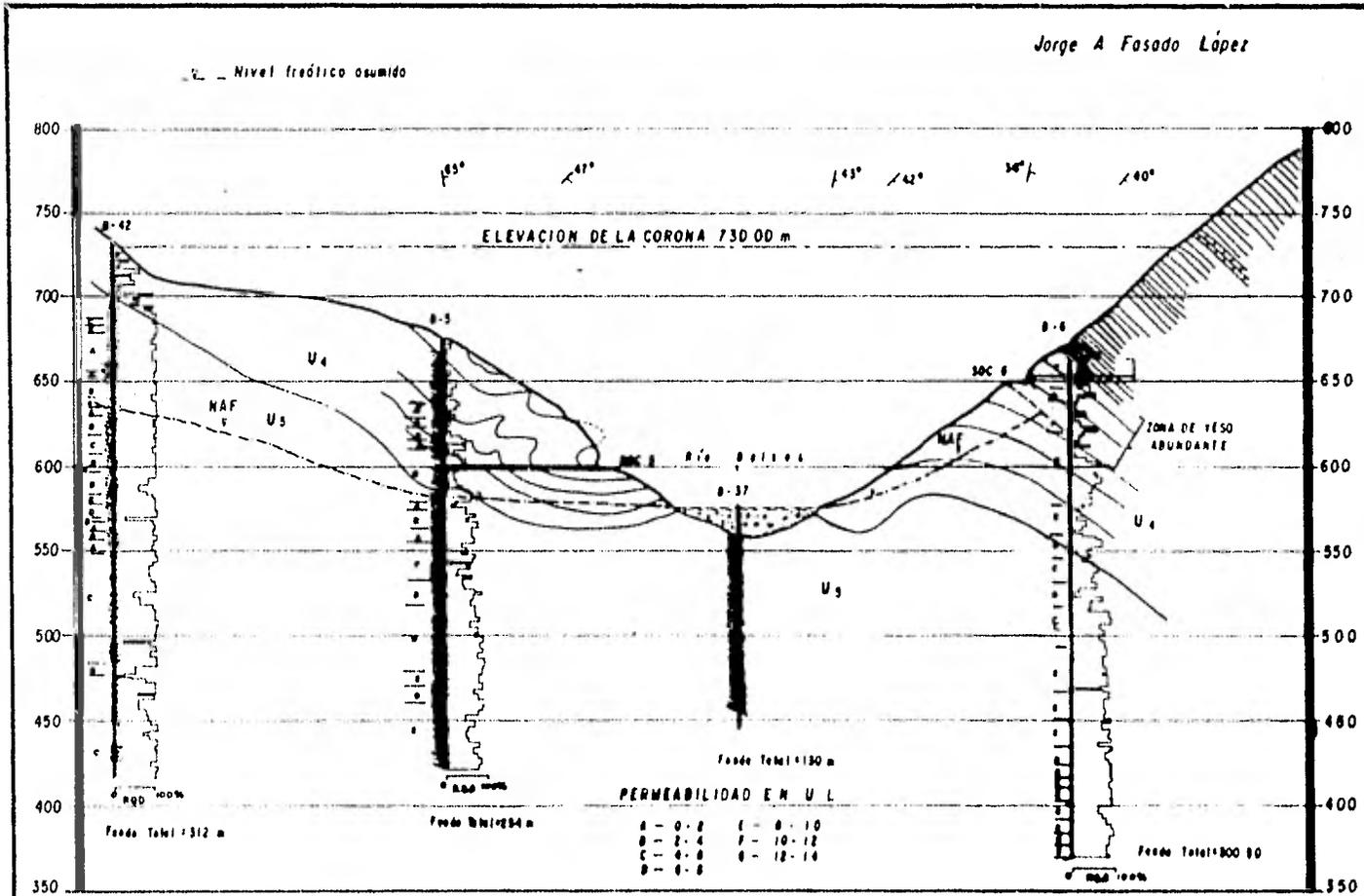


FIG 4.7 SECCION 1-1' EJE DE LA CORTINA TESIS PROFESIONAL

la profundidad total del barreno (130 m). La unidad U_5 en ésta zona presenta buenas características geomecánicas.

Es la unidad U_4 la que aflora en ésta área y la que servirá de apoyo a la cortina en ambos márgenes. Existiendo depósitos de aluvión en la base de las 2 laderas. En margen derecha los estratos buzan hacia el interior de la ladera (NE) con intensidades de 40°-55°. En la margen izquierda la estratificación tiene variaciones debido al plegamiento local que afecta ésta zona, y así la estratificación buza hacia aguas abajo en la parte media de la ladera.

La margen derecha por las características estructurales de la estratificación no ofrece problemas de estabilidad que pudieran presentar un riesgo para el desplante de la cortina, además la superficie de apoyo en la ladera es poco irregular. Debe tenerse en cuenta que la unidad U_4 que aflora en ésta zona, es de baja calidad geomecánica, debido principalmente a la presencia de yeso y lutitas las cuales están alteradas en superficie, sin embargo, la calidad de la roca mejora después de la zona alterada (o decomprimida) a los 15 m siguiendo el perfil del terreno según lo revelan los sondeos de sísmica.

Los cuerpos de yeso presentes en ésta zona, como se mencionó anteriormente (litología y Unidad U_4) son estratos de yeso o laminillas de 1 cm de espesor, lo cual le da un carácter de impermeabilidad a la secuencia. De tal forma a pesar de que el yeso es un material soluble no representa un problema para la vida útil de la obra. Por otra parte se debe considerar que el sulfato que disuelva el agua al contacto con el yeso puede atacar químicamente las estructuras de concreto.

Se debe tener atención en la falla F_1 presente en ésta zona del eje de la cortina en margen derecha ya que es una zona de mayor -- permeabilidad y menor resistencia.

En la margen izquierda la unidad U_4 no presenta el abundante ye so presente en margen derecha, y la unidad U_5 se encuentra por debajo de la U_4 , hasta aflorar en la zona de la corona y cimacio del vertedor. El plegamiento que se encuentra en ésta ladera justo a la entrada del socavón 5 afecta al macizo rocoso, ya que por estar más fracturado éste es más permeable y la inclinación de los estra tos favorece a un posible flujo de agua hacia la zona de atagüa - aguas abajo.

Las dos cañadas que han disectado el terreno en ambos lados del eje de la cortina en ésta margen izquierda dan como resultado un espolón muy esbelto.

En éste espolón los estratos buzán hacia el río con intensidades de 30° a 40° y por la estrechez morfológica del terreno, la es tabilidad de la cortina en ésta zona podría presentar problemas. - Además de la estrechez morfológica en ésta ladera, se tiene la pre sencia de la falla F_2 .

Las rocas de las unidades U_4 y U_5 tienen diferente deformabilidad y por aflorar en la zona que corresponde al apoyo del corazón de la cortina, se deben de realizar consideraciones para el des -- plante de dicho corazón impermeable, tanto por la esbeltez del espolón como por las deformaciones diferenciales que puedan ocurrir en éste corazón arcilloso.

Atagüa Aguas Abajo

En ésta zona por el cambio de energía en el río, se desarrolla una planicie de inundación en la margen derecha de tal forma que en ésta margen la mayor parte de ataguía queda localizada sobre depósitos aluviales.

El barreno 39 realizado en el lecho del río, sobre el eje de la ataguía aguas abajo corto 11 m de espesor de acarreo, y posteriormente calizas arcillosas de la U₅, por cierto estas últimas exhiben muy buenos índices de recuperación y R.O.D.

En la margen izquierda existen afloramientos de las unidades U₄ y U₅ con buzamientos hacia aguas arriba y hacia afuera del taldud, esto favorece a la impermeabilidad que es de suma importancia en estas estructuras. En cuanto a la estabilidad de la ladera las inclinaciones de la estratificación (60°) restringen un posible deslizamiento ya que la ladera tiene menores inclinaciones.

Comentarios Adicionales

Es importante considerar si los acarreo ó depósitos aluviales serán removidos para el desplante de ésta estructura ya que se tendrán mejores condiciones de impermeabilidad y de resistencia, si la cimentación y apoyo de la cortina se encuentran sobre masarocosa. Aunado a esto los materiales aluviales pueden ser utilizados, con previo análisis granulométrico (S.U.C.S.), como materiales de construcción para filtro.

2) Obra de Desvío

La obra de desvío constará de 2 túneles de 11 m de diámetro, uno en la margen izquierda y otro para margen derecha, éste último será utilizado posteriormente como túnel de desfoque (ver dis-

posición de obras civiles capítulo II y plano geotécnico).

Para el túnel de desvío en la margen derecha que en su parte final será el túnel de desfogue, se hacen comentarios en el inciso (6) de pozos de oscilación y desfogue. Donde se menciona que es -- más conveniente excavar el túnel en el sentido; del portal de salida al portal de entrada ya que por excavarse en una masa rocosa de baja calidad (U_4) pueden haber deslizamientos si se realiza en el sentido contrario (ver figura 4.8).

En este túnel de desvío de la margen derecha como se observa en el plano de distribución de obras, existen dos cambios en la dirección del mismo. En el párrafo anterior se comenta la parte del túnel que servirá como desfogue, y tiene un rumbo de $S30^\circ W$. En la -- parte intermedia el Túnel está orientado en la dirección $S83^\circ W$, y en ésta parte la estratificación cruzará al Túnel en forma oblicua de la parte superior izquierda a la inferior derecha (en el sentido del flujo del agua) con buzamientos de 35° a 50° , esta situa -- ción hace que la carga sobre el Túnel (litostática) se concentre -- en lado Sur de la obra, lo cual puede causar problemas de estabili -- dad, si no se toman las medidas pertinentes (además y/o revestimi -- entos).

Para el tramo inicial y portal de entrada del Túnel de desvío -- en margen derecha el rumbo de la obra será de $N 40^\circ W$, por la acti -- tud de la estratificación favorece al desarrollo del Túnel en este sentido, además ésta características favorece la estabilidad para -- el corte del talud del portal de entrada.

El Túnel de desvío de la margen izquierda también tiene dos -- cambios en dirección, así existe un tramo en la dirección $S 3^\circ W$ a --

la entrada del mismo y sigue con ese rumbo hasta los 0 + 250 m - donde cambia su dirección a S 73°W, posteriormente a los 0 + 850 m tiene un viraje de 37° y sigue en la dirección N 70°W hasta su salida 0 + 922 m.

Este túnel será excavado en su mayor parte en la unidad U₅, y únicamente un tramo a partir del portal de entrada estará alojado en U₄. (según inferencia de Geología Superficial). Debido a la dirección del Túnel, este cortará casi en forma perpendicular la falla F₂ (fig. 4.9) lo cual es favorable, ya que solo será -- afectada por esta pequeña sección, si la dirección del Túnel tendiera a seguir el rumbo de la falla, las condiciones desfavorables de trabajo se tendrían en mayor tramo, ya que el material de relleno de esta falla es de baja calidad geomecánica.

En tal forma la mayor parte del túnel, estará alojada en la unidad U₅, que es de una masa rocosa de mediana a buena calidad.

De acuerdo a la información disponible a la fecha, se infiere que la posición estructural de los estratos conserva la misma actitud a lo largo de este túnel, con un rumbo de echado hacia el N-NW. Con inclinaciones de 35-50°, llegando a encontrar de 80° por la influencia de plegamientos locales,

En el tramo inicial el túnel cortará la estratificación perpendicular al rumbo de este, por tanto es conveniente realizar la excavación en sentido contrario del buzamiento, previendo que se encontrará un material de baja calidad por lo general. La parte del túnel que correrá en forma paralela al cauce del río, irá a rumbo de la estratificación por tanto la distribución de esfuerzos se concentrará en la pared izquierda (suponiendo que los -

esfuerzos horizontales insitu son iguales en todas direcciones).

El último tramo de éste túnel tiende a atravesar la estratificación casi perpendicularmente, y los buzamientos de ésta son en la dirección del flujo del agua. A pesar de que en ésta zona se tiene una roca de mediana a buena calidad, se debe tener en cuenta los posibles deslizamientos en el portal de salida del túnel ya que la estratificación buza hacia la cara del talud.

3) Obra de Toma y Tuberías de Presión

La obra de toma quedará alojada en la margen derecha en su mayor parte en la unidad U_3 . Roca de mediana calidad. Para ésta obra se realizarán cortes de más de 100 m de altura, y a primera instancia se observa que estos cortes de taludes no presentarán problemas graves de estabilidad ya que la estratificación buza hacia adentro de la ladera, por tanto no habrá salida libre de estos planos hacia las caras de los taludes (ver plano geotécnico y sección de la obra de toma).

Sin embargo será necesario realizar en etapas sucesivas del proyecto, exploraciones de mayor detalle en ésta zona para determinar con más exactitud las características geomecánicas de la roca y las características de las discontinuidades tanto en espaciamiento como forma y material de relleno, para así determinar si el macizo rocoso necesitará de algún tratamiento y en que medida (anclajes, bancas).

Las tuberías a presión estarán comprendidos dentro de la unidad U_4 , estos ductos que conducen el agua a las unidades generadoras deben de cumplir con ciertos requisitos de diseño ya que el fluido

circula a altas presiones, las cuales son transmitidas a la masa rocosa. De tal forma que cuando estos ductos esten vacíos la roca tratará de recuperar su estado original presionando sobre las paredes del túnel. Esta situación puede conducir a un fracturamiento intenso de la masa rocosa y a la falla de la tubería si no se toman las medidas adecuadas para su corrección.

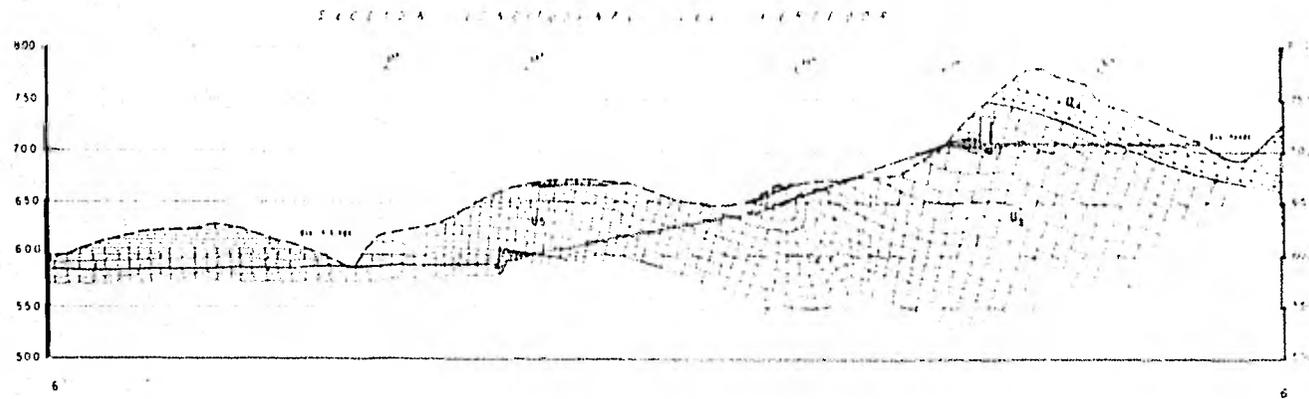
En la sección mostrada en la figura 4.8 se observa que el tramo de poca pendiente en el ducto, tiende a ir paralelo a la estratificación, por ésta razón el ducto correrá casi sobre un mismo paquete rocoso, y tendrá una concentración de esfuerzos en la pared izquierda. Por otra parte el tramo inclinado ó tubería o presión, -- cruzará casi en forma perpendicular a los planos de estratificación siendo esto una condición muy favorable puesto que estos actúan como soportes laterales del ducto.

4) Obra de Control y Excedencias

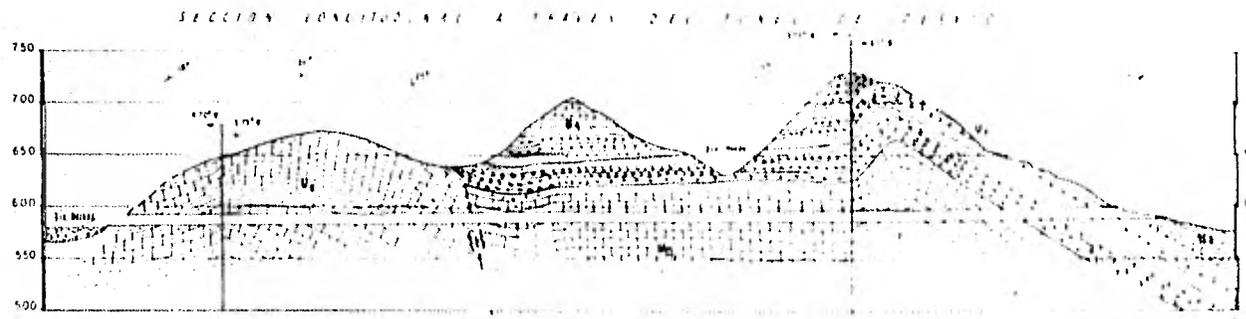
Parte del canal de llamada de ésta obra quedará alojado en la U₄, pero es la unidad U₅ la que abarca el área del actual diseño de la obra vertedora. Como se describió anteriormente en el inciso correspondiente a unidades geotécnicas la unidad U₅ es una roca de mediana a buena calidad.

El vertedor se puede diferenciar en dos zonas de acuerdo a la posición estructural de los estratos, la primera de ellas del cimso a la zona de transición y la segunda de la transición a la descarga del canal. (ver secciones de las obras, fig. 4.9).

En la primera de éstas zonas la estratificación buza en dirección contraria al flujo del agua, lo cual proporciona buenas condi



- LEYENDA**
- U₁** Manto de mediana calidad RMR 47. Constituido por la Formación Morelos y Manto Constituido de calizas, areniscas y lutitas.
 - U₂** Manto de mala calidad RMR 34. Constituido por areniscas, lutitas con yesos, y greses areniscas de color rojo en Morelos.
 - U₃** Manto de mediana buena calidad RMR 55-60. Constituido por calizas, lutitas y hámilas (aprox. 20% de la Formación de Morelos).



FACULTAD DE INGENIERIA
UNAM

Fig. 49. SECCIONES A TRAVES DEL VERTICE Y TUNEL DE DESVIO MARGEN IZQUIERDA

ciones geohidrológicas ya que los estratos no favorecen al paso del agua, esta condición a su vez parece no presentar problemas de estabilidad en las cortes del vertedor.

En el tramo comprendido entre la transición y la descarga de la obra vertedora la estratificación cambia su actitud, y tiende a seguir el rumbo del canal vertedor buzando hacia la pared derecha del mismo. Esta situación puede propiciar el flujo de agua a través de los planos de estratificación y con ello subpresiones que tiendan a levantar la estructura, así mismo esta condición puede propiciar -- problemas de estabilidad en la pared izquierda al realizar los cortes.

Los perfiles de sísmica de refracción revelan que existe una capa de 2-5 m de espesor de suelo, subyaciendo a ésta y aproximadamente hasta los 40 m de profundidad la roca está alterada y/o decomprimida, por debajo de esta las velocidades llegan a 4000 m/seg lo que corresponde a la unidad U₅.

5) Casa de Máquinas

En el actual diseño de Casa de Máquinas del P.H. Huixastla la caverna quedará alojada dentro de la unidad U₄, en la margen derecha (ver figura 4.10). A pesar de esto la zona que contiene abundante yeso no afectará el área de la caverna, según interpretaciones hechas en las secciones, esto será comprobado con el barreno que se tiene programado realizar en el eje de ésta casa de máquinas.

De acuerdo con la posición de los estratos el lado largo de la caverna está orientado a rumbo del echado de las capas, y el lado corto (paralelo al río) tiene la tendencia del rumbo de las capas.

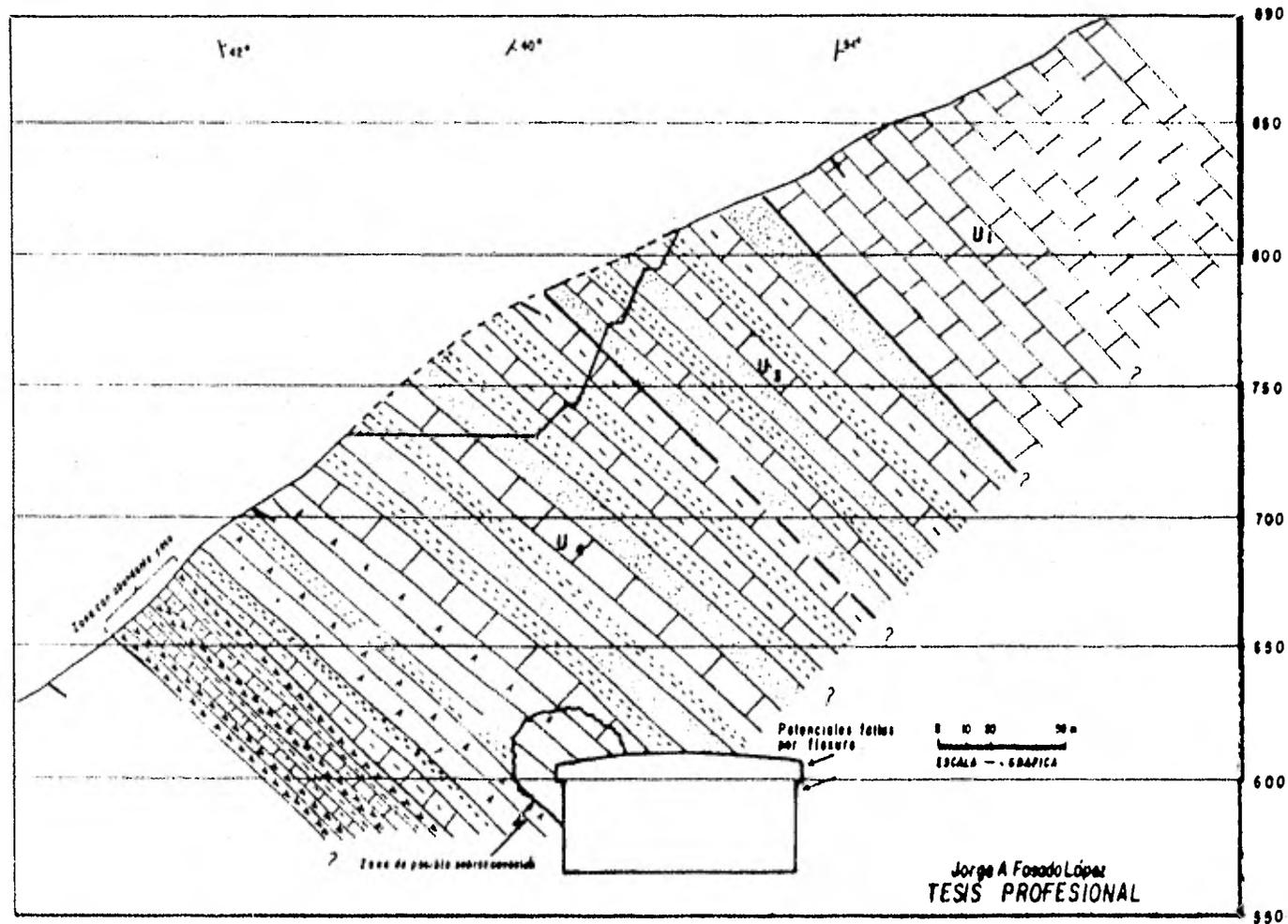


Fig. 4.10 Sección a través de la caverna de casa de máquinas y torre subestación

Se infiere de acuerdo a los datos de geología superficial que la intensidad de los echados será del orden de 50° .

De estas características mencionadas se pueden distinguir dos zonas que representan un potencial riesgo a la excavación ó estabilidad de la caverna. Primeramente en la parte superior del paño -- Sur y porción del techo adyacente a esta, puede ocurrir sobreexcavación si no se toman las medidas preventivas pertinentes, ya que los estratos buzan hacia el interior de la caverna y debido a la poca resistencia al corte de los materiales de la U_4 puede haber deslizamientos sobre los planos de estratificación. La otra situación riesgosa potencialmente ocurre en el ángulo superior del parámetro norte y techo, donde la posición de los estratos puede propiciar fallas de flexión en los mismos, al excavar la bóveda y dar oportunidad a la relajación de esfuerzos de la masa rocosa. Para esta última situación será necesario conocer, (en etapas posteriores) la dirección de los esfuerzos internos de la masa rocosa (medición de esfuerzos insitu).

Tratamientos de concreto lanzado y/o anclajes pueden evitar los 2 posibles problemas anteriormente mencionados, además el recubrimiento de las paredes protegerá contra el intemperismo a este material de la U_4 , que como ya se mencionó (unidades geotécnicas) existen paquetes con alta velocidad de intemperismo.

6) Pozos de Oscilación y Desfoques

Los pozos de oscilación ubicados a la salida de la casa de máquinas para el control de los fenómenos hidráulicos, caen dentro de la unidad U_4 . Los problemas que se mencionaron para casa de máquinas, de Socavación en el flanco Sur, y fallas de flexión en la-

zona de intersección del techo y pared Norte, también pueden presentarse en la excavación de estas obras ya que se presentan en la misma unidad y con la misma orientación con respecto a la estratificación.

Como se puede observar en el plano geotécnico, los túneles de desfogue en la actual disposición de las obras civiles tienen una orientación que es perpendicular al rumbo de la estratificación, y el buzamiento de esta es del orden de los 65° a 55° .

La dirección de ataque más conveniente para estos túneles es, de la salida del desfogue hacia los pozos de oscilación, y así se evitarán deslizamientos durante la excavación que se producirían seguramente, por la baja resistencia al corte del material de los planos de estratificación (yeso y arcilla) si se realizara en el sentido contrario ver figura 4.8

Hacia la salida de los túneles de desfogue la actitud de la estratificación favorece a los cortes, por tanto en base a estas observaciones se puede determinar preliminarmente que no habrá problemas de estabilidad en estos taludes.

G) MATERIALES DE CONSTRUCCION

En caso de que se decida la realización del Proyecto Hidroeléctrico Huixastla, se tendrán que efectuar en las etapas sucesivas estudios de mayor detalle para los bancos de materiales. De tal forma para las canteras, será necesario el precisar la calidad y el tamaño de los bloques; para los bancos de materiales granulares se tendrán que determinar granulometrías y contenido de finos, mi-

entras que para los bancos de arcilla será imprescindible el conocer los límites de consistencia.

Por ahora solo se mencionarán los posibles bancos, y su utilización como tales quedará sujeta a consideraciones posteriores.

1) Canteras

Las calizas de la Formación Morelos localizadas en la margen derecha, tanto aguas arriba como aguas abajo del eje 6, presentan muy buenas características para ser utilizadas como bancos de materiales. Estos materiales parecen también poder ser empleados para fabricación de cemento y agregados para concreto.

Para la construcción de la cortina se requirieran 915,000 M3 de enrocamiento (bloques 1 M3) y 10,200,000 M3 de rezaga (enrocamiento menor). Por conveniencia constructiva se prefiere que el banco de enrocamiento se localiza aguas abajo del sitio. De tal forma se propone como cantera a los afloramientos de calizas Morelos, localizados en la margen derecha y a un 1 km aguas abajo del sitio. Además de la buena calidad de la roca tiene la conveniencia de que el camino de acceso al proyecto para relativamente cerca. De un área de 160,000 M2 (400 X 400 M) se podrá obtener un volumen de 1.6 millones M3 si se explota ésta cantera hasta los 10 m de profundidad.

La denominada zona III (ver capítulo V) en la margen izquierda es inestable, por tanto se recomienda reducir la pendiente del terreno y utilizar este material como enrocamiento. En un calculo preliminar, el volumen resultante de reducir la pendiente a 25° sería de alrededor de 30 millones de M3 que excede en sobre manera los 10 millones requeridos para la cortina. Sin embargo estudios posterior-

res de la estabilidad del talud pueden reducir la cantidad necesaria por remover.

2) Bancos de Materiales Graduados

Los depósitos aluviales depositados por el río Balsas, formando playones y terrazas, contienen sedimentos del tamaño de boleos, guijarros y arena con algún contenido de finos. A primera instancia parecen poder ser utilizados como materiales de transición y filtros en la cortina, lo cual será comprobado con muestreos sistemáticos y análisis granulométricos.

Por otra parte la calizas Morelos podrían ser trituradas para algún caso particular, y así proporcionar los tamaños requeridos.

3) Bancos de Arcillas

Las lutitas y las arcillas como resultado de alteración de estas, que se encuentran en la Formación Mexcala representan los posibles bancos de arcilla y requeridos para la construcción de la cortina del P.H. Huixtla.

Aproximadamente a 3 km y 6 km aguas abajo del eje 6, y sobre la margen izquierda, los bancos de Esperanza y Apango, respectivamente por su morfología suave, su cercanía y volumen son los más recomendables. Los exámenes de mecánica de suelos revelarán la factibilidad de su utilización.

El banco de superficie aproximada de $1 \times 10^6 \text{ M}^2$, puede proporcionar 5 millones de M^3 si los primeros 5 m de espesor son explotables. El volumen requerido para el núcleo impermeable de arcilla es de 2 millones de M^3 .

En caso de ser necesario utilizar el banco de Apango que tiene una superficie aproximada de $8 \times 10^5 \text{ M}^2$, este podría proporcionar 4 millones de M^3 dentro de los primeros 5 m de profundidad.

CAPITULO V
ANALISIS DE ESTABILIDAD DE
LA MARGEN IZQUIERDA

A) PLANTEAMIENTO

1) Situación Actual

Aguas arriba de la alternativa 6 del P.H. Huixastla y sobre la margen izquierda del eje número 5, el macizo rocoso está intensamente fracturado la calidad geotécnica de la roca es pobre, lo que la hace poco recomendable para el desplante de obras civiles a menos que se tomaran las medidas correctivas pertinentes. Por otra parte ésta ladera es una zona potencialmente inestable, y por su cercanía con el eje 6 representa un riesgo para esta alternativa.

2) Origen

En esta zona del cañón de Huixastla, el anticlinal recostado -- del mismo nombre cambia su rumbo, lo cual provoca un fracturamiento radial en el macizo rocoso, además del cambio de actitud en la estratificación (ver plano Geológico del sitio).

En esta porción del cañón, el río Balsas labró su curso siguiendo el rumbo de la estratificación principalmente. Esto se aprecia al observar que el Balsas corre con un rumbo N 35°W aguas arriba -- de donde se localiza el actual eje 5, y al llegar a esta zona modifica su curso a la dirección S 80° W, lo que representa un viraje de 65°.

Con la posterior socavación que efectuó el Río Balsas, se formó la "nariz" morfológica que ahora encontramos en esta zona, desarrollándose un talud concavo en la margen derecha, y un talud convexo para la margen izquierda.

En la margen derecha el soporte lateral que proporcionan las paredes del talud concavo, conservaron la buena calidad física del macizo rocoso por estar sometido a compresión, en cambio en la margen izquierda ocurrió el caso contrario, ya que el talud convexo permitió el relajamiento lateral de esfuerzos, por tensión dando como resultado una masa rocosa muy fracturada.

La singular morfología que presenta esta nariz, hace suponer -- que han ocurrido deslizamientos en el pasado, tratando de encontrar su equilibrio natural, sin embargo aun existe el riesgo de falla, y a continuación se realiza una evaluación de este.

B) CARACTERISTICAS DEL MACIZO ROCOSO

1) Litología

La nariz encontrada en esta margen izquierda del eje 5, esta constituida principalmente de calizas de la Formación Morelos, encontrándose el contacto con la Mezcala de los 560 a los 600 m.s.n. m. Los estratos de lutitas y limolitas (U₁) se encuentran a las elevaciones 560m - 520m según los barrenos 4 y 11, los cuales indican que dicho paquete Sedimentario esta abajo del nivel de socavación del río (580m).

Las calizas arcillosas y limolitas rojas de la Formación Mezcala afloran aguas arriba del eje 5, en la denominada zona III (ver figura 5.1) y el barreno 31, ubicado en esta zona las cortó a la elevación 600 m.

Dentro de la clasificación geomecánica para masas rocosas, de Bieniawski (1974), este macizo rocoso queda incluido en la clase IV, es decir una roca de calidad pobre, y en este trabajo se le denomina como unidad geotécnica U₂. A pesar de que la roca intacta -

Jorge A. Fosado López
TESIS PROFESIONAL

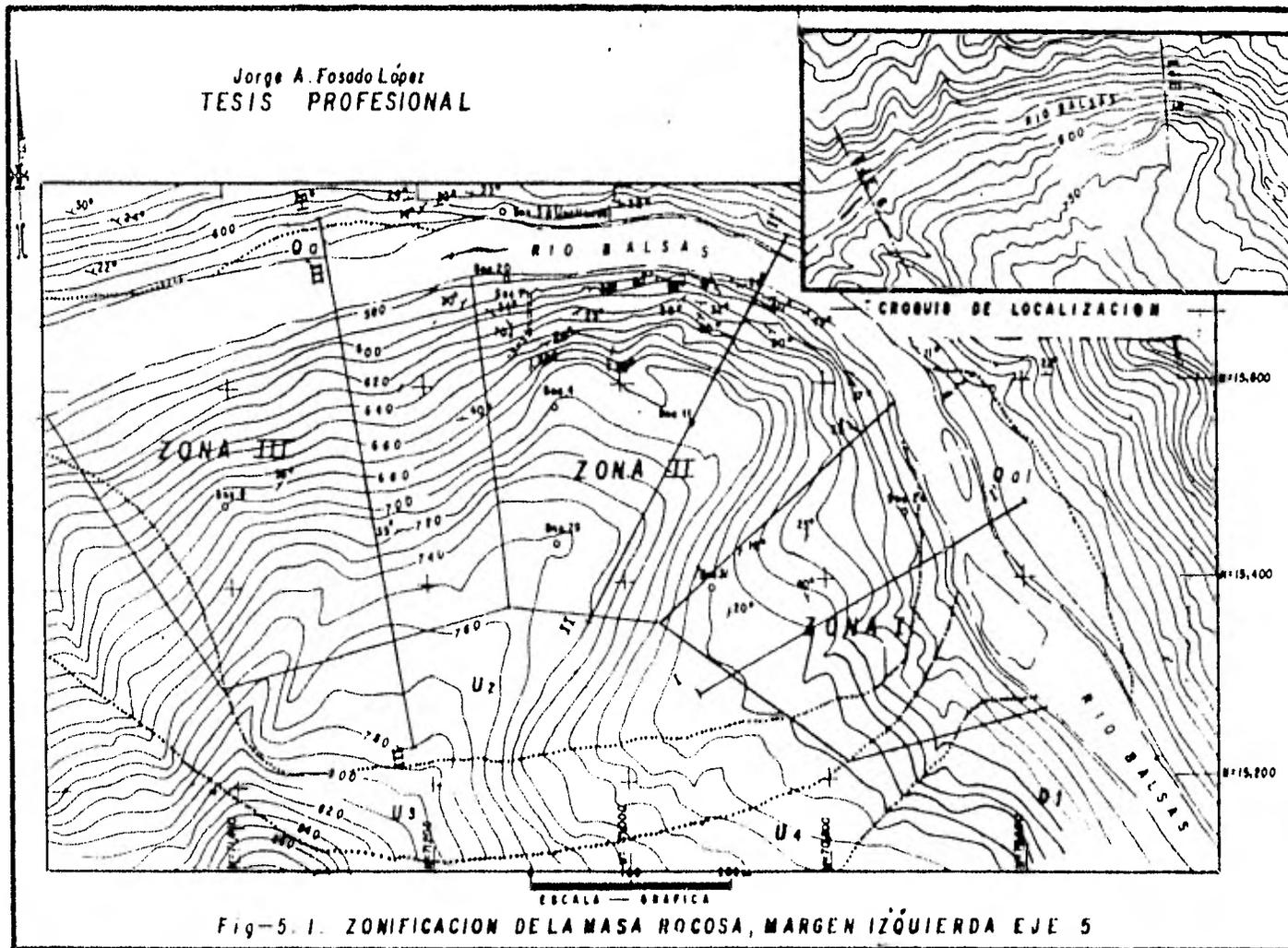


Fig-5. I. ZONIFICACION DE LA MASA ROCOSA, MARGEN IZQUIERDA EJE 5

tiene buena resistencia, el fracturamiento intenso y las características de las discontinuidades reducen notablemente el "Rock Mass Rating" R.M.R. (Bieniawski 1974, Goodman 1980).

2) Zonificación

La actitud de la estratificación tiene variaciones locales en esta "nariz" de la margen izquierda y se pueden diferenciar 3 zonas según la orientación de los estratos (ver figura 5.1). Al borde oriental de la nariz se le denominará para este trabajo como zona I. En ella la estratificación tiene una tendencia general de N 30°W - 30°NE.

A la porción central de la nariz, se le designó como zona II, y en esta la estratificación tiene un rumbo general N 85°W con buzamiento hacia el SW y una inclinación de 30°-60°.

En la zona III, que forma el borde occidental de la nariz, la estratificación tiene una orientación N 65° E + 5° y una inclinación de 30° - 40° hacia el NW. En esta zona es donde se encuentran los taludes más altos.

3) Discontinuidades.

Las discontinuidades que afectan a la masa de roca que forma la nariz, además de los planos de estratificación antes mencionados, son los sistemas de fracturamiento alfa (α) y beta (β), definido anteriormente (Capítulo V, Inciso B.3)

En esta porción el sistema alfa tiene una tendencia general en su orientación de N 15° E y buzamiento de 74° NW, teniendo variaciones, y se llegan a encontrar fracturas en las direcciones N-S a N 10° W con inclinaciones de 70° NE.

El sistema beta presenta una actitud general N 60°W - 62°NE con ligeras variaciones en el rumbo del orden de 10°.

Asociadas al sistema α , se desarrollaron algunas fallas normales, con esta misma orientación. Como se menciona en el capítulo anterior estas discontinuidades son poco rugosas, y tienden a ser superficies planas, el material de relleno generalmente de 5 cm de espesor, está constituido de arcilla y calcita, y para las fallas y fracturas mayores, el relleno consiste de material brechoide bien cementado.

4) Nivel Freático

Debido a la alta densidad del fracturamiento, la masa rocosa se encuentra bien drenada, lo cual es corroborado por las altas permeabilidades y bajos niveles freáticos encontrados en barrenos. Esta es una característica importante, para el comportamiento de la ladera.

C) CONSIDERACIONES PARA EL ANALISIS

1) Parametros

En la estabilidad de taludes rocosos las discontinuidades juegan un papel de suma importancia ya que representan las potenciales superficies de falla, y de acuerdo con su posición estructural y las características de las mismas, quedarán definidas las condiciones de estabilidad de la masa rocosa.

La representación de las discontinuidades en la red estereográfica de igual área (Schmidt Net) permitió conocer la distribución de los diferentes sistemas, existentes en la zona en estudio. Así mismo se logró zonificar la "Nariz" de acuerdo a la actitud de dichas-

discontinuidades.

Los parámetros de resistencia (fricción y cohesión) en los planos de discontinuidad han sido asumidos con base en valores contenidos en la literatura, ya que el proyecto aún esta en una etapa preliminar y no se han realizado pruebas para su determinación. Sin embargo estos valores permiten realizar una evaluación aceptable y por ser relativamente conservadores caen dentro del lado de la seguridad.

En general el ángulo de fricción ϕ considerado para las fracturas fue de 30° , teniendo en cuenta que en ocasiones puede ser mayor, en particular si las fracturas son cerradas y rugosas. Para la estratificación se consideraron valores de 10° y 15° . Cuando la zona resulto ser crítica en cuanto a estabilidad, se efectuaron los cálculos con diferentes valores de ϕ para detectar como variaba el factor de seguridad con respecto a ϕ y así establecer las zonas que requerirían de una mayor investigación, posiblemente mediante la ejecución de pruebas de campo para determinar los valores reales del ángulo de fricción.

Por no contar con valores medidos y por tratarse de una evaluación preliminar de la estabilidad, la cohesión se considera nula, de cualquier manera se debe tener en mente que las fuerzas resistentes y por tanto el factor de seguridad deben de ser un poco mayores que para el caso puramente friccionante lo cual representa una ventaja adicional dentro del margen de Seguridad.

Por otra parte debemos de considerar el efecto que producirían en la estabilidad de la ladera las fuerzas hidrostáticas debido a la presencia de agua subterránea en las fracturas; y la fuerza in-

ducida por un sismo, ya que estas aumentan las fuerzas actuantes - y/o reducen las fuerzas resistentes; de tal forma que, si un talud es estable bajo la acción de las fuerzas de la gravedad únicamente (peso propio), puede resultar ser inestable con el ascenso del nivel freático, o por la ocurrencia de algún sismo.

Como se mencionó anteriormente los niveles freáticos registrados en esta margen son muy bajos, y los altos valores de permeabilidad hacen suponer que el macizo rocoso está bien drenado y por tanto existe poca posibilidad de un aumento en el nivel freático.

A pesar de lo anteriormente dicho y con el fin de conocer la variación del factor de seguridad debido a la presencia de fuerzas hidrostáticas, se asumió que la ladera puede saturarse con el llenado del vaso, y que, posteriormente al variar, el nivel del embalse durante la operación de la planta, las laderas pueden permanecer saturadas. El mayor nivel freático posible será cuando el embalse este al Nivel de Aguas Máximo Extraordinario (NAME 728 m) y se efectúe un vaciado rápido de la presa hasta el nivel de descarga de fondo (670 m), esta condición es poco probable que se presente, pero se analiza por ser la más desfavorable. (El NAMINO es a los 690 m).

De acuerdo con la geometría del talud y con la inclinación de las posibles superficies de falla, la cara superior del talud quedará aproximadamente a los 770 m, y por tanto la máxima altura del agua H. Sería de 100 m (770-670 m, ver figura 5.3).

Con base en la experiencia y estudios realizados dentro de la ingeniería sísmica se considera que los sismos con magnitud mayor de 5 (Ritcher) representan un riesgo potencial para las estructu -

ras (Housner G.W. 1970).

De acuerdo con la información de sismicidad del estado de Guerrero (Instituto de Ingeniería UNAM) existen 3 epicentros en un radio de 100 km alrededor del sitio del P.H. Huixastla, los cuales tienen magnitudes entre 7-7.5 (R); y en un radio de 200 km existen 6 epicentros (sin contar los 3 anteriores) con magnitudes entre 6-7.5 -- (R). (Instituto de Ingeniería UNAM).

De lo anterior se observa que los sismos que pudieran ocurrir -- dentro de un radio de 100 km con magnitud de 7 en la escala de Richter, representan el mayor riesgo. Housner (1970) ha encontrado que sismos de magnitud 7 (R) originan aceleraciones en el terreno de -- 0.37g en el epicentro y de 0.15g a 50 km del mismo.

En este análisis se considera como valor máximo de aceleración - inducido al terreno por un sismo $K=0.15g$. Este valor puede afinarse mediante estudios de riesgo sísmico, con datos instrumentales. Sin embargo se considera apropiado ya que es el mismo que se está utilizando en el proyecto de El Caracol, próximo relativamente al sitio de Huixastla.

2) Metodo

Primeramente se recabó información geológica de observaciones y mediciones realizadas en campo, esto con el fin de determinar calidad y tipo de roca, así como las estructuras presentes en la masa rocosa. Seguido a esto se representaron las discontinuidades en estereogramas (red de igual área) para conocer la distribución y actividad de los sistemas de discontinuidades. De esta forma se diferenció el macizo rocoso en 3 zonas de acuerdo a estos sistemas. (consultar inciso B.3 de este capítulo).

Posteriormente se realizó una evaluación preliminar para cada zona con base a los sistemas de discontinuidades presentes en cada una de ellas y asumiendo valores para el ángulo de fricción ϕ . Las zonas que resultaron ser críticas en este análisis preliminar fueron sujetas a un estudio de mayor detalle para conocer el comportamiento del factor de seguridad f_s , al variar los diferentes parámetros que influyen en la estabilidad. Con los resultados obtenidos en este análisis se pudieron construir gráficas que muestran la sensibilidad del factor de seguridad, y así poder evaluar el riesgo, y la importancia de los diferentes parámetros para la estabilidad dada una circunstancia específica. Por otra parte se pueden recomendar o sugerir las posibles soluciones a la inestabilidad.

Análisis Preliminar

En este trabajo se realiza la evaluación preliminar de la estabilidad con base a 2 tipos de representaciones en la red estereográfica, y por medio de un cálculo simple del factor de seguridad para las diferentes cuñas formadas por los planos de discontinuidad.

El primer tipo de representación en la red estereográfica (igual ángulo) consiste en marcar los polos de las discontinuidades y alrededor de cada polo indicar el ángulo de fricción ϕ asumido para cada plano. Esto da como resultado un círculo que representa, en tercera dimensión, al cono de fricción del plano en cuestión. Con la construcción de los conos de fricción para cada plano se delimitan las zonas de estabilidad e inestabilidad, para las cuñas formadas por los planos en cuestión. (Hendron et al 1971, Goodman R - 1980).

Por medio de este método gráfico se puede conocer la dirección-

y tipo del posible deslizamiento, de acuerdo con la posición de la fuerza actuante resultante sobre la cuña. A su vez este método permite visualizar, en función de la orientación y geometría del talud, si el deslizamiento es posible tanto geoméricamente como cinemáticamente, ya que si no se cumple alguno de estas condiciones, no habra falla del talud.

Este tipo de representación es útil para conocer los tipos de falla que podrían ocurrir, y la dirección e inclinación de los mismos. Así mismo proporciona una visualización rápida de las condiciones de estabilidad.

El segundo tipo de representación en la red estereográfica (Hoek E., Bray J 1974) consiste en representar las intersecciones de los planos de discontinuidad, la orientación y geometría del talud. Así mismo se deben representar los polos de los planos de discontinuidad, ya que con ellos pueden identificarse deslizamientos potenciales en un plano o bien fallas por volteo.

Posteriormente se procede a un cálculo simple del factor de seguridad para cada una de las cuñas formadas por los sistemas de discontinuidades, como se explica más adelante. El valor del factor de seguridad obtenido se indica en la red estereográfica, en la intersección que le corresponde, y así se puede visualizar que discontinuidades representan un posible riesgo de falla, de acuerdo a la orientación y geometría del talud.

Con base en la experiencia y a la comparación de resultados, Hoek y Bray, aseguran que, el factor de seguridad obtenido en este cálculo simple, basado únicamente en la relación geométrica que guarden los planos que forman la cuña y en el ángulo de fricción -

interna ϕ de cada plano; es por lo menos el doble del valor del factor de seguridad calculado con todas las variables, en que tanto las fuerzas hidrostáticas como las inducidas por sismo afecten la estabilidad.

Suponiendo que lo anterior se cumple, los factores de seguridad cuyo valor sea mayor de 2 no necesitarán de mayor investigación, ya que este factor F_s será mayor a 1 inclusive en las condiciones más desfavorables.

La ecuación utilizada para efectuar el cálculo antes mencionado, se denominará como ecuación (1) y fue tomada del libro de Hoek y Bray, 1974.

Ecuación (1)

$$F_s = A \tan \phi_A + B \tan \phi_B \quad (1)$$

Donde:

A y B: son los factores por la posición geométrica de los planos A y B que forman la cuña.

ϕ_A y ϕ_B son los ángulos de fricción interna de los planos A y B respectivamente.

Esta ecuación por tratar un caso puramente friccionante, es un caso particular de la ecuación general, propuesta por los mismos autores.

Ecuación (2)

$$F_s = \frac{3}{\gamma H} (cA.X + cB.Y) + (A - \frac{\gamma W}{2\gamma} . X) \tan \phi_A + (B - \frac{\gamma W}{2\gamma} . Y) \tan \phi_B \quad (2)$$

El primer término de esta ecuación es función de la cohesión, el segundo y tercer términos son los que aparecen en la ecuación-

(1) en forma reducida, ya que en la ecuación (1) no se toma en cuenta el peso específico de la roca, las fuerzas hidrostáticas $f(\gamma W)$ y tampoco la geometría del talud que esta representada por los factores "X" y "Y".

Los factores geometricos A y B que aparecen en ambas ecuaciones-están definidos por las expresiones:

(Hock y Bray, 1974).

$$A = \frac{\cos P_a - \cos P_b \cdot \cos \theta_{na, nb}}{\sin P_I \cdot \sin^2 \theta_{na, nb}} \quad (3)$$

$$B = \frac{\cos P_b - \cos P_a \cdot \cos \theta_{na, nb}}{\sin P_I \cdot \sin^2 \theta_{na, nb}} \quad (4)$$

Donde:

P_a = ángulo de buzamiento del plano A

P_b = ángulo buzamiento del plano B

P_I - ángulo de inclinación de la línea de intersección

$\theta_{na, nb}$ = ángulo que forman los polos de los planos A y B

El interesado en el desarrollo matemático de estas ecuaciones -- puede consultar el apéndice III del libro de Hoek y Bray cuya referencia se encuentra en la bibliografía.

Para el cálculo del factor de seguridad f_s , a partir de la ecuación (1) existen ya tablas que proporcionan los valores de A y B, - en función del buzamiento de ambos planos y del ángulo que forman - entre ellos.

Evaluación Cuantitativa.

Del análisis preliminar antes mencionado, únicamente la zona III

reflejó posible inestabilidad. El tipo de falla que podría presentarse sería a través de una superficie plana.

Por lo tanto únicamente se realizó una evaluación más detallada de la zona III, en esta evaluación se obtuvo el factor de seguridad para diferentes condiciones. El modelo considerado se muestra en la fig. 5.2 y considera como potencial superficie de falla un plano.

Este modelo propuesto por Hoek y Bray (1974) se basa en la ecuación (5).

$$F_s = \frac{cA + (W(\cos \psi_p - K \text{Sen} \psi_p) - U) \tan \phi}{W (\text{sen} \psi_p + K \text{Cos} \psi_p)} \quad (5)$$

Donde:

c = cohesión

ϕ = ángulo de fricción

W = peso

ψ_p = ángulo de la superficie de falla.

K = coeficiente sísmico

U = fuerza hidrostática.

En este análisis en que no se considera la cohesión, la ecuación del modelo queda de la forma.

$$F_s = \frac{(W (\cos \psi_p - k \text{Sen} \psi_p) - U \tan \phi)}{W (\text{sen} \psi_p + K \text{Cos} \psi_p)} \quad (6)$$

La expresión para obtener la fuerza hidrostática es:

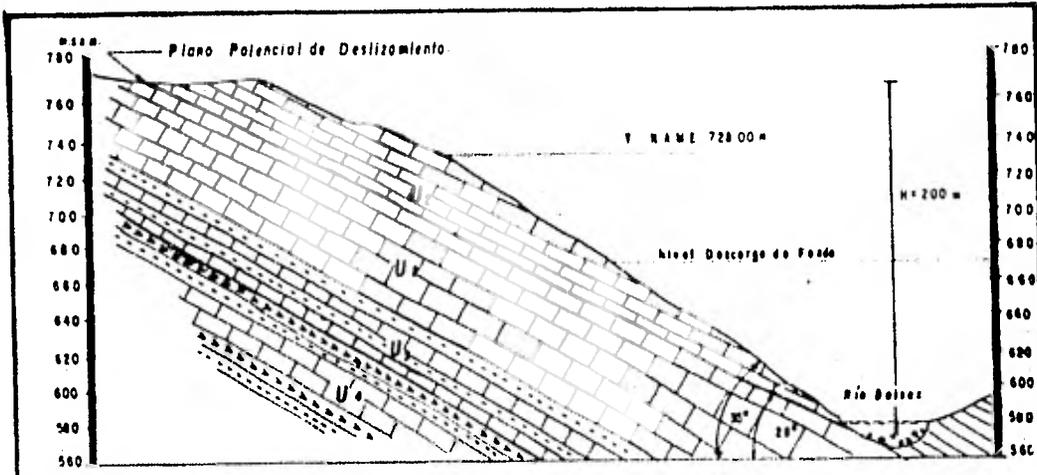
$$U = \frac{1}{4} \gamma_w \cdot H^2 \text{Cosec} \psi_p \quad (7)$$

Donde:

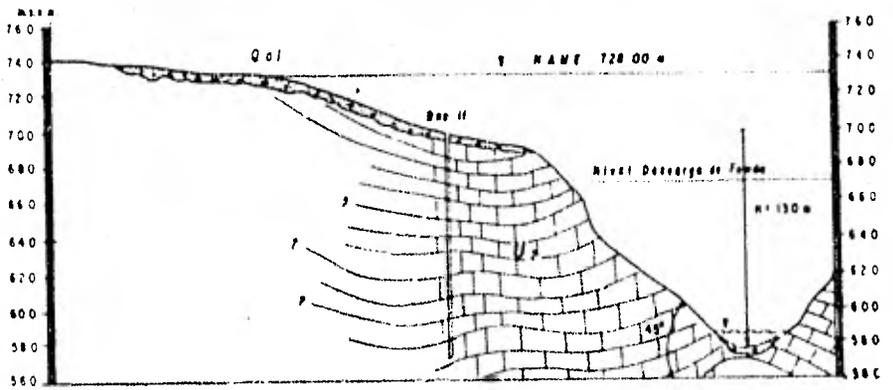
γ_w = Peso específico del agua

La ecuación para obtener W es:

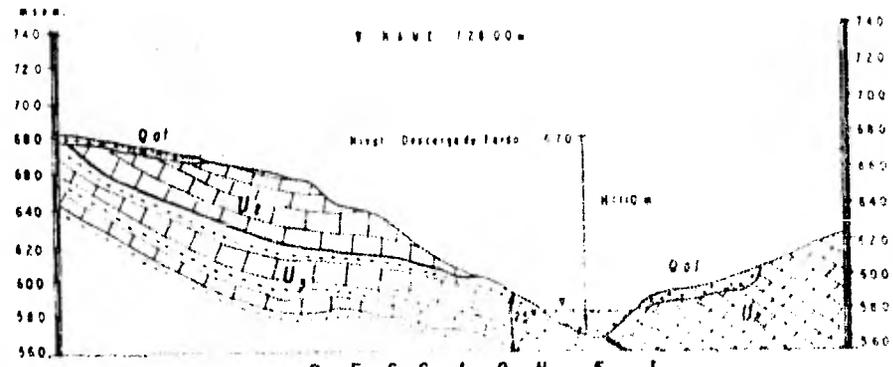
$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 (\cot \psi_p - \cot \psi_f) \quad (8)$$



S E C C I O N 5 III



S E C C I O N 5 II



S E C C I O N 5 I

Fig 53. SECCIONES A TRAVÉS DE LAS ZONA I, II, III MARGEN IZQUIERDA

Jorge A. Fosado López
 TESIS PROFESIONAL

De acuerdo con lo anterior con la ecuación (6) se procede al -- cálculo del factor de seguridad f_s , para diferentes valores de los variables, para posteriormente obtener las gráficas de sensitivi - dad que se muestran en la figura 5.8 .

D) EVALUACION DE LA ESTABILIDAD

1) Evaluación de la Zona I

Esta zona que forma el extremo oriente de la nariz tiene las si - guientes características.

Rumbo General del Talud	<u>N 35° W.</u>
Inclinación del Talud	<u>27°</u>

<u>Discontinuidades</u>	<u>Actitud</u>	<u>ϕ</u>
Sistema Alfa (α)	N 15°E-74° NW + 30°	
Sistema Beta (β)	N 60°W-62° NW + 30°	
Estratificación	N 30°W-28° NE + 15°	

Procediendo al cálculo de los factores de Seguridad, para las - cuñas formadas por estas discontinuidades, según ecuación (1) caso puramente friccionante.

$$F_s = A \tan \phi_A + B \tan \phi_B - - - - (1)$$

a) F_s ; para la cuña formada por la intersección de los planos E y α

	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION</u>
$F_s = E \tan \phi_E + \alpha \tan \phi_\alpha$	E	N30° W	28°
$F_s = 2.5 \tan 15^\circ + 0.8 \tan 30^\circ$	α	<u>N15° E</u>	<u>74°</u>
$F_s = 1.13$	DIFERENCIA	45°	46°

b) F_s ; para la cuña formada por la intersección de los planos E y -

P

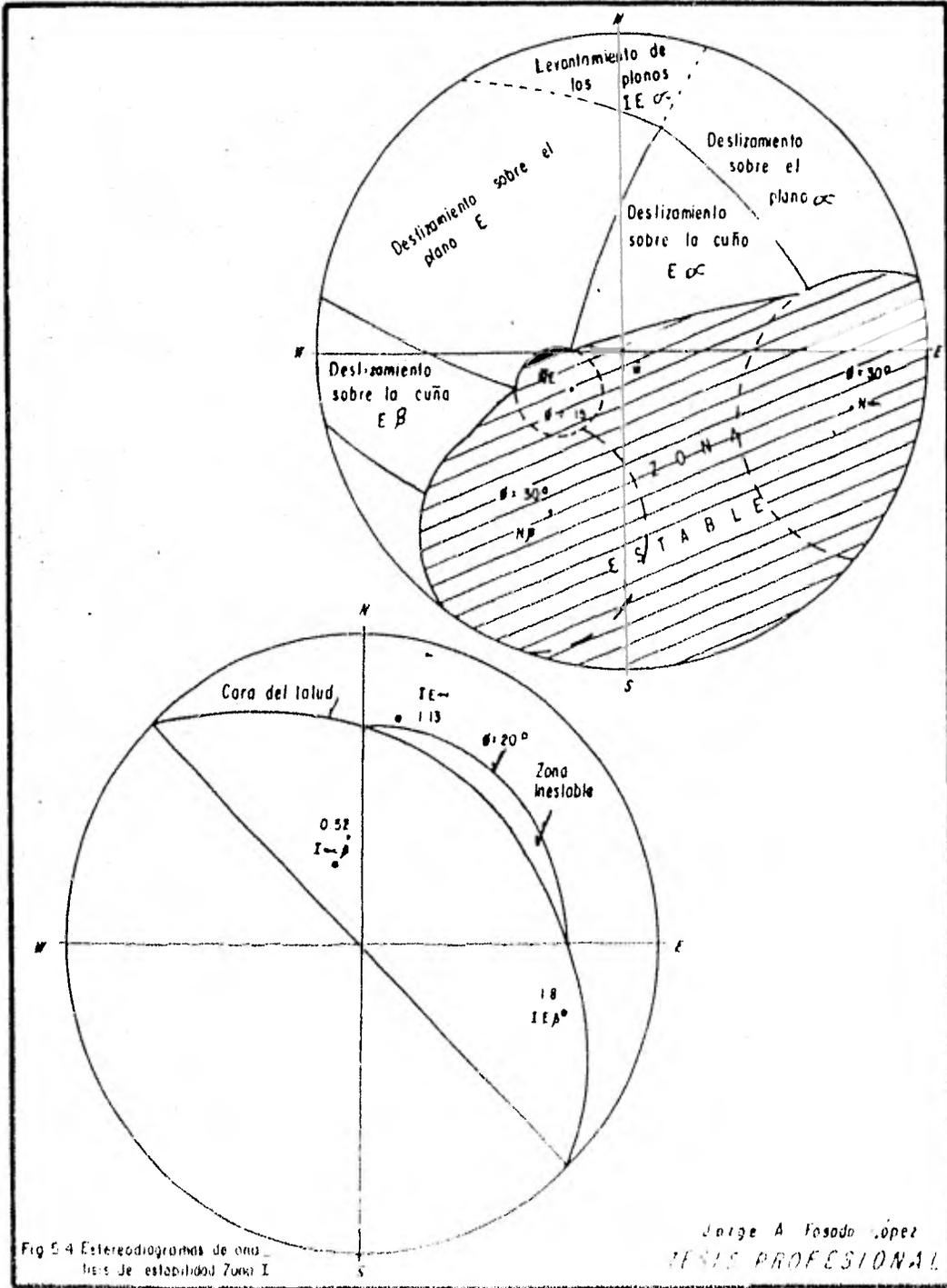


Fig 5.4 Estereodiagramas de zona -
 lices de estabilidad Zona I

Jorge A Fosado López
 TESIS PROFESIONAL

$F_s = E \tan \phi_e + \beta \tan \phi_\beta$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION.</u>
$F_s = 3.4 \tan 15^\circ + 1.6 \tan 30^\circ$	E	N50°W	28°
$F_s = 1.81$	β	<u>N60°W</u>	<u>62°</u>
	DIFERENCIA	30°	34°

c) F_s ; para la cuña formada por la intersección de los planos α y β

$F_s = \beta \tan \phi_\beta + \alpha \tan \phi_\alpha$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION.</u>
$F_s = 0.7 \tan 30^\circ + 0.2 \tan 30^\circ$	β	N60°W	62°
$F_s = 0.52$	α	<u>N15°E</u>	<u>74°</u>
	DIFERENCIA	75°	12°

La figura 5.4 representa gráficamente por medio de la proyección estereográfica las condiciones del talud en la zona I. Como se puede observar las líneas de intersección I e IE, no tienen salida libre a la cara del talud, lo cual restringe un posible movimiento a través de estas. Por otra parte los factores de seguridad indican que el único deslizamiento eminente bajo estas condiciones ocurriría si la cuña de los planos α y β tuviera una salida libre a la cara del talud.

El factor de seguridad de la cuña E α , $F_s=1.13$ bajo fuerzas externas podría ser reducido hasta alcanzar condiciones de inestabilidad, sin embargo el rumbo del buzamiento del talud y el rumbo de la línea de intersección E α forman ángulo mayor de 20° y esta característica geométrica no permitirá un deslizamiento en tal dirección.

Otra característica importante que se aprecia en esta zona, es que el rumbo del talud casi coincide con la actitud de la estratificación por lo que esta podría ser una superficie de falla. Debido a que las limolitas de la Formación Mezcala afloran en esta zo-

na y a que los echados del talud y la estratificación son semejantes, hace suponer que esta fue una superficie de deslizamiento, es decir que este talud ha buscado su estabilidad natural y en un pasado han existido deslizamientos de este, lo cual es reflejado por el perfil truncado que muestra la ladera y por los depósitos de talud encontrados en ella.

De lo anterior se puede concluir que esta zona es estable, puesto que los deslizamientos a través de cuñas no son factibles, además el talud muestra ahora poca inclinación, casi igual a la del buzamiento de la estratificación nulificando así un posible deslizamiento en el plano.

Por lo antes expuesto este análisis preliminar refleja que no existieran problemas de estabilidad en la zona I, y por esto no es necesario pasar a un estudio más detallado en ella.

2) Evaluación de la Zona II

La zona II es la que forma la parte central de la "Nariz", y es donde ocurre el cambio transicional en la dirección de los taludes formándose así el talud convexo en esta margen izquierda.

Como se ha descrito con anterioridad, la masa rocosa en esta zona es de mala calidad, y esta intensamente fracturada, pese a ello el talud llega a alcanzar 120 m de altura con pendientes de hasta 50°; y a continuación se muestra porque este talud aún sigue estable.

Los parámetros para esta zona son:

Rumbo general del talud - N 40° W - ESTE

N 55° W - CENTRO

N 75° W - OESTE

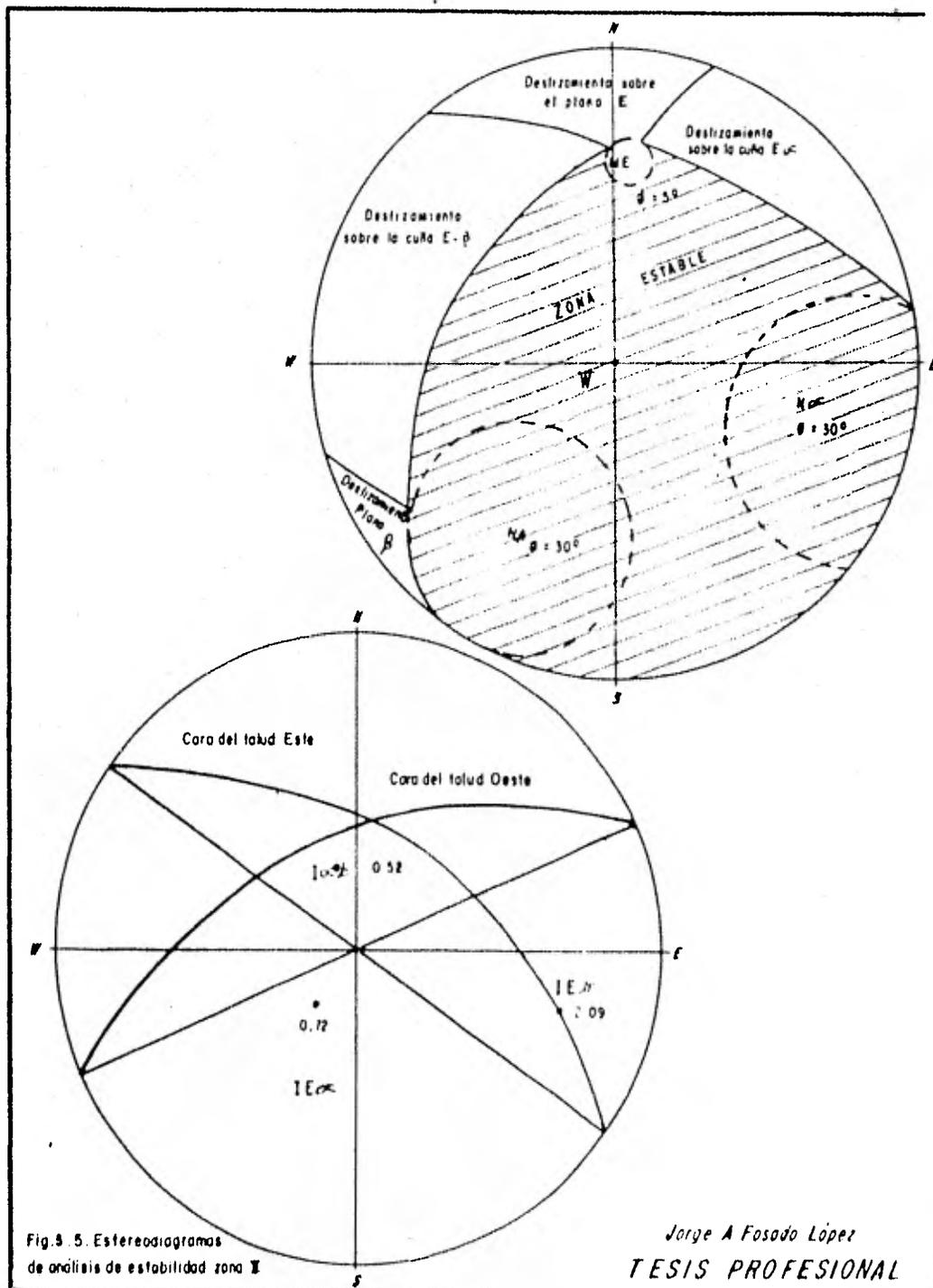


Fig. 3. 5. Estereodiagramas de análisis de estabilidad zona II

Jorge A Fosado López
 TESIS PROFESIONAL

Inclinación del Talud - 45° - 50 °

<u>Discontinuidades</u>	<u>Actitud</u>	<u>ϕ</u>
Sistema Alfa	N 15°E - 74°NW	30°
Sistema Beta	N 60°W - 62°NE	30°
Estratificación	N 84°W - 22°SW	10°

Para el cálculo de F_s para casos donde solamente interviene ϕ , - para fallas a través de cuñas se tiene la ecuación.

$$F_s = A \tan \phi_a + B \tan \phi_B \quad (1)$$

a) F_s para la cuña formada por la intersección de los planos E y

$F_s = E \tan \phi_e + \alpha \tan \phi_\alpha$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION</u>
$F_s = 2.8 \tan 10^\circ + 0.4 \tan 30^\circ$	E	N 84° W	22°
$F_s = 0.72$	α	N 15° E	74°
	DIFERENCIA	109°	52°

b) F_s para la cuña formada por la intersección de los planos E y

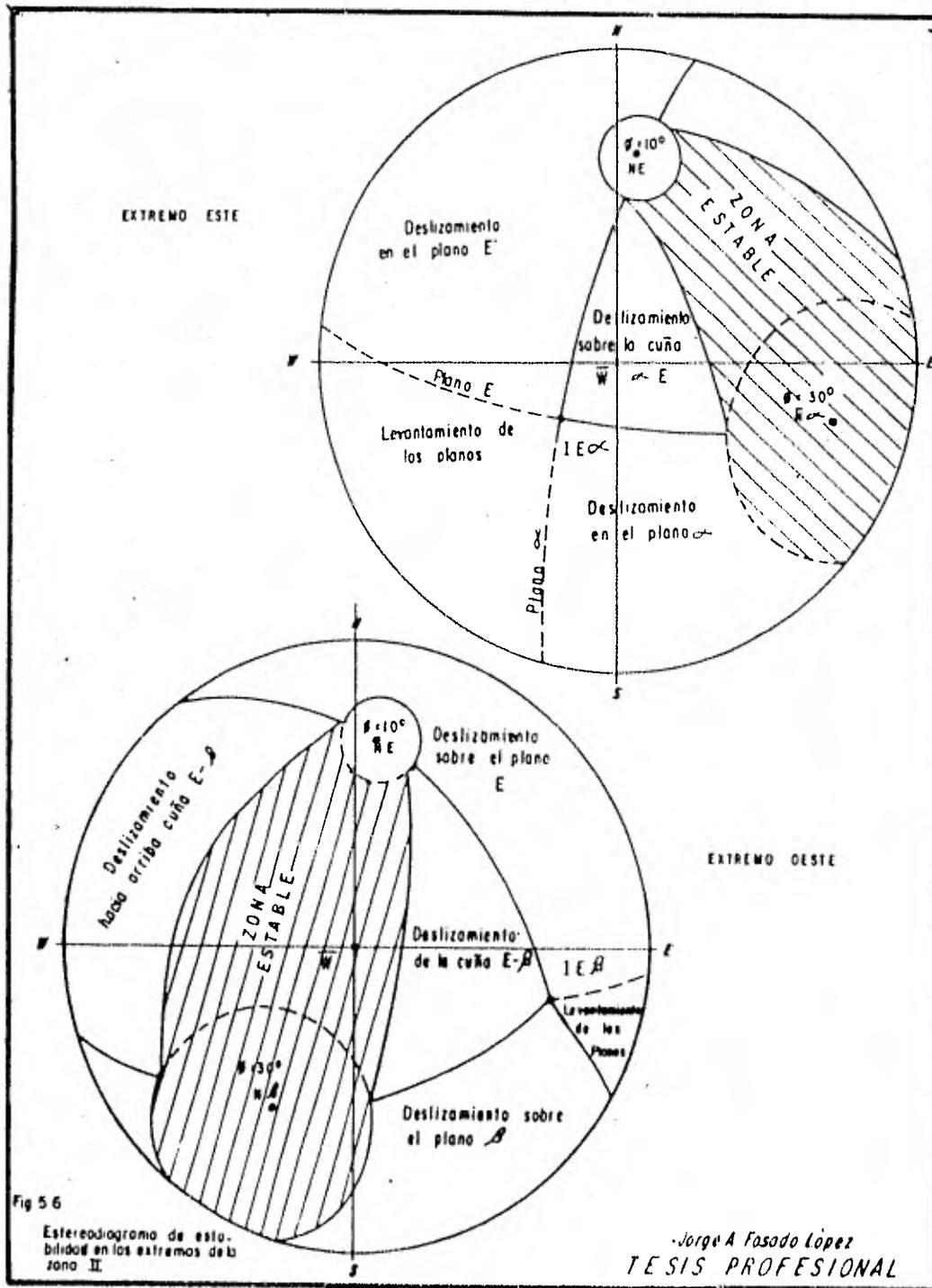
$F_s = E \tan \phi_e + \beta \tan \phi_\beta$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION</u>
$F_s = 5 \tan 10^\circ + 2.1 \tan 30^\circ$	E	N 84° W	22°
$F_s = 2.09$	β	N 60° W	62°
	DIFERENCIA	24°	40°

c) F_s para la cuña formada por la intersección de los planos α y β

IDEM ZONA I

$$F_s = 0.52$$

En la figura 5.5 se muestra la representación gráfica de la zona II por medio de la red estereográfica (igual ángulo) y a primera instancia se aprecia que el hecho de que los estratos buzen ha-



cia adentro del talud le proporciona gran estabilidad a pesar de - que la masa rocosa este muy fracturada.

Tal es el caso que aunque el valor de $\beta = 5^\circ$ el talud continuaría siendo estable, ya que la posición estructural de la estratificación controla en gran parte la estabilidad.

En realidad ninguna de las líneas de intersección de las cuñas formadas, por estos sistemas de discontinuidades tiene salida libre a la cara del talud, teniendo en cuenta que este último varía en rumbo en esta zona. Además se puede apreciar que únicamente las cuñas α β y E α tendrían opción a deslizar, puesto que el factor de seguridad F_s E $\beta = 2.09$ lo cual refleja estabilidad en esta cuña incluso bajo condiciones muy desfavorables.

Este caso muestra un claro ejemplo de como los sistemas de discontinuidades con dirección de buzamiento opuesta entre si proporcionan estabilidad a la masa rocosa, esto se observa en la proyección estereográfica que muestra los conos de fricción y la distribución de la zona estable (fig. 5.4). Esta situación no se conserva cuando alguno de los planos sale del talud, y entonces pierde el supuesto apoyo el plano contrario.

Hacia la parte oriente del talud convexo, el plano del sistema α sale del macizo rocoso mientras que a la parte poniente se pierde el apoyo del plano β en cierta porción de la cara del talud. La figura 5.6 muestra como se reduce la zona estable al faltar alguno de estos planos, pero debido a la geometría del talud y a la posición de las discontinuidades no hay riesgo de deslizamiento, ya que únicamente la cuña EB podría tener salida en la parte Oriente del talud pero F_s E $\beta = 2.09$.

Cabe mencionar que en el Socavón exploratorio número 1 que se realizó en ésta zona, se registraron caídos a través de las cuñas α B y E α , ya que la excavación les permitió una salida libre y su factor de seguridad es inferior a 1.

A partir de este análisis preliminar podemos concluir que debido a la geometría y orientación del talud así como a la posición estructural de la estratificación esta zona es estable y únicamente podrían existir deslizamientos de pequeños bloques por la cuña α β cuando la pendiente fuera mayor a 76° lo cual no se presenta en el talud.

Por otra parte en el estereodiagrama de fracturamiento de la Formación Morelos (Fig. 4.8) en esta margen izquierda se observan algunas fracturas que tienen echados de 90° , lo cual podrían causar fallas tipo Toppling si la pendiente del talud en la parte superior es muy pronunciada (mayor a 70°). Pero nuevamente como se menciona en el párrafo anterior es difícil que se presente tal situación, y en dado caso de ocurrir los bloques serían de tamaños muy pequeño y no representarían ningún riesgo a la alternativa 6.

3) Evaluación de la Zona III.

En esta zona es la más cercana al eje 6 y es donde los taludes tienen mayor altura. A continuación se muestran sus características generales.

Rumbo General de Talud. N 75° E

Inclinación de Talud. 35° - 40°

<u>Discontinuidades</u>	<u>Actitud</u>	<u>ϕ</u>
Sistema Alfa	N 15° E - 74° NW	30°

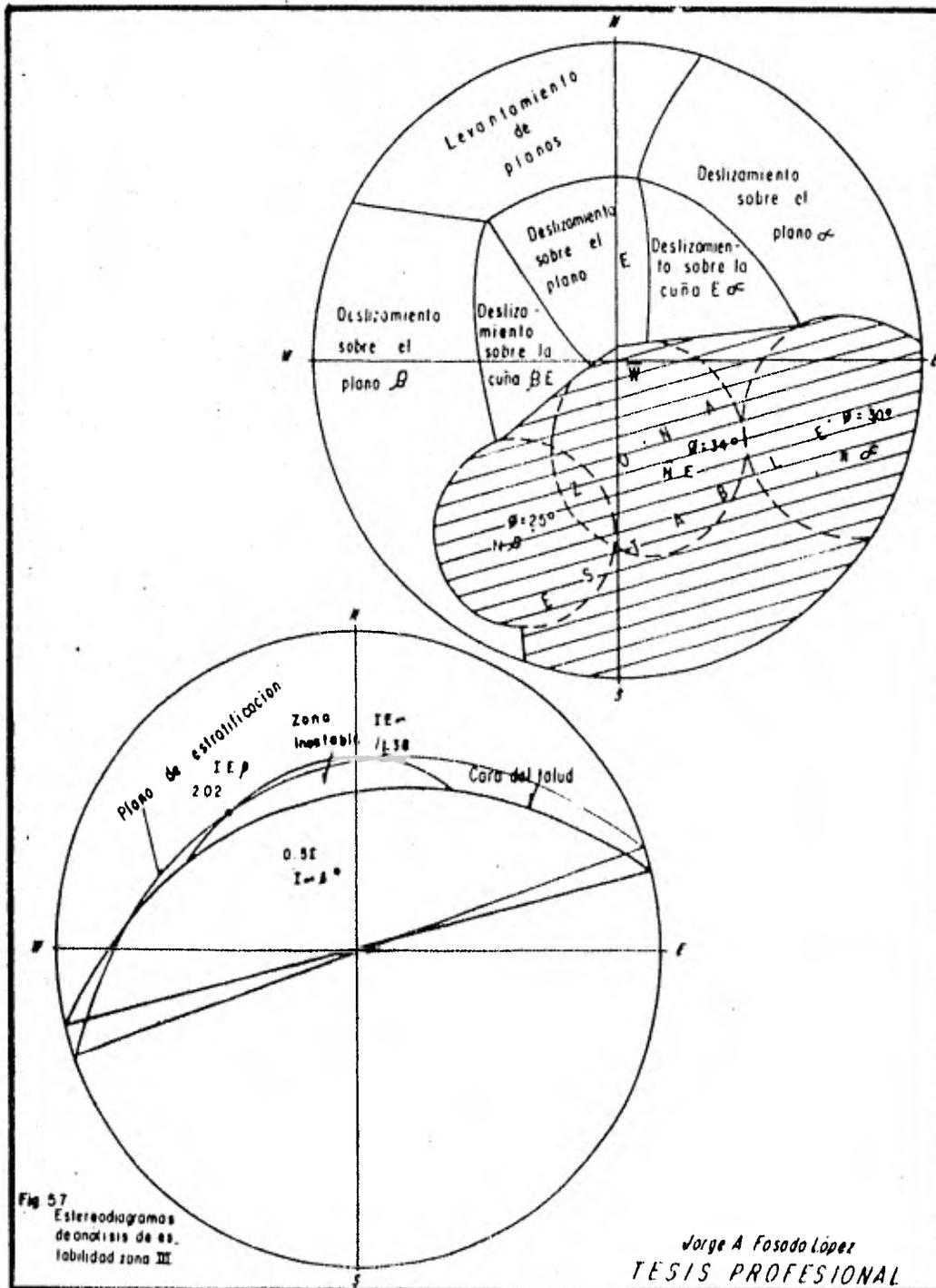


Fig 57
 Estereodiagramas
 de análisis de es-
 tabilidad zona III

Jorge A. Fosado López
 TESIS PROFESIONAL

Sistema Beta	N 60° W - 62° NE	30°
Estratificación	N 70° E - 30° NE	30°

En las proyecciones de la red estereográfica (fig. 5.7) para esta zona III se puede apreciar que la posible falla del talud sería del tipo de "deslizamiento en un plano", y tal plano potencial de falla corresponde a la estratificación. Partiendo del hecho de que el talud esta en equilibrio actualmente y que se considera únicamente la fricción en las discontinuidades como factor de la fuerza resistiva, el ángulo de fricción ϕ mínimo para mantener esta condición de equilibrio debe ser del orden de 30° - 35°; por tal motivo en esta ocasión el ángulo ϕ asumido para los cálculos preliminares del F_s en las cuñas es mayor que al utilizado para las zonas I y II.

De manera análoga a los casos anteriores, se procede a calcular F_s para cuñas, donde interviene la posición estructural de las discontinuidades y el ángulo de fricción ϕ a partir de la ecuación -- (1).

$$F_s = A \tan \phi_A + B \tan \phi_B \quad (1)$$

a) F_s para la cuña formada por la intersección de los planos E y -
 α

$F_s = E \tan \phi_e + \alpha \tan \phi'_2$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION</u>
$F_s = 2 \tan 30^\circ + 0.4 \tan 30^\circ$	E	N 70° E	30°
$F_s = 1.38$		<u>N 15° E</u>	<u>74°</u>
	DIFERENCIA	55°	34°

b) F_s para la cuña formada por la intersección de los planos E y -
 β

$F_s = E \tan \phi_E + \beta \tan \phi_e$	<u>PLANO</u>	<u>RUMBO</u>	<u>INCLINACION</u>
$F_s = 2.04 \tan 30^\circ + 1.1 \tan 30^\circ$	E	N 70° E	30°
$F_s = 2.02$	B	<u>N 60° W</u>	<u>62°</u>
	DIFERENCIA	130°	42°

c) F_s para la cuña que forman la intersección de los planos y B

IDEM ZONA I

$$F_s = 0.52$$

En base a este análisis preliminar que se ilustra en la figura 5., y como anteriormente se mencionó la potencial superficie de falla sería a través de la estratificación.

Para el caso puramente friccionante, donde el factor de seguridad para falla plana se obtiene de la ecuación.

$$F_s = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_p}$$

Para este caso

$$F_s = \frac{\tan 34^\circ}{\tan 30^\circ}$$

$$F_s = 1.16$$

Este resultado nos conduce a realizar una evaluación más detallada de la zona puesto que alguna fuerza externa podría hacer deslizar este talud. Para ello se utilizará el modelo I (Hoek y Bray) para deslizamiento en un plano analizando la sección número III (fig. 5.3) ya que es la más crítica.

Este análisis se basa en la ecuación (5) que para el caso gene -

ral es:

$$F_s = \frac{cA + (W \cos \psi_p - K \text{Sen} \psi_p - U) \tan \phi}{W (\text{Sen} \psi_p + K \text{Cos} \psi_p)} \quad (5)$$

Donde:

cA = Cohesión

W = Peso del bloque

ϕ = Angulo de fricción

U = Fuerza hidrostática

γ = Peso específico de la roca ψ_p = Angulo de la superficie de falla.

γ_w = Peso específico del agua ψ_f = Angulo del talud.

K = Coeficiente sísmico (% g) H = Altura del talud.

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 (\cot \psi_p - \cot \psi_f) \quad (8)$$

$$U = \frac{1}{4} \gamma_w H^2 \text{COSEC} \psi_f \quad (7)$$

Por medio de la ecuación (6) se obtendrá el factor de seguridad para diferentes condiciones, haciendo varios los parametros que influyen la estabilidad y así poder establecer la sensibilidad del factor de seguridad con respecto a estos parametros.

A continuación se muestran los cálculos del F_s para diferentes valores de las fuerzas actuantes externas W y U , fuerza inducida por sismo y fuerza hidrostática.

Los valores constantes serán:

cA = Se considera Nula

ψ_p = 30°

ϕ = 34°

ψ_f = 40°

γ = 2,5 Ton/m³

H = 200 m.

γ_w = 1.0 Ton/m³

$$W = \frac{1}{2} 2.5 (200)^2 (\text{COT } 30^\circ - \text{COT } 40^\circ)$$

$$U = \frac{1}{4} w H^2 \text{ COSEC } \psi_p$$

$$W = 27017 \text{ Ton.}$$

$$F_s = \frac{(W (\text{Cos } \psi_p - K \text{ S. en } \psi_p) \text{ Tan } \phi)}{W (\text{Sen } \psi_p + K \text{ Cos } \psi_p)} \quad (6)$$

DATOS:

$$\phi = 34^\circ$$

$$\text{Tan } \phi = 0.6745$$

$$\psi_p = 30^\circ$$

$$\text{Sen } \psi_p = 0.50 \quad W = 27\,017 \text{ Ton.}$$

$$\psi_p = 40^\circ$$

$$\text{Cos } \psi_p = 0.866$$

$$\gamma = 2.5 \text{ Ton/m}^3$$

$$\text{Cosec } \psi_p = 1.154$$

$$\gamma_w = 1.0 \text{ Ton/m}^3$$

Factor Seguridad F_s , para $K = 0.15$ q

a) Cuando el talud esta saturado $H_w = 100$ m.

$$U = \frac{1}{4} W H_w^2 \text{ COSEC } \psi_p$$

$$U = \frac{1}{4} (1) (100)^2 \text{ COSEC } 30^\circ \quad U = 2,885 \text{ Ton.}$$

Cálculo de F_s ($K = 0.15$ $H_w = 100$ m)

sust en (6)

$$F_s = \frac{(27017 (0.866 - 0.15 (0.5)) - 2885) 0.6745}{27017 (0.50 + 0.15 (0.866))}$$

$$\underline{F_s = 0.7387}$$

b) Cuando $H_w = 50$ m

$$U = \frac{1}{4} W H_w^2 \text{ COSEC } \psi_p$$

$$U = \frac{1}{4} (1) (50)^2 (1.154) \quad U = 721.25 \text{ Ton.}$$

Cálculo de Fs $K = 0.15$ $H_w = 50$ m.

Sustituyendo en la ec (6)

$$Fs = \frac{(27017 (0.866 - 0.15 (0.5) - 721.25) 0.6745}{27017 (0.5 + 0.15 (0.866))}$$

$$Fs = 0.818$$

c) Cuando $H_w = 0$ m. Talud seco

$$U = \frac{1}{4} (1) 90)^2 (1.159) \quad U = 0$$

Cálculo de Fs ($K = 0.15$ g $H_w = 0$)

Sust. ec (6)

$$Fs = \frac{(27017 (0.866 - 0.15 (0.5)) - 0) 0.6745}{27017 (0.5 + 0.15 (0.866))}$$

$$Fs = 0.84$$

Factor de Seguridad para $K = 0.10$ g

a) Cuando el talud esta saturado $H_w = 100$ m

$$U = 2.885 \text{ Ton}$$

Cálculo Fs ($K = 0.10$ g $H_w = 100$ m)

$$Fs = \frac{(27017 (0.866 - 0.10 (0.5)) - 2885) 0.6745}{27017 (0.5 + 0.10 (0.866))}$$

$$Fs = 0.81$$

b) Cuando $H_w = 50$ m.

$$U = 721.25 \text{ Ton}$$

Cálculo de Fs ($K = 0.10$ g $H_w = 50$ m)

$$Fs = \frac{(27017 (0.866 - 0.10 (0.5)) - 721.25) 0.6745}{27017 (0.5 + 0.10 (0.866))}$$

$$Fs = 0.90$$

c) Cuando $H_w = 0$ m Talud Seco

$$U = 0 \text{ Ton}$$

$$F_s \text{ para } K = 0.10 \text{ g} \quad H_w = 0 \text{ m}$$

$$F_s = \frac{(27017 (0.866 - 0.10 (0.5)) - 0) 0.6745}{27017 (0.5 + 0.10 (0.866))}$$

$$F_s = 0.93$$

Factor de Seguridad para $K = 0$ g

a) Cuando $H_w = 100$ m

$$U = 2885 \text{ Ton}$$

$$F_s (K = 0 \text{ g } H_w = 100 \text{ m})$$

$$F_s = \frac{27017 (0.866 - 0) - 2885) 0.6745}{27017 (0.5)}$$

$$F_s = 1.02$$

b) Cuando $H_w = 50$ m.

$$U = 721.25 \text{ Ton}$$

$$F_s = (k = 0 \text{ g } H_w = 50 \text{ m})$$

$$F_s = \frac{27017 (0.866 - 0) - 721.25) 0.6745}{27017 (0.5)}$$

$$F_s = 1.13$$

c) Cuando $H_w = 0$ m.

$$U = 0 \text{ Ton}$$

$$F_s = (k = 0 \text{ g } H_w = 0 \text{ m})$$

Caso puramente friccionante ecuación $F_s = \frac{\tan \phi}{\tan U}$

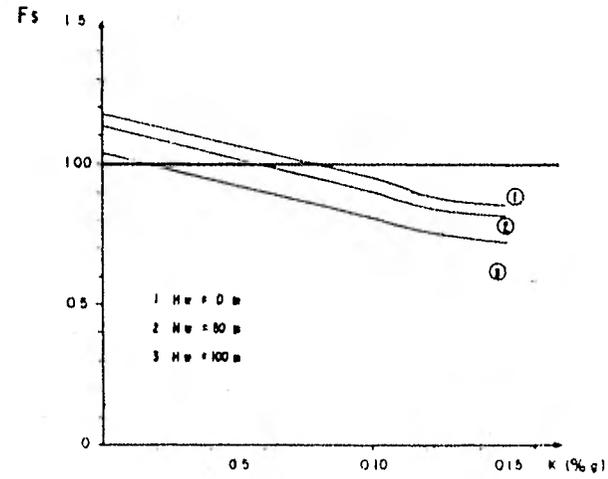
$$F_s = 1.16$$

Con los resultados obtenidos anteriormente se construyeron las gráficas A y B que se muestran en la figura 5.8 y análogamente se encontraron valores del factor de seguridad con respecto al ángulo de fricción ϕ , para cuando las condiciones son más desfavorables - ($K = 0.15 g$, $H_w = 100 m$) y cuando únicamente interviene la fricción (K, H_w son cero) los cuales se muestran en la gráfica C. La gráfica D muestra las variaciones del F_s , cuando cambia ψ_p , que en este caso es el buzamiento de la estratificación.

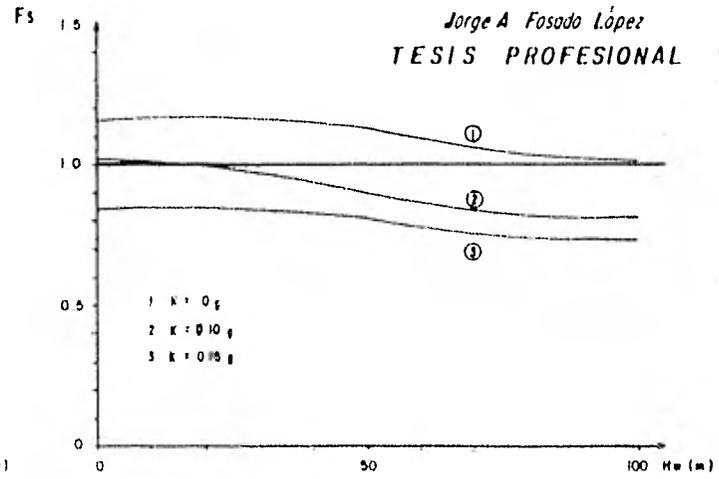
En estas gráficas se observa que las fuerzas inducidas por sismo son las que más afectan la estabilidad (F_s), así por ejemplo en la curva (1) de la gráfica B en la que $K = 0 g$ el factor de seguridad es mayor a 1 inclusive cuando el talud esta totalmente saturado $H_w = 100 m$. En la misma gráfica B la curva (3) nos deja ver, -- que si en el terreno se induce una aceleración de $K = 0.15 g$ el F_s será menor a 1 incluso si el talud esta seco ($H_w=0 m$). La gráfica A muestra estos resultados pero ahora la variable es K y existe -- una curva para cada valor de H_w .

La gráfica C representa la influencia de ϕ en el factor de seguridad, la curva 2 muestra el caso de la situación más desfavorable y la curva 1 el caso puramente friccionante. Estas dos curvas marcan los límites a una familia de curvas para diversas condiciones de K y H_w . El área A encierra los posibles valores que pueden presentarse para este caso, partiendo de la suposición de que ϕ oscila entre los 30° y 36° .

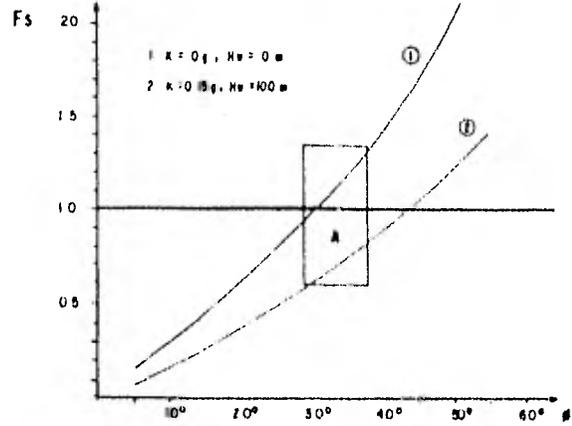
Debido a que existen variaciones en la inclinación de la estratificación en este talud, la gráfica D muestra como se comporta el F_s , la cual es útil si se quiere trabajar en zonas específicas (-- cortes) donde existen variaciones en el buzamiento. La línea es --



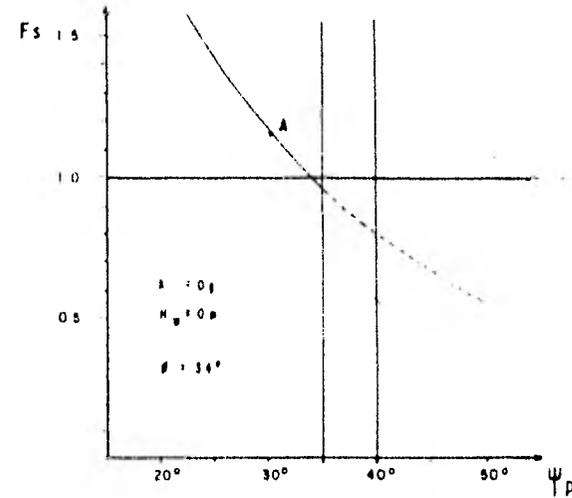
GRAFICA A



GRAFICA B



GRAFICA C



GRAFICA D

punteada a partir de los 35° , ya que la pendiente del talud es de 35° a 40° , y no puede existir deslizamiento si $\psi_p > \psi_f$. Aunque esta gráfica fue calculada para $K = 0$ y $H_w = 0$ los valores obtenidos nos dan idea general del comportamiento. El punto A representa el caso puramente friccionante siendo $\beta = 34^\circ$.

Considerando que en este sitio puede suceder un sismo que proporcione un $K = 0.15$ ó que tal vez haya ocurrido en un pasado y el talud no ha fallado, se debe tener presente que para el cálculo no se tomó en cuenta la cohesión en los planos de falla, y que se supuso que la aceleración inducida al terreno es constante y en una sola dirección, lo cual en una situación real no se verifica de -- tal forma, puesto tal valor de la aceleración es instantánea y con dirección variable (Hendron 1971), pero se menciona nuevamente la conveniencia de trabajar del lado de la seguridad.

Comentarios Adicionales

Si bien es cierto que algunos factores de seguridad andan abajo de los valores reales, nos muestran una visión general del problema, la cual es muy importante para las etapas subsecuentes, tanto en el aspecto económico como en el técnico, ya que pueden ahorrar gastos de tratamiento al macizo rocoso ó de pruebas de mecánica de rocas, o evitar situaciones catastróficas por evaluaciones con valores no conservadores.

E) METODOS PARA MEJORAR LA ESTABILIDAD.

De acuerdo con la evaluación realizada en este capítulo, únicamente la zona III resultó ser potencialmente inestable, siendo la fuerza inducida por sismo la que influye más desfavorablemente a la estabilidad de la ladera.

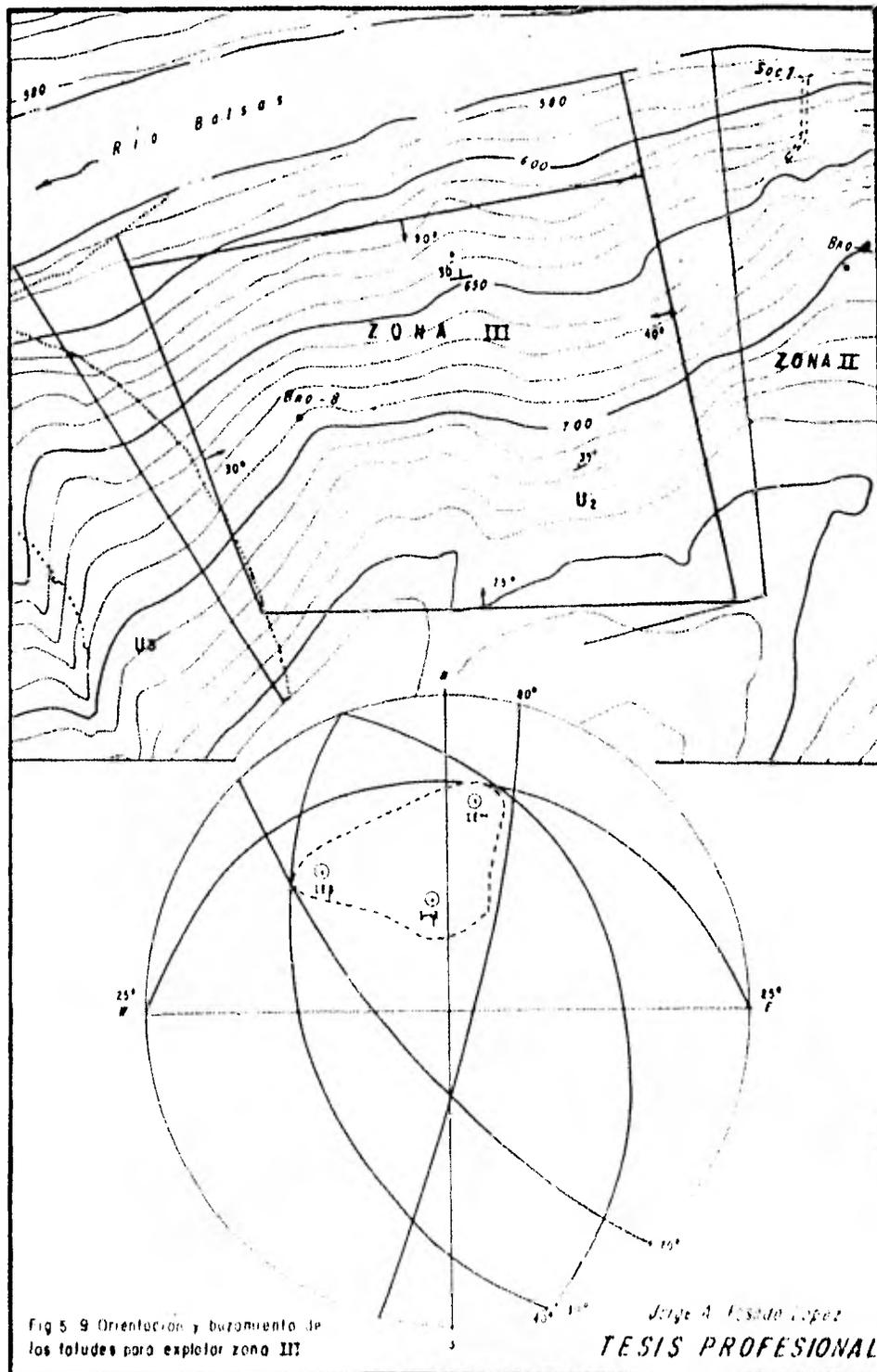


Fig 5 9 Orientación y buzamiento de los folios para explotar zona III

Jorge A. Escobar Lopez
TESIS PROFESIONAL

Se había mencionado que es difícil que se mantenga una condición de saturación total en el talud, cuando se abata el nivel evaluado debido a que la masa de roca es permeable, pero aunque se presentase no tiene una influencia muy negativa en la estabilidad, excepto si coincide con un sismo, como se puede observar en las gráficas A y B de la figura 5. Por lo tanto en este caso hablar de un tratamiento de drenaje en el macizo rocoso no sería la solución más adecuada.

En este análisis utilizando la ecuación (6) como modelo matemático, el factor de seguridad permanece constante si el ángulo del talud U_f es mayor al ángulo de la superficie de falla U_p y para cuando el ángulo del talud U_f es menor al ángulo U_p el factor de seguridad tiende a hacerse infinito. Este razonamiento nos conduce a que si se reduce el ángulo del talud se tendrá una solución permanente y efectiva, además el material producto de este corte podría ser -- utilizado como enrocamiento y/o rezaga para la construcción de la cortina, por lo cual esta solución parece ser más favorable desde el punto de vista ingenieril.

Si se decidiera no utilizar esta zona III como banco de material será necesario realizar pruebas de campo de mecánica de rocas, para conocer de forma más precisa los valores de las propiedades de las discontinuidades, y proceder a la evaluación de la estabilidad, si ésta no está dentro de los márgenes de seguridad se tendrá que reducir la pendiente o diseñar un sistema de anclaje.

El hecho de que la roca este alterada superficialmente y a que la masa rocosa este muy fracturada, un tratamiento a base de anclaje no sería muy conveniente, ya que la longitud de las anclas tendrá que ser grande, lo cual resultaría costoso, además de que el --

intenso fracturamiento en el macizo rocoso, no garantiza las condiciones de agarre de las anclas.

Por lo expuesto en este inciso se considera que la solución más favorable es excavar la zona III y tratar de utilizar el producto de la excavación en la construcción. En la figura 5.9 se muestran la inclinación recomendada dependiendo de la orientación del corte, con el fin de evitar derrumbes durante la explotación. Así mismo -- deben tomarse precauciones de no realizar cortes dentro de los límites con la zona II, ya que puede dar salida libre a las cuñas que se forman en dicha zona II. En caso de que ésta solución fuera la más apropiada la determinación precisa de los parámetros de resistencia pudiera ser necesaria para afinar los cálculos de estabilidad de los cortes resultantes de la excavación.

C A P I T U L O VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A) CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos de las exploraciones geológicas y geofísicas a la salida del cañón de Huixastla, donde se localizan las Alternativas 5 y 6 del Proyecto Hidroeléctrico del mismo nombre, se llega a la conclusión de que la alternativa 6 resulta ser la más favorable de estas dos. Esto se debe principalmente a que el eje 6 se encuentra ubicado en la Formación Mexcala que ofrece mejores condiciones geohidrológicas lo que es básico para el cierre del vaso, y estabilidad de una cortina de materiales graduados.

En la alternativa 5 situada a 1 km aproximadamente, aguas arriba de la alternativa 6, y sobre las calizas de la Formación Morelos se registraron valores de permeabilidad más elevados (hasta 14 U.L.) Además en la margen izquierda de la alternativa 5 el macizo rocoso está muy fracturado lo cual reduce notablemente su calidad geomecánica. Esta característica hace poco recomendable dicha masa rocosa para el alojamiento de estructuras civiles en ella, además de representar un riesgo potencial para alternativa 6, puesto que parte de este talud es inestable bajo ciertas condiciones del nivel freático y la fuerza inducida por sismo (capítulo V).

Por tal motivo se intensificaron los trabajos exploratorios en el eje 6 para conocer con mayor detalle las propiedades de la masa rocosa, donde se tiene diseñado la actual disposición de obras A continuación se mencionan las conclusiones a las que se han lle

gado en éste trabajo:

a).- Todas las obras civiles del actual diseño del proyecto que darán dentro de la Formación Mexcala. Esta formación fue dividida en 3 unidades geomecánicas, de acuerdo con la clasificación de Bieniawski, la unidad U_3 de mediana calidad la unidad U_4 de mala calidad y la unidad U_5 de mediana a buena calidad.

b).- Los barrenos realizados en el cauce del río revelaron que el espesor de los acarrees es de 10 a 15 m y abajo de estos existen calizas arcillosas de la unidad U_5 , y solo en la zona de la atagüa aguas arriba hay un paquete (24 m) de la U_4 antes de tocar la unidad U_5 . Por tanto la mayor parte de la roca de cimentación será la U_5 que exhibe buenas propiedades geomecánicas en estos barrenos.

c).- La mayor parte de la cortina en margen derecha se desplantará sobre la unidad U_4 , en la zona de atagüas aguas abajo existe una gran superficie de depósitos de aluvión. Los perfiles de sísmica revelaron una zona decomprimida y/o alterada de 15 m paralela al perfil del terreno. Por la posición estructural de los estratos no se preven problemas de estabilidad en ésta margen.

d).- El apoyo lateral de la cortina en margen izquierda, será sobre la unidad U_4 , y únicamente en la zona de la atagüa aguas abajo se desplantará sobre la unidad U_5 que es de mejor calidad. En la zona de apoyo del corazón impermeable, el terreno se caracteriza -- por ser muy esbelto formando un "espolón" Morfológico, donde la estratificación tiende a buzar hacia el río con intensidades de 30° a 40° . Estas características así como la presencia de la falla F_2 ponen en peligro la estabilidad de dicho corazón arcilloso, si la masa de roca no es tratada convenientemente. El plegamiento local a -

la altura del socavón 5 altera el rumbo de la estratificación que al buzar hacia aguas abajo favorece a los flujos de agua.

e).- Los cuerpos de yeso encontrados en la margen derecha del sitio no presentaran (aparentemente) problemas de disolución puesto que el yeso esta interestratificado con arcillas, o en estratos bien compactos sin permeabilidad inducida por fracturamiento. Esta condición de impermeabilidad reduce considerablemente las velocidades de solubilidad del yeso como para afectar la vida útil del Proyecto. La presencia de yeso sin embargo si reduce notablemente la resistencia del macizo rocoso, además el agua sulfatada ataca químicamente a las estructuras de concreto.

f).- Existe una zona que varia de 100 m de espesor en la parte inferior a 50 m en la parte superior de la ladera de la margen izquierda donde la permeabilidad tiene valores de 12 U.L., abajo de ésta zona la permeabilidad es de 6-8 U.L. En la base de la ladera y de 2-4 U.L. para la parte superior de ésta.

g).- En la margen derecha el paquete de mayor permeabilidad -- (8-12 U.L.) es de 80 m de espesor en la parte inferior de la ladera y de 140 m para la parte superior. Por debajo de ésta zona los valores de permeabilidad oscilan entre los 4 y 8 U.L.

h).- "La caverna de la casa de máquinas y los pozos de oscilación que serán excavados en la unidad U_4 , donde la litología predominante es yeso y lutitas, presentan problemas potenciales de socavación en el lado Sur-superior de estas obras, debido a que los estratos buzan hacia la parte interior de la excavación con intensidades de 50° en general, y a la baja resistencia al corte en las discontinuidades de ésta unidad. Así mismo existe posibles riesgos

de falla, por flexión en la intersección del techo con la pared norte.

i).- La zona donde será desplantado el vertedor está constituida por la unidad U_5 y según los sondeos realizados revelan buena calidad geomecánica de la roca.

Los perfiles de sísmica muestran una capa de 5 m de suelo, de 30 a 40 m de roca decomprimida a alterada y por debajo de ella la roca es de muy buena calidad. Por la estructura del macizo rocoso el vertedor se divide en 2 tramos. En el primero del cimasio a la transición, la estructura favorece los cortes y las condiciones geohidrológicas de impermeabilidad. Para el segundo tramo comprendido de la transición a la descarga del canal vertedor la estructura puede facilitar el flujo de agua creando así subpresiones en las losas del canal. En este tramo también pueden ocurrir deslizamientos en los taludes de la pared izquierda si no se toman las medidas preventivas.

j).- Con la información actual (Geología Superficial) parece -- que los taludes de la obra de toma, dispuestos en la unidad U_3 , no presentaran problemas de inestabilidad.

k).- El hecho de que las tuberías de presión atraviezan casi en forma perpendicular a los planos de estratificación, es una condición favorable ya que pueden actuar como soportes laterales. Pero -- debe tomarse en cuenta que estarán alojadas en la unidad U_4 que es de mala calidad, y debido a las altas presiones a las que trabajan -- estos ductos pueden inducir esfuerzos, que al deformar la roca, produzcan una dislocación en la estructura.

l).- Gran parte de los túneles correrán paralelos al rumbo de la estratificación, por tanto los esfuerzos (litostáticos) se concentraron en el lado Sur de estos túneles. Ya que la mayoría de los túneles (o parte de ellos) se desarrollarán sobre la unidad U_4 se debe de tener en cuenta la necesidad de refuerzos en las paredes para evitar posibles fallas.

m).- Cuando los túneles atraviezen a rumbo de echado la masa rocosa, existirán problemas de falla en la frente del túnel si esta se lleva a cabo en el sentido contrario a la dirección de buzamiento.

n).- Del análisis de estabilidad en la margen izquierda de la alternativa 5, se llega a la conclusión que la zona III (capítulo V) es la que presenta posibilidades de deslizamiento, bajo ciertas condiciones de saturación (N.A.F.) y fuerza inducida por sismo.

o).- De las fuerzas externas, es la inducida por sismo la que más influye en la estabilidad del talud. Tal es el caso que en este análisis el factor de seguridad para la zona III es inferior a 1 cuando K (§ 9) es del orden 0.15 g incluso con el talud no saturado. Cabe aclarar que este análisis es conservador ya que no se cuenta con valores medidos de las propiedades físicas de las discontinuidades (fricción y cohesión) y por considerar la cohesión nula (ver capítulo V. Consideraciones para el análisis).

p).- Considerando los métodos para mejorar la estabilidad, el reducir el ángulo del talud (25°) resulta ser la solución más conveniente, ya que además de ser una solución permanente el volumen excavado puede ser utilizado como material de construcción en la cortina.

q).- Las calizas de la Formación Morelos (U_1) así como de la zona III (U_2), los depósitos aluviales, y las arcillas producto de intemperismo de la Mexcala representan los posibles bancos de materiales para la construcción del proyecto. Todos ellos se encuentran en un radio de 3 km en torno al sitio.

B) RECOMENDACIONES

a).- Dentro del programa de exploraciones subsecuente en el P. H. Huixastla, se recomienda realizar sondeos sobre los ejes de las obras para conocer mejor la distribución y calidad geomecánica de la masa rocosa.

- Para el canal vertedor 3 barrenos a lo largo de su eje.
- Un barreno para la obra de toma y otro para las tuberías a presión.
- Tres sondeos a lo largo de la zona de los túneles de desfogue (margen derecha).
- Dos sondeos para el túnel de desvío de margen izquierda.

b).- En todos estos sondeos se deben de realizar pruebas de permeabilidad, e instalar piezómetros en algunos de ellos, para conocer con detalle las condiciones geohidrológicas básicas para el diseño, y método de construcción de las obras, así como para los tratamientos del macizo rocoso.

c).- Cuando se realicen excavaciones en la unidad U_4 en los paquetes donde abundan el yeso y lutita, se debe proceder al recubrimiento de estas superficies, ya que es un material de alta velocidad de intemperismo (arcillas).

d).- Para el empotramiento del corazón arcilloso en la margen derecha será necesario proporcionar una mayor superficie de apoyo, ya que el esbelto espolón en la parte superior de la ladera pone en peligro la estabilidad del núcleo arcilloso.

e).- Es recomendable atacar los túneles de desvío y desfogue en sentido contrario al buzamiento de la estratificación para evitar caídos durante la excavación.

f).- En las etapas sucesivas del proyecto será necesario realizar pruebas de mecánica de rocas para conocer cuantitativamente las propiedades de resistencia y deformabilidad de la roca, así, como el estado interno de esfuerzos al que está sujeto el macizo rocoso.

g).- Los tratamientos de impermeabilización deben de tener especial atención en el apoyo lateral de la cortina en margen izquierda y en la zona de transición al salto de Sky del vertedor, puesto que la orientación de los estratos. Favorece el flujo subterráneo de agua, lo cual puede ocasionar serios problemas a estas estructuras.

h).- La denominada zona III en este trabajo, resultó ser inestable, y el método más conveniente para su tratamiento es reducir el talud (25°) y utilizar el volumen excavado para la construcción de la cortina, Para la explotación de esta ladera se necesitarán conocer los valores de resistencia de las discontinuidades.

i).- Al realizar los cortes en esta zona III se debe evitar acercarse a la zona II, puesto que puede propiciar que las cuñas que se forman en dicha zona II tengan salida libre. Se recomienda que los taludes que buzen hacia el norte no excedan los 25° , los que buzen hacia el oeste no sean mayores a los 30° y los taludes con echa

do hacía el este no deben exceder los 40° de inclinación (ver figura 5.9)

j).- Es necesario realizar muestreos en los posibles bancos de materiales, y conocer sus propiedades. En las arcillas será necesario el conocer sus límites de consistencia, en tanto que en los bancos de grava arena será necesario conocer la granulometría (S.U.C.S) Esto comprobará si es factible utilizarlos y en que volumen.

B I B L I O G R A F I A

Abad Toscano Alfredo (1976)

- " Estudio Geológico Estructural del Area de Zitlala Gro. " Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura I.P.N. México, D.F.
Tesis Profesional.

Alencaster Gloria (1980)

- " Estudio Paleontológico de Muestras Colectadas en el Arroyo del Vickingo. Area de Huixastla Gro." Instituto de Geología U.N.A.M. México, D.F. Informe Inédito.

Becerril Ma. de la Paz et al (1979)

- " Estudio Socioeconómico de la Cuenca del Alto Río Balsas " Brigada de Estudios Socioeconómicos C.F.E. Informe Inédito.

Bell Frederic G. (1980.)

- " Engineering Geology and Geotechniques " Newnes - Butterworths.

Bieniawski Z.T. (1974)

- " Geomechanics Classification of Rock Masses and it's Application in tunneling " I.S.M.R Procd 3rd Cong. Vol 24- (Denver USA).

Bolivar J. M (1963)

- " Geología del Area Delimitado por el Tomatol Huitzuco y - Mayanalán. Edo. de Guerrero " Instituto de Geología U.N.A.M. Bol 69.

CETENAL - Instituto de Geografía (1970)

- " Carta de Climas " Comisión de Estudios del Territorio Nacional, Instituto de Geografía U.N.A.M.

Crespo Hernández F (1963)

- " Estudio Geológico de la Zona de Mayanalán Xálitla, Estado de Guerrero " Facultad de Ingeniería U.N.A.M. México-D.F. Tesis Profesional.

Cserna, Zoltan de, Palacios Nieto Miguel, Pantoja-Alor J (1978)

" Relaciones de Facies de las Rocas Cretácicas en el Noroeste de Guerrero y en las Areas Colindantes de México y Michoacán " Instituto de Geología U.N.A.M. Revista v.2

Cserna Zoltan de, Ortega-Gutiérrez F, Palacios Nieto M (1980).

" Reconocimiento Geológico de la Parte Central de la Cuenca del Alto Río Balsas Estados de Guerrero y Puebla " in Libro-Gula de la Excursión Geológica a la Parte Central de la Cuenca del Alto Río Balsas. Sociedad Geológica Mexicana México, D.F.

Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones -- Eléctricas (1980).

" Manual de Diseño de Obras Civiles ". Sección B. GEOTECNIA-CFE, IIE ed Comisión Federal de Electricidad. México D.F.

Comisión Federal de Electricidad (1981).

" Catálogo Climatológico " Departamento de Estudios Hidrometeorológicos C.F.E. México D.F.

(1981)

" Informe Parcial del P.H. Huixastla "
" Residencia de Estudios Hidroeléctricos Zona Pacifico Centro Sur " Cuernavaca, Mor. Informe Inédito.

Dávila Alcoser V. (1974).

" Geología del Area de Atenango del Río, Estado de Guerrero " Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Tesis Profesional.

Farmer I.W. (1968).

" Engineering Properties of Rocks " ed. Spon Limited. London

Fries Carl Jr. (1960).

" Geología del Estado de Morelos y de partes Adyacentes de México y Guerrero, Región Central Mensional de México " - Instituto de Geología U.N.A.M. Bol. 60

García Calvario M. A. et, al (1980).

" Informe Geológico del P.H. Huixastla Alt. 3 "
Residencia de Estudios Geológicos del Río Balsas C.F.E. -
Iguala, Gro.

Greensmith J. T. (1978).

" Petrology of the Sedimentary Rocks " ed George Allen & --
Unwin.

Goodman Richard E. (1980).

" Introduction to Rock Mechanics " ed John Wiley and Sons.

Hendron A. J. et, al (1971).

" Analytical and Graphical Methods for the Analysis of Slo-
pes en Rock Masses " U.S. Army Engineer Excavation Reser-
ch Office Livermore California, Technical report 36.

Hoek E., Bray J. (1974).

" Rock Slope Engineering "
The Gresham Press. London England.

Housner G. W. (1970).

" Strong Ground Motion ", in: Earth Quake Engineering, Wie-
gel Robert L. coordinate editor.
Prentice - Halla. Englewood Cliffs. N. J.

Instituto de Ingeniería U.N.A.M. (1972).

" Sismicidad en el Estado de Guerrero " Revista de Ingeniería No. 1.

I.S.R.M. (1980).

" Basic Geotechnical Description (B. G. D.) "
Commission on Clasification And Rock Masses

Jiménez Dominguez Abel (1965).

" Estudio Geológico del Proyecto Hidroeléctrico de la Presa
de San Juan Tetelcingo sobre el Río Balsas "
Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Tesis Profesional.

Nájera Garza Jesus (1956).

" Estudio Geológico del Area de San Agustín Oapan Estado de Guerrero ". Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura I.P.N. Tesis Profesional.

Nieto Alberto (1981)

" Comentarios sobre Estanqueidad. Proyecto Hidroeléctrico - Huixastla Guerrero " Informe de la visita realizada al -- sitio Inédito.

Oliveira R, (1979).

" Engineering Geological Problems Related to the Study Design and Construction of Dam Foundations ". International Association of Engineering Geology. Bulletin No. 20.

Ortega Gutiérrez Fernando (1978).

" Estratigrafía del Complejo Acatlán en la Mixteca Baja, Estados de Puebla y Oaxaca " Instituto de Geología U.N.A.M. Rev. 2.

(1980)

" Rocas Volcánicas del Maestrichtiano en el Area de San Juan Tetelcingo, Estado de Guerrero ": in Libro Guía de la Excursión Geológica a la Parte Central de la Cuenca del Alto Río Balsas, Guerrero y Puebla. México D.F. C.F.E

Parra de la, Raúl et al (1980).

" Estudio de Prefactibilidad de los Aprovechamientos Hidroeléctricos del Alto Balsas " Gerencia General de Estudios e Ingeniería Preliminar C.F.E. Informe Inédito.

Pantoja Alor Jerjes et al (1979).

" Geología del Río Balsas, entre Tlalcozotitlán y San Juan-Totolzintla, Guerrero " C.F.E. Informe Inédito.

Pettijohn F. J. (1975).

" Sedimentary Rocks " Third Edition, Harper and Row N.Y.

Ponce de León O.A. y Bonet M. F. (1979).

" Estudio Micropaleontológico de muestras colectadas en la región de Huixastla, Tlalcozotitlán Gro. " para C.F.E. -- México D.F. Instituto Mexicano del Petróleo.

Raisz E. (1959).

" Land Forms of México " Geography Branch of the Office of- Naval Research. Cambridge Mass.

Razo Montiel y Soto P. (1964).

" Estudio Geológico del P.H. Huixastla, Boquilla el Gavilán Gro. " C.F.E. Informe Inédito.

Rosas López J.L. y Prieto Velez R. (1978).

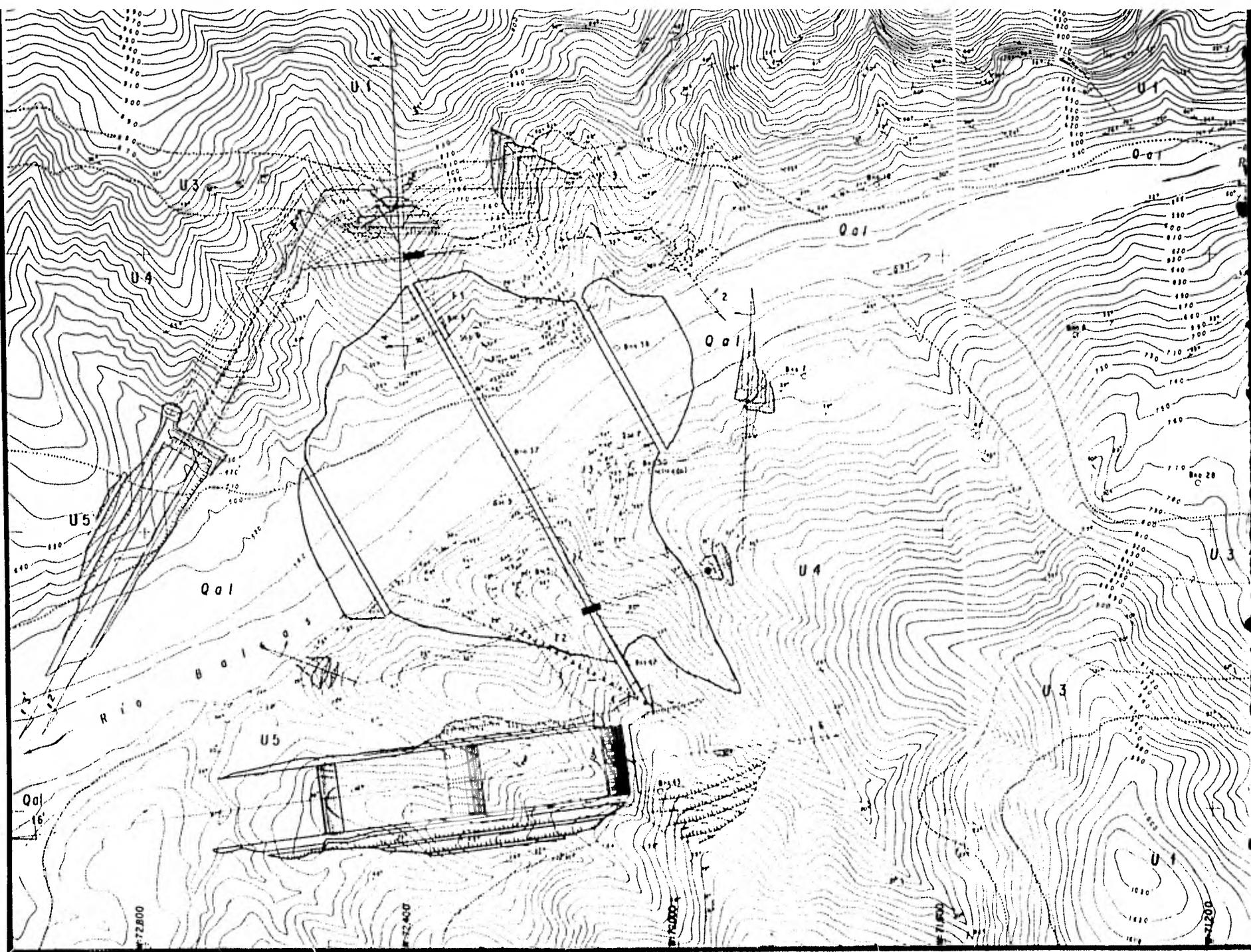
" Exploraciones Geológicas para las Obras de Ingeniería Civil " Facultad de Ingeniería U.N.A.M. Tesis Profesional.

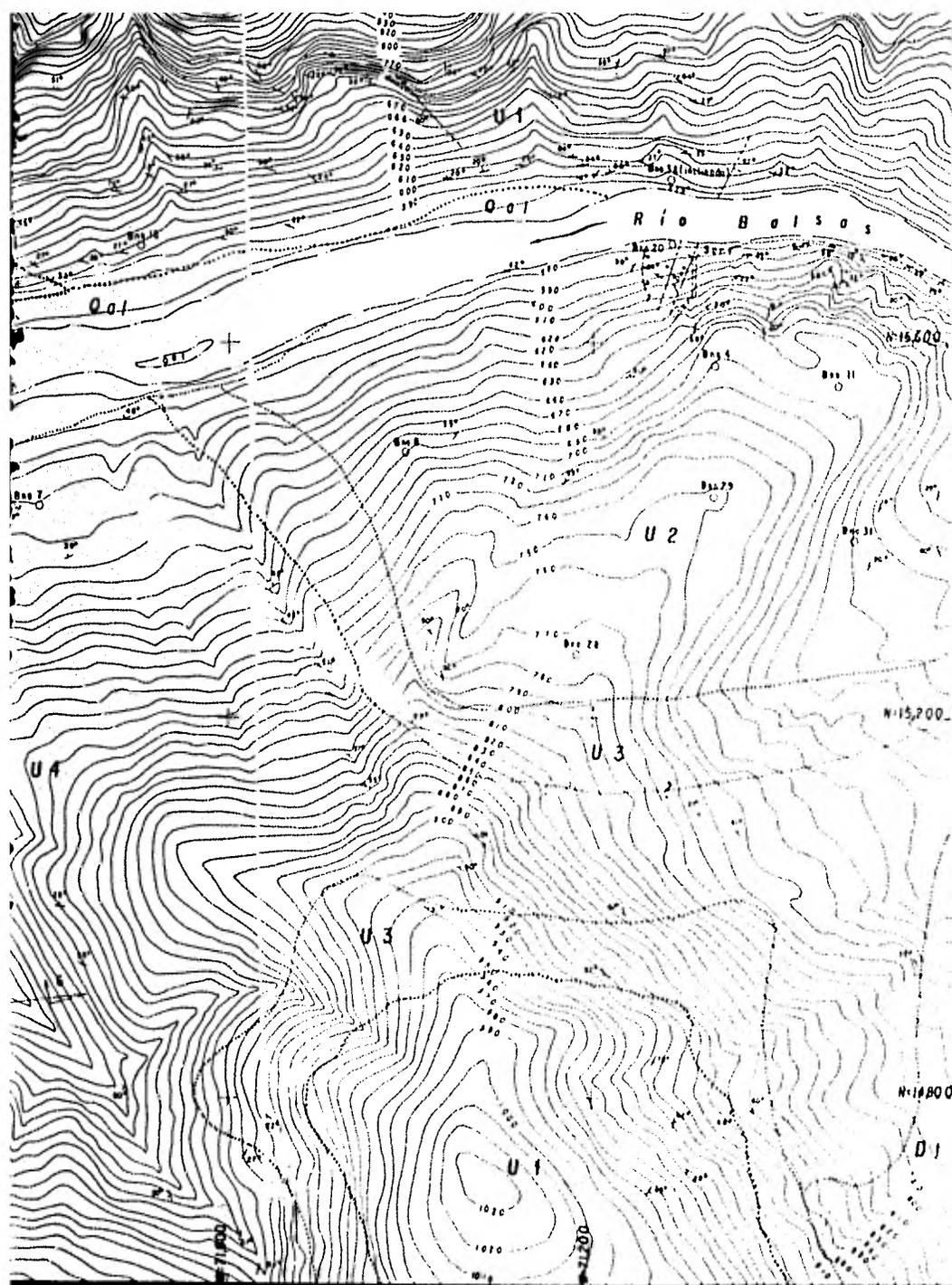
Soto Jaramillo F. (1980).

" Estudio Micropaleontológico Realizado a las Muestras Co - lectadas en el Area de Huixastla, Edo. de Guerrero " Labo ratorio de Paleontología I.P.N.

Záruba Q. Mencl V. (1976).

" Engineering Geology ". Elsevier Scientific Publishing Com pany. Prague Czechoslovakia.





LEYENDA

CLASIFICACION GEOMECANICA PARA MASAS ROCOSAS (Bienotshi)

CLASE	R M R	TIPO DE MASA ROCOSA
I	81-100	Muy buena calidad
II	61-80	Buena calidad
III	41-60	Mediana calidad
IV	21-40	Baja calidad
V	0-20	Muy baja calidad

FORMACION MEXCALA

- U 5** Unidad compuesta por calizas arcillosas de color oscuro alternadas con lutitas negras, usualmente se observan estratos de limolitas y areniscas

Valor de resistencia R_c de 250-500 kg/cm
 Fracturas 30-60 cm (espaciamiento)
 R Q D 40-95 % - Lutitas
 R M R 51-60 Clase III (41-62) Roca de mediana calidad
- U 4** Unidad compuesta por areniscas, lutitas, bentonitas (usualmente rojas) y algunos estratos calcáreos, se observan en esta unidad bentonitas que se presentan en forma tabular, algunas veces se trata de abundancia de ésta que forma pequeños pedregales con hasta un 80% de yeso

Valor de resistencia R_c de 250-500 kg/cm
 R Q D 20-40 %
 Fracturas 5-30 cm (espaciamiento)
 R M R 35 Clase IV (21-40) Roca de baja calidad
- U 3** Unidad compuesta de buena sucesión de calizas duras y lutitas de color negro, este fraccionamiento dentro de la fm. Morelos y la fm. Mexcala

R M R 42 Clase II (61-80) Roca de mediana calidad
 R Q D 30%
 Fracturas 10-30 cm (espaciamiento)

FORMACION MORELOS

- U 2** Constituye un litotipologramo por calizas o mármol con U1, con alternancia de dolomías, excepto que se encuentran bastante fracturadas

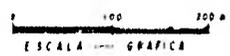
Fracturas 05-30 cm (espaciamiento)
 Valor de resistencia R_c de 500-1000 kg/cm
 R Q D mayor a 40 %
 R M R 38 Clase IV (21-40) Roca de baja calidad

- U 1** Calizas, dolomías de estratificación mediana o buena.

Valor de resistencia R_c de 500-1000 kg/cm
 R Q D mayor a 40 %
 Fracturas 30 cm - fm (espaciamiento)
 R M R 63 Clase II (61-80) Roca de buena calidad

SÍMBOLOS

- +— Rumbo y echado + Anticipa recostado
- +— Sección
- +— Barreno
- +— Contacto entre unidades geotécnicas
- +— Falla normal
- +— Fractura importante



FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 PLANO DE UNIDADES
 GEOTECNICAS DEL PH
 HUIXASTLA

UNAM
 Junio/82 Jorge Antonio Losada López