

2ej  
22



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

LA CARSTICIDAD, POSIBLE PROBLEMA EN EL  
ESTUDIO DE PRESAS EN CALIZAS, EJEMPLO  
DEL PROYECTO PUJAL - COY, S.L.P.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO GEOLOGO  
P R E S E N T A N :  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



MEXICO, D. F.

1989



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

LA CARSTICIDAD, POSIBLE PROBLEMA EN EL ESTUDIO DE PRESAS  
EN CALIZAS. EJEMPLO DEL PROYECTO PUJAL - COV, S L P

INDICE

		página
1	INTRODUCCION	
1.1	Objetivo del estudio	3
1.2	Método de trabajo	4
2	CARSTICIDAD	
2.1	Generalidades	6
2.2	Cinética cárstica	6
2.3	Formas cársticas	7
3	CARACTERISTICAS DE LAS CALIZAS	
3.1	Definición de caliza	17
3.2	Composición química	17
3.3	Composición mineralógica	18
3.4	Génesis	25
3.5	Textura	26
3.6	Estructuras	32
3.7	Estructuras mayores	38
3.8	Distribución geográfica de las calizas	41
3.9	Propiedades mecánicas	46

	<i>página</i>
4	CARSTICIDAD EN PRESAS DE MEXICO
4.1	Presa Chicoasén 50
4.1.1	Localización 50
4.1.2	Características de la presa 52
4.1.3	Geología del sitio 52
4.1.4	Problemas geotécnicos 53
4.1.5	Soluciones adoptadas 56
4.2	Presa Cerro de Oro 56
4.2.1	Localización 56
4.2.2	Características de la presa 57
4.2.3	Geología del sitio 58
4.2.4	Problemas geotécnicos 62
4.2.5	Soluciones adoptadas 62
4.3	Presa Benito Juárez 64
4.3.1	Localización 64
4.3.2	Características de la presa 64
4.3.3	Geología del sitio 64
4.3.4	Problemas geotécnicos 65
4.3.5	Soluciones adoptadas 68
4.4	Presa La Angostura 69
4.4.1	Localización 69
4.4.2	Características de la presa 69
4.4.3	Geología del sitio 69

	<i>página</i>
4.4.4 <i>Problemas geotécnicos</i>	73
4.4.5 <i>Soluciones adoptadas</i>	74
5 <i>PROYECTO PUJAL - COV</i>	
5.1 <i>Generalidades</i>	75
5.1.1 <i>Trabajos previos</i>	75
5.1.2 <i>Localización</i>	80
5.1.3 <i>Vías de comunicación</i>	81
5.1.4 <i>Situación económica</i>	83
5.1.5 <i>Fisiografía y clima</i>	83
5.1.6 <i>Geomorfología</i>	85
5.1.7 <i>Hidrología</i>	86
5.2 <i>Geología regional</i>	90
5.2.1 <i>Estratigrafía</i>	92
5.2.2 <i>Tectónica</i>	106
5.2.3 <i>Geología histórica</i>	108
5.3 <i>Geología del área del proyecto</i>	110
5.3.1 <i>Embalses</i>	11
5.3.2 <i>Cortinas</i>	116
5.3.3 <i>Obras auxiliares</i>	124
5.4 <i>Geotecnia del sitio del proyecto</i>	126
5.5 <i>Materiales de construcción</i>	131

	<i>página</i>
5.5.1 Bancos de arcilla	131
5.5.2 Bancos de grava - arena	133
5.5.3 Bancos de enrocamiento	133
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	136
BIBLIOGRAFIA	139

FIGURAS	página	
2.1	<i>Formas cársticas y proceso de formación</i>	9
3.1	<i>Distribución geográfica general de las calizas</i>	43
3.2	<i>Clasificación cualitativa de las rocas según su permeabilidad</i>	47
4.1	<i>Localización de presas en México</i>	51
4.2	<i>Plano geológico de la Presa Chicoasén</i>	54
4.3	<i>Sección geológica de la Presa Chicoasén</i>	55
4.4	<i>Plano geológico de la Presa Cerro de Oro</i>	60
4.5	<i>Sección geológica de la Presa Cerro de Oro</i>	61
4.6	<i>Plano fotogeológico de la Presa Benito Juárez</i>	66
4.7	<i>Sección geológica de la Presa Benito Juárez</i>	67
4.8	<i>Plano geológico de la Presa La Angostura</i>	71
4.9	<i>Sección geológica de la Presa La Angostura</i>	72
5.1	<i>Localización del Proyecto de Presas Pujal - Coy</i>	82
5.2	<i>Provincias fisiográficas</i>	84
5.3	<i>Hidrografía</i>	87
5.4	<i>Provincias geológicas</i>	91
5.5	<i>Estratigrafía</i>	94
5.6	<i>Tectónica</i>	109
5.7	<i>Plano geológico</i>	112
5.8	<i>Plano general de obras</i>	120
5.9	<i>Sección geológica Boquilla Pujal</i>	123
5.10	<i>Sección geológica Boquilla Coy</i>	125
5.11	<i>Localización de bancos de materiales</i>	132

## TABLAS

página

3.1	<i>Composición química de calizas representativas</i>	19
3.2	<i>Diferencias mineralógicas entre calcita y dolomita</i>	21
3.3	<i>Clasificación genética de las calizas</i>	27
5.1	<i>Resumen de estudios de las alternativas de los cortes de las cortinas Pujal y Coy</i>	117
5.2	<i>Exploraciones de obras auxiliares</i>	127

## INTRODUCCION

Algunos de los problemas a los que se enfrenta la República Mexicana se derivan del acelerado crecimiento demográfico con un desarrollo económico desigual. Uno de ellos es la distribución, abastecimiento y uso del agua; este elemento es un recurso que ofrece la naturaleza, indispensable para la vida del hombre y sus actividades productivas.

Como solución para su mejor aprovechamiento, en algunas zonas, se almacenan y regulan las aguas de lluvia y se encauzan los ríos. Esto último sucede en la parte baja de la Cuenca del Río Pánuco, ya que a causa de las altas precipitaciones pluviales originadas principalmente por perturbaciones ciclónicas se producen inundaciones en una vasta porción de la planicie costera, causando pérdidas a la agricultura, ganadería e industria. De aquí nació la idea de la construcción de las Presas Pujal Coy para utilizar los excedentes en el riego.

Para cimentar una presa es necesario que el sitio cumpla ciertas condiciones topográficas, geológicas y geotécnicas generales.

Cada unidad litológica presenta dificultades que se sortean -- con el cambio de sitio seleccionado o un tratamiento complementario, o sea que cada roca que constituye o integra las unidades presentes deben tener baja permeabilidad, alta resistencia, poca alterabilidad, estabilidad, cohesión, densidad, fracturamiento escaso o nulo, etc., todos estos requisitos implican estudios detallados "in situ", en el laboratorio y de acuerdo a las condiciones que presenten se aplican tratamientos

para mejorar su calidad de acuerdo a pruebas o experiencias pasadas.

Uno de estos requisitos que se le piden al geotecnista es que las unidades litológicas sean impermeables.

Las calizas, como todas las rocas en general, poseen permeabilidad variable y los factores geológicos que influyen en la permeabilidad de las rocas calcáreas son: diagénesis, composición mineralógica y química, posición estratigráfica, medio ambiente de depósito y tectónica.

En México los afloramientos de rocas calcáreas representan el 40% de las rocas expuestas y, para su clasificación se han agrupado en más de 30 formaciones con características definidas.

En algunas localidades las calizas son muy permeables y cárticas, aún así la Ingeniería Civil ha sorteado estas dificultades para poder cimentar obras hidráulicas en estos terrenos. Como ejemplos se tiene la cimentación en el sureste del Proyecto Hidráulico Angostura y Chicoa - sèn sobre el cauce del Río Grijalva, el Proyecto Hidráulico Presidente - Miguel Alemán y su ampliación con la Presa Cerro de Oro sobre el Río Papa loapan y la Presa Benito Juárez sobre el Río Tehuantepec, las cuales se analizan brevemente en este trabajo.

El problema de la carsticidad se resolvió en la generalidad de los casos con tratamientos de inyección de mezclas de cemento - bentonita-agua en diferentes proporciones para disminuir la permeabilidad de las u-

nidades calcáreas y mejorar sus condiciones geotécnicas en general.

Las experiencias y resultados de estos tratamientos se pretenden aplicar en el Proyecto de Presas Pujal - Coy que a la fecha y de acuerdo a los datos obtenidos de las numerosas exploraciones efectuadas, uno de los problemas que se presentan para la construcción es la presencia de calizas cársticas con alta permeabilidad.

#### 1.1 Objetivo del estudio

El objetivo del presente trabajo consiste en la correlación de la cinemática cárstica o sea el proceso mediante el cual se desarrolla este fenómeno que da como resultado la creación de formas geomorfológicas diversas mediante un análisis de las calizas, rocas que son principalmente afectadas, con la definición de sus características, propiedades y la distribución geográfica general en el país.

Para aplicar estos conceptos teóricos se hizo un análisis de cuatro presas que se cimentaron en unidades calcáreas con desarrollo cárstico que presentan alta permeabilidad, este estudio se realizó con la finalidad de conocer la solución que se aplicó a cada caso.

Teniendo los antecedentes de los tratamientos efectuados se tomó el Proyecto de Boquillas Pujal - Coy sobre el Río Tampaón en el Estado de San Luis Potosí, para hacer un resumen detallado de las exploraciones y dado que una de las dificultades que se tienen que sortear para su construcción es la presencia de calizas de la Formación El Abra con desarrollo

de carsticidad superficial se pretende que se apliquen algunas soluciones ya ejecutadas con anterioridad.

## 1.2 Método de trabajo

Para lograr el objetivo enunciado con anterioridad se hizo un programa de trabajo que consistió en la recabación de información, interpretación de la misma y observación directa de campo para finalmente dar conclusiones y recomendaciones.

I Se reunió información sobre las calizas, en cuanto a su origen, estructuras, comportamiento mecánico, distribución geográfica en México y la cinemática de la carsticidad.

II Para establecer un cuadro comparativo de los problemas de carsticidad en presas, se analizaron cuatro ejemplos de presas cimenta - das en calizas, mediante la investigación del proceso de estudio y cons - trucción de las mismas y en el caso de la Presa Cerro de Oro, que recientemente fue puesta en operación, se hizo una visita para observar las so - luciones que se llevaron a cabo para eliminar los problemas de alta permea - bilidad.

III Aplicando a detalle los estudios teóricos del capítulo 2 y 3 y los prácticos del capítulo 4, se consideró el proyecto del sistema - de Presas Pujal - Coy (a la fecha se han concluido los estudios prelimi - nares y de detalle) para analizar la carsticidad.

Con la recopilación de los estudios llevados a cabo desde 1959 se logró seguir, paso a paso, la selección del sitio de desplante que - debido a la alta permeabilidad dió un gran número de alternativas, cada una con sus análisis respectivos, lo que permitió conocer las opciones -- a seguir.

IV Se realizó una interpretación de fotos aéreas, escala ---- 1: 20 000 para observar los rasgos cársticos, las estructuras y contactos litológicos, y de esta manera apoyar el estudio geológico del sitio.

V Posteriormente se realizó un reconocimiento geológico de --- campo del área de estudio para verificar algunos datos geológicos y recorrer los sitios para cada alternativa, así como el área del embalse y la ubicación de las obras auxiliares.

VI Reunida la información anterior se procedió a procesarla y analizarla, elaborando tablas comparativas, para dar las conclusiones y recomendaciones del sitio, así como de los problemas que en la Geotecnia representa la carsticidad.

## 2 CARSTICIDAD

### 2.1 Generalidades

Carsticidad es un término amplio, aplicado a rocas calcáreas o dolomíticas que poseen una topografía peculiar, resultado de la disolución subterránea de las rocas y que es consecuencia de la desviación de las aguas superficiales hacia cauces subterráneos. El término proviene de la franja estrecha de una meseta de caliza de Yugoslavia, por lo que significa "campo de piedras calizas" y corresponden a la composición litológica de la zona del Adriático, pequeña parte de los Alpes Dináricos, donde se presenta un conjunto extraordinario de formas rocosas que tienen un origen dependiente de la disolución subterránea. La mayoría de las zonas cársticas están en regiones donde hay rocas carbonatadas, las cuales pueden ser de cualquier clase, incluyendo las dolomíticas. También se encuentran en otras rocas solubles, como yeso o sal gema, pero éstas ocupan áreas insignificantes si se comparan con las extensiones que ocupan las rocas carbonatadas.

### 2.2 Cinética cárstica

En las zonas donde se localizan rocas solubles se encuentran formas cársticas en diferentes etapas, por tanto, para cada región se tienen formas características. Se han estudiado varias zonas típicas para definir las condiciones que se deben cumplir para el desarrollo del carst. Se ha logrado establecer que las condiciones necesarias para la formación de un carst son cuatro y se mencionan en seguida:

- 1 Debe existir en la superficie, o cerca de ella, una roca so-

luble, de preferencia caliza pura, ya que el desarrollo de las oquedades es directamente proporcional a la pureza de la roca, es decir, a mayor pureza mayor solubilidad.

2 La presencia de rocas densas con abundancia de diaclasas y estratificación delgada favorece la permeabilidad de la roca; por lo que se puede establecer la relación de que a mayor permeabilidad mayor solubilidad.

3 Una topografía adecuada, con valles encajonados abajo de tierras permeables para que el agua se infiltre a través de ellas y afluya en ríos superficiales. La relación es: a mayor cuenca de captación mayor disolución.

4 Precipitación de moderada a abundante, ya que las zonas cársticas tienen relación directa con la precipitación.

### 2.3 Formas cársticas

Sobre una zona calcárea se localizan una serie de puntos de absorción, de tal modo que por ellos penetra el agua pluvial o la de escorrentamiento, circulando a continuación a través de las fisuras hasta emerger en el contacto de la caliza con el estrato impermeable, originando así la forma cárstica.

La zona superficial o de absorción posee formas muy características que se les denomina formas de absorción o exocársticas y son de

dos tipos distintos: cerradas y abiertas, las principales son: (Figura 2.1)

**CERRADAS:** Dolinas, úvalas, poljes, valles muertos, valles ciegos y valles perdidos.

**ABIERTAS:** Simas, sumideros, cuevas, ponors.

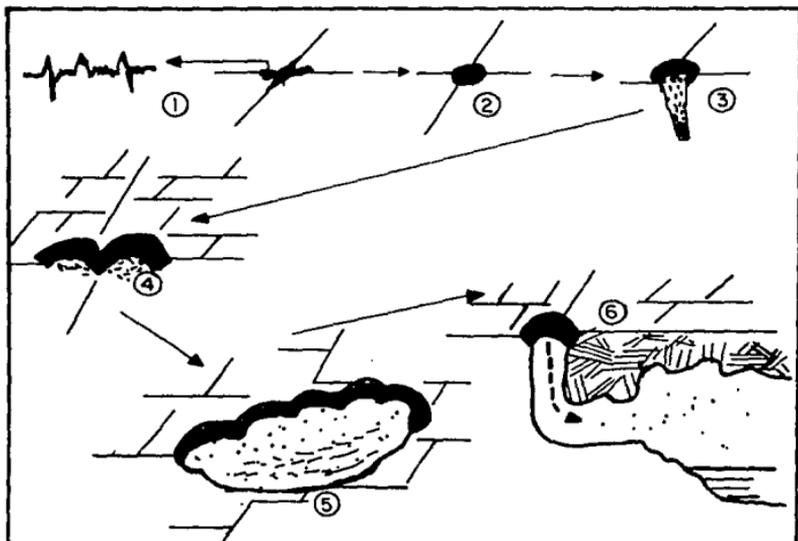
Formas superficiales cerradas. En estas formas la absorción se realiza lentamente y sus características principales son las siguientes.

- Dolinas

Las dolinas son depresiones cársticas generadas por disolución en su forma primaria, en la intersección de dos diaclasas o por las fisuras menores creando una zona de máxima disolución. La caliza se ve afectada con mayor intensidad cuando está más próxima a la zona del centro de las diaclasas. La disolución de la caliza, formación de "terra rosa", descalcificación y consiguiente pérdida de volumen, determinará el hundimiento lento de toda la zona afectada a partir de su centro, originándose entonces una depresión circular llamada dolina.

En la dolina se reconocen dos regiones: la externa o embudo y la interna o chimenea.

El tamaño de las dolinas es muy diverso, oscilando desde algu-



- 1.- Sistemas de diaclasas en corte ortogonal, los fenómenos de disolución---  
---son mayores en el punto de intersección. (Lapiaz)
- 2.- Depresión circular en forma de embudo, con depósitos de terra rosa.
- 3.- Desarrollo de la dolina en profundidad.
- 4.- Uvalde, no necesariamente sigue esta secuencia ya que directamente---  
---puede pasar a sima
- 5.- Polje, cuando las condiciones se dan, la uvalde ocupa mayor área en---  
---superficie.
- 6.- Sima o sumidero con desarrollo interior de cavernas y grutas.  
(Llopis, 1970)

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHES  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

FORMAS CARSTICAS Y  
PROCESO DE FORMACION

1989

FIG: 2.1

nos metros hasta centenares

Su forma depende de la mayor o menor disolución, si la disolución es igual será circular, cuando la disolución progresa más por una dirección serán ovaladas, si la profundidad es mayor serán de tipo embudoforme y si es menor será de artesa.

La evolución de las dolinas conduce hacia dos líneas de desarrollo diferentes. Si el predominio es de desarrollo superficial, las formas serán cerradas y si el predominio de desarrollo es vertical en profundidad las formas serán abiertas.

- Uvalas

Cuando las dolinas evolucionan en superficie más rápidamente que en profundidad y los bordes de dos individuos próximos se conjugan o riginan una depresión más amplia, llamada uvala.

Este tipo tiene una forma elipsoidal cuando deriva de la conjugación de dos dolinas, pero cuando éstas se juntan a otras, las formas pueden llegar a ser muy irregulares, pero conservan casi siempre parte de sus formas primitivas.

Su extensión superficial dependerá de las dolinas que las engendran y de la importancia del campo de dolinas en el que se desarrolle llegando a ser de algunos metros hasta centenares.

- Poljes

Son formas de absorción del carst de mayor extensión superficial. Sus dimensiones oscilan de 2 a 60 km de longitud por 1 a 19 km de ancho. Son formas alargadas en el sentido de los accidentes tectónicos, de fondo plano, cubiertas de sedimentos de entre las cuales emergen islotes rocosos fuertemente carstificados y atravesados por cavernas muertas llamadas "hum". Desde el punto de vista hidrológico hay tres tipos: poljes secos, poljes inundados permanentemente y poljes inundados recurrentemente.

Los poljes se pueden originar por la progresiva conjugación de dolinas y ávalas, por el desarrollo de ávalas sobre una falla, por carstificación de una zona tectónica y la fosa tectónica es una forma muy propicia para el desarrollo de los poljes.

A medida que progresa su madurez se va hundiendo poco a poco, por lo que cuando más maduro sea un polje más próximo estará de la capa impermeable subyacente y estará más largo tiempo inundado hasta llegar a la senilidad, cuando la capa impermeable casi aflora, el polje estará inundado permanentemente.

- Valles muertos, ciegos y perdidos

Estos tres tipos de valles son llamados epígeos ya que han dejado de funcionar a consecuencia de la carstificación en las zonas de sus cabeceras. Son regiones cársticas que han sufrido los acusados cambios climáticos glaciares e interglaciares; durante los períodos pluvia

Les interglaciares los aparatos cársticos no podían absorber la totalidad de las precipitaciones y así se formaron redes fluviales permanentes o accidentales en las regiones cársticas que dejaron de funcionar durante los glaciares y que hoy se encuentran en forma de valles muertos. Estos valles son en cierta manera formas de absorción puesto que aún son susceptibles de funcionar durante las grandes precipitaciones.

Los valles ciegos son formas desarrolladas sobre diaclasas o fallas que presentan formas alargadas, los valles ciegos pueden estar recorridos por arroyos epigeos subsecuentes cuya hidrografía ha sido desorganizada por el carst. Si sobre uno de los valles epigeos comienza a producirse una absorción cárstica, la circulación se desorganiza y se producen divisorias de aguas subterráneas y superficiales a lo largo del valle subsecuente originándose así los valles ciegos, también pueden producirse sobre las penillanuras en las zonas deprimidas, generándose del mismo modo que en los valles subsecuentes.

Los valles ciegos desde el punto de vista de absorción tienen casi la misma importancia que los poljes, su infiltración se realiza a todo lo largo de sus talwegs. Los valles ciegos recién constituidos presentan casi intactos todos sus atributos. Los talwegs epigeos continúan funcionando del mismo modo que antes de generarse el valle ciego; cuando llevan mucho tiempo funcionando como tales, su morfología se modifica poco a poco y se asemeja cada vez más a la de las uvalas.

Las zonas de valles perdidos constituyen una forma de transi -

ción a las formas abiertas. En ríos que cortan regiones cársticas procedentes de otras áreas no calcáreas, se observan sensibles disminuciones de caudal cuando salen de la región cárstica. Estos caudales desparecidos deben haber sido absorbidos por diaclasas o fracturas existentes en la vaguada e incorporados a la circulación cárstica general del macizo. Cuando los caudales que tienen los ríos son precarios e inferiores a los que se absorben en las zonas de pérdidas el río queda seco en una zona de corta extensión.

Formas superficiales abiertas. Difieren fundamentalmente de las formas cerradas en los volúmenes de agua que son capaces de absorber. En las formas abiertas la absorción se realiza en masa, no obstante entre unas y otras existen estrechas relaciones, que comienzan en la génesis de las formas abiertas más elementales, el origen se da a partir de las formas cerradas.

#### - Simas

Cuando la evolución de una dolina progresa más en profundidad que en superficie se produce un continuo hundimiento que es consecuencia de que la dolina se ha instalado sobre un conjunto de diaclasas o sobre una falla, dando como resultado un hundimiento brusco de los bloques de la chimenea de la dolina. Esto sólo sucederá cuando por debajo de la misma existen ya huecos determinados por la misma disolución o que ya existían los huecos antes de la instalación de la dolina. Cuando todo esto sucede se genera una forma de absorción abierta denominada sima cuya topografía es fundamentalmente de desarrollo vertical.

En la generación de una sima por decalcificación se deben considerar las fases siguientes:

Ensanchamiento de la intersección de las diaclasas madres -- (fase premonitoria), generación de una dolina de fondo plano (fase juvenil), relleno diverso, intensa decalcificación en profundidad, generación de embudos satélites (fase de madurez) y multiplicación de los - embudos satélites, hundimiento total (fase de senilidad).

La sima no tiene que ser forzosamente una forma abierta, en ocasiones los clastos procedentes del hundimiento generador se acumulan en zonas más estrechas, menos descalcificadas y obstruyen la continuidad topográfica en profundidad y también el paso del agua que es previamente filtrada a través de la acumulación de material clástico.

#### - Sumideros

En el transcurso de la evolución de las dolinas a simas, la capacidad absorbente de las nuevas formas va en aumento progresivo, llegando a ser la absorción masiva, en este caso la sima recibe el nombre de sumidero.

Así se tienen tres tipos de sumideros de acuerdo al tiempo de acción. Son sumideros permanentes si pueden actuar constantemente, formando de esta manera las absorciones normales de arroyos y aún ríos interiores. Sumideros accidentados si actúan únicamente durante las crecidas de los ríos o en los períodos de fuertes precipitaciones, y sumide -

ros periódicos si tienen régimen estacional, funcionando sólo en primavera durante la fusión de nieves o en otoño en período lluvioso.

Los sumideros son muy frecuentes en zonas de montañas, donde los caudales de agua generados por fusión de nieves son tan grandes que no pueden ser absorbidos por el carst o en zonas de plegamiento donde alternan capas calcáreas con otros materiales a menudo impermeables.

- Cuevas o cavernas

Resultado de la acción conjunta de la disolución y de la erosión sobre las fisuras, las cuales van siendo progresivamente ensanchadas por estos procesos, los volúmenes de aguas absorbidos y circulantes van siendo mayores, hasta que llega el momento en que el volumen de las cavidades es superior al del agua circulante, en cuyo momento nace la caverna. Por la acción conjunta de la corrosión y erosión llega a formarse una auténtica red de conductos penetrables, que al quedar en seco por un cambio climático o por una modificación del nivel de base constituyen verdaderas redes de cavernas.

Dentro de la clasificación de cuevas o cavernas quedan incluidas aquellas formas de conducción penetrables, con desarrollo horizontal, llamadas también grutas o cuevas...

Cuando las cavernas conducen agua cárstica se llaman activas o vivas, cuando están secas se denominan muertas o inactivas. La mayoría de las cavernas son muertas o poco activas y de ahí que puedan ser

penetrables.

Desde el punto de vista topográfico, las diferentes partes de una caverna suelen tener nombres diferentes. Corredores, cuando son largos y relativamente estrechos; gateras, si son muy estrechos, bajos y corrios; galerías, si son muy altos; salas, cuando se extienden en superficie formando cavidades amplias, y salones si son muy altos de techos.

Las dimensiones de las cavernas son muy variadas. Las que se ven en la actualidad son formas parciales porque han sido obstruidas por procesos evolutivos internos y no son transitables en gran parte. Se encuentran cavernas que tienen longitudes desde metros hasta varios kilómetros y su forma es muy variable.

- Pónors

Estas formas de absorción se pueden denominar híbridas, ya que actúan como absorbentes o emisoras según sea la precipitación en determinada época.

### 3 CARACTERISTICAS DE LAS CALIZAS

#### 3.1 Definición de caliza

Es un término general, según Pettijohn, para las rocas que contienen 80% de carbonato de calcio y magnesio. Esta es una definición literal de caliza, los geólogos la usan para englobar un gran grupo de rocas. El término carbonatita también ha sido usado para estas rocas -- (Kay, 1951, p 5), pero ha sido abandonado porque se aplica a ciertas rocas no sedimentarias.

En general, el término caliza se aplica únicamente a las rocas en las que la fracción de carbonatos excede a los constituyentes no calcáreos. Si por ejemplo, la cantidad de arenas de detritos de cuarzo está presente en más de 50% el nombre usado será arenisca calcárea. (Pettijohn, 1975).

Caliza se usa para rocas en las que la fracción de carbonatos está compuesta primariamente de calcita y aragonita, y el término dolomía se reserva para rocas que están compuestas primariamente del mineral dolomita.

Desafortunadamente caliza se aplica para un grupo diverso de rocas.

#### 3.2 Composición química

Con el nombre de caliza se designan en realidad un conjunto de rocas de composición a veces bastante heterogénea, si bien en todas e -

llas domina como componente el carbonato de calcio  $[CaCO_3]$ . En las calizas analizadas por Pettijohn, el contenido de carbonato cálcico excede - al 95%. El resto está constituido por carbonato magnésico  $[MgCO_3]$ , sílice, alúmina, óxido de hierro y manganeso, álcalis y aún otros componentes en mucha menor proporción, [Flügel, 1968]. En la tabla 3.1 tomada - de Pettijohn (1963), puede verse la composición cuantitativa de algunas calizas.

Esta tabla demuestra claramente lo que antes se ha dicho del contenido mineral de la caliza. No obstante, las proporciones de sus - principales componentes pueden variar considerablemente y aparece entonces una serie de rocas emparentadas con la caliza que pueden tener todavía alto contenido de carbonato de calcio, cuya composición difiere en mucho de las calizas tipo. Por esto hay que considerar la existencia de una familia de rocas calizas con composición bastante diversa y orígenes diferentes. El término más próximo a las calizas tipo son las dolomías que se forman cuando la cantidad de carbonato de magnesio se eleva al 40%. Entre calizas y dolomías existe una gama de términos intermedios - que se denominan colectivamente calizas dolomíticas. Igualmente cuando la sílice aumenta desproporcionadamente se forman las calizas silíceas - cuyo límite extremo son las granitas cuando la sustitución de carbonato de calcio por el sílice ha sido casi total.

### 3.3 Composición mineralógica

La caliza es una roca compleja no sólo en su composición química, sino también en su contenido mineral. Con los minerales constituti-

TABLA 3.1 COMPOSICION QUIMICA DE CALIZAS REPRESENTATIVAS

COMPONENTE	(1) a	(2) b	(3) c	(4) d	(5) e	(6) f
SiO2	0.07	7.41	2.55	1.15	13.80	2.38
TiO2	-	0.14	0.02	-	-	1.57
Al2O3	0.68	1.55	0.23	0.45	7.00	-
Fe2O3	0.08	0.70	0.02	-	4.55	0.56
FwO	-	1.20	0.18	0.26	-	-
MnO	-	0.15	0.04	-	0.29	-
MgO	0.59	2.70	7.07	0.56	1.32	0.59
CaO	54.54	45.45	45.65	53.80	38.35	52.48
Na2O	0.16	0.15	0.01	0.07	2.61	-
K2O	-	0.25	0.03	0.07	0.86	-
H2O+	-	0.38	0.05	0.69	-	-
H2O-	-	0.30	0.18	0.23	-	-
P2O5	-	0.16	0.04	-	0.25	-
CO2	42.90	39.27	43.60	42.69	31.31	41.85
SO3	0.06	0.02	0.03	-	-	-
S	0.25	0.25	0.30	-	-	-
ORGANICOS	-	0.09	0.04	-	-	-
TOTAL	99.33	100.16	100.02	99.97	100.34	99.43

a CALIZA INDIANA (Selma Mississipiano), A W Epperson, analista; D F Loughlin, U S Geol Survey Bull 811-C, pagina 130, 1929.

b CALIZA CRINOIDAL (Brassfield, Silurlano, Ohio), D Schaaf, analista; M S Stout, U S Geol Survey Bull, Ohio, pagina 77, 1941.

c CALIZA DOLOMITICA (Formación Monroe, Devoniano, Ohio), D Schaaf, analista; F W Clarke, U S Geol Survey Bull, pagina 132, 1941.

d CALIZA LITOGRAFICA (Solenhofen, Baviera, Alemania), Q Stelger, analista; F W Clarke, U S Geol Survey Bull, 770, pagina 564, 1924.

e CALIZA ARCILLOSA (Roca de cemento natural), Caliza de Lower Fraport, Ohio, P J Demanet, analista; M Stout y B Lamborn, U S Geol Survey Bull, Ohio, 28, pagina 195, 1924.

f CRETA (Fort Hays, Cretácico), Condado Ellis, Kansas, B T Runnels y Dobbins, U S Geol Survey Bull, 82, parte 1, 1949.

<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
<b>ANA REYES SANCHEZ</b>	
<b>LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE</b>	
<b>COMPOSICION QUIMICA DE CALIZAS REPRESENTATIVAS</b>	
1989	TABLA 3.1

vos de las calizas podrían hacerse tres conjuntos:

1 Minerales carbonatados. Calcita, aragonita, dolomita, ankerita y siderita.

Como las calizas son rocas carbonatadas, los minerales esenciales son carbonatos como calcita y aragonita. Algunas calizas contienen -- también calcio y magnesio como ankerita, dolomita y siderita. De éstos la calcita y dolomita son los más abundantes, en menor cantidad la aragonita, ankerita y siderita. Todos, excepto la aragonita son exagonales, uniaxiales, signo negativo y crucero romboedraal perfecto ----- ( 1 0 1 1 ).

Los minerales dolomita, siderita y ankerita tienen caras de -- crucero curvo, una fractura normalmente observada sólo en cristales muy grandes, todos tienen muy alta birrefringencia y relieve variable al girar en la platina del microscopio petrográfico.

La calcita y dolomita son las más difíciles de diferenciar entre sí. El hábito normal del cristal de calcita es escalenoedraal, por -- tanto, asume la forma rómbica también característica de la dolomita, excepto para ciertos rellenos de veta y geoda, los raros "cristales de arena" y los mosaicos anedrales. En oolitos y algún cemento precipitado -- puede tener un hábito radial o fibroso.

En la tabla 3.2 se muestran las propiedades de estos minerales

TABLA 3.2 DIFERENCIAS MINERALOGICAS ENTRE CALCITA Y DOLOMITA  
(FRIEDMAN, 1971)

	CALCITA	DOLOMITA
HABITO CRISTALINO (EN ROCAS)	Anedral: raramente romboedral	Romboedral: puede ser zonado
INDICE DE REFRACCION	O - 1.658 E - 1.486	O - 1.680 E - 1.501
SOBRE UNA CARA DEL - CRUCERO	1.566	1.588
BIRREFRINGENCIA	0.172	0.179
GRAVEDAD ESPECIFICA	2.71	2.87
SENSIBILIDAD AL ACIDO CLORIDRICO	Rápidamente soluble en ácido diluido -- trfo	Muy poco soluble en ácido diluido trfo
TEÑIDO	Rápidamente toma un teñido con dicroma- to de plata	No es teñida con dicromato de pla- ta
INTEMPERISMO	Tiende a raspadura blanca	Tiende a rosado porque contiene pequeñas canti- dades de Fe CO3

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

DIFERENCIAS MINERALOGICAS ENTRE  
CALCITA Y DOLOMITA

1989

TABLA 3.2

según Friedman (1971).

La calcita de la caliza es un constituyente original (primario) y un mineral diagenético (secundario). Los organismos constituyentes de la roca usan calcita y aragonita en sus estructuras esqueléticas. Algunos minerales son aragoníticos, algunos exclusivamente calcíticos y otros son en parte aragoníticos y en parte calcíticos. La calcita con pocas excepciones es puro carbonato de calcio y son relativamente pobres en hierro y magnesio. Por otro lado, las partes duras de algunos invertebrados contienen una proporción significativa de carbonato de magnesio en solución sólida y forman las llamadas "calcitas altamente magnesianas".

Algunas contienen arriba del 18% de carbonato de magnesio. Estas calcitas son inestables y las rocas del Mesozoico más antiguas que contenían dicho porcentaje de carbonato de magnesio ahora están virtualmente pobres en magnesio. Raramente la calcita con magnesio persiste a través del tiempo, (Pettijohn, 1975).

La aragonita es un mineral polimorfo de carbonato de calcio, ortorrómbico y difiere en sus propiedades ópticas y físicas.

La siderita es rara y generalmente es un constituyente menor de algunas calizas. El hierro ferroso está presente por lo común en el mineral dolomita, pero en pocos casos las rocas calcáreas asociadas con rocas ferrosas sideríticas, ocurren como rombos sideríticos.

## 2 Minerales silíceos. Cuarzo, feldespatos y arcillas.

Así como hay calizas muy puras y constituidas casi completamente de uno o más minerales carbonatados, otras tienen pocos o gran contenido de variados minerales. El sílice en diferentes formas es un constituyente menor común de muchas calizas. Más generalmente está presente como calcedonia y puede estar diseminado a través de la roca, comúnmente está segregada en grandes nódulos, el pedernal es de grano fino y diseminado, difícil de detectar en sección delgada. También ocurre como pequeñas esferulitas o relleno entre los rombos de dolomita de algunas rocas dolomitizadas.

El sílice también ocurre como pequeños cristales euedrales con estructuras primarias y es así por lo tanto autigénico. Muchas calizas y dolomitas especialmente calcarenitas, contienen granos de cuarzo detritico. En algunos casos éstos son sobrecrecimientos con cuarzo secundario y forman un gran cristal de cuarzo regenerado.

Los feldespatos como algunos cuarzos, ocurren como subedrales autigénicos como un constituyente menor en muchas calizas y dolomías, así en casos raros, los feldespatos pueden formar tanto como el 40% de la roca. (Caliza Siyeh, Precámbrico, Parque Nacional Glaciar, Montaña localizada en Hatch, Rastall y Black, 1938)

Los minerales arcillosos son uno de los contaminantes más comunes de las rocas carbonatadas. Las arcillas no se identifican en láminas delgadas por sus granos finos y diseminación, pero aparecen en resi-

duos de ácido insoluble preparado de muchas calizas. La naturaleza de los minerales arcillosos se determina mejor por difracción de rayos X.

3 Diversos accesorios. Glauconita, pirita, colofano, yeso y anhidrita.

Estos minerales se encuentran en menos del 0.10% en algunas calizas, en otras no hay rasgos.

La glauconita ocurre como granos redondeados y como cementante en areniscas verdes. El colofano como residuos esqueléticos, fosfáticos, conchas, braquiópodos, huesos de pescado, etc. La pirita ocurre diseminada a lo largo de los bordes de los residuos fósiles, en agregados esferulíticos, en nódulos, etc.

La presencia del yeso y anhidrita normalmente no es común en calizas, en dolomías llegan a ocurrir como moldes remplazados o nódulos de 1-3 mm a 3 cm de diámetro, como en la dolomía de la Formación Bellerghan del Permiano Superior en Italia, (Rosellini y Hardie, 1973, Sedimentología, volumen 20, número 1)

Así pues, la composición mineralógica de las calizas puede seguir varias líneas evolutivas. Enriquecimiento en carbonato magnésico, pasando primero a calizas dolomíticas y luego a dolomías, enriquecimiento en sílice coloidal, dando primero calizas con sílex y pasando luego a ftanitas, enriquecimiento en cuarzo detrítico dando calcarenitas y final

mente areniscas y enriquecimiento en arcilla dando primeramente calizas margosas para transformarse luego en mergas. Finalmente todos estos materiales pueden metamorfizarse y transformarse en cipolinos, mármoles, anfibolitas, oñicalcitas y granatitas a tenor de su composición inicial.

### 3.4 Génesis

La caliza es poligenética. Algunos son fragmentos o detritos que son transportados mecánicamente y depositados, otros son precipitados químicos o biológicos y se forman "in situ". Es una roca sedimentaria, formada en cuencas marinas o lacustres y aún en ambientes subaéreos. Kayser elaboró una clasificación que las agrupa en tres divisiones fundamentales. Puede ser detrítica cuando resulta de la concentración de restos de la disgregación de otras rocas calizas ya existentes, como ocurre con las calcarenitas, calcilutitas y molasas. Como sucede con las rocas detríticas en general, las calizas clásticas tienen variación en su granulometría, de manera que pueden presentarse bajo la forma de conglomerados calizos, molasas o calizas litográficas, estas últimas de granulometría muy fina.

Puede ser roca de precipitación química o bioquímica como los travertinos, tufa, coquina y creta depositadas en las cuencas lacustres y aún a la salida de las emergencias cársticas (calizas litoquímicas) y las concreciones de las cavernas que genéricamente pueden llamarse estalagmitas y estalactitas.

Pero la caliza por excelencia es una roca organógena, formada por la concentración de millares y millones de caparazones de foraminíferos, acumulaciones de conchas de moluscos o de braquiópodos. Otros muchos grupos biológicos pueden contribuir a la generación de caliza, como los arrecifes de briozoos, tabulados y estromatopóridos. En el Cámbrico existieron los archeocyatidos, organismos de arrecifes que fueron los autores de las primeras acumulaciones de calizas arrecifales hace unos 600 millones de años.

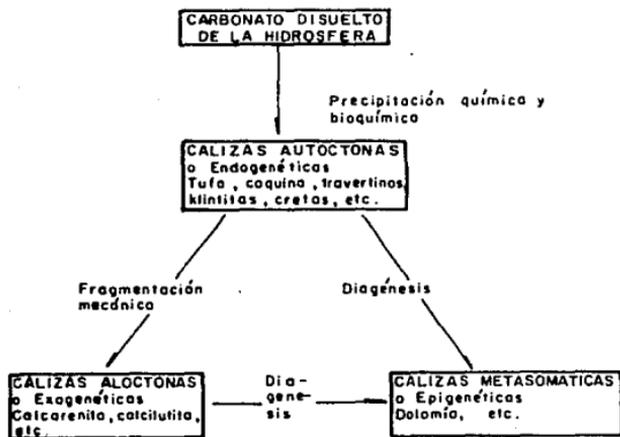
Finalmente, las calizas sometidas a los procesos de metamorfismo, pueden cambiar totalmente de características y aún de composición. La transformación más elemental consiste en un enriquecimiento de carbonato de calcio por recristalización dando los cipolinos y mármoles de Carrara, que constituyen las rocas más puras por su alto contenido en carbonato de calcio (98.6%). Una transformación mayor consiste en un enriquecimiento de sílice y generación en silicatos de calcio, originándose las anfibolitas y oficalcitas, rocas que difieren ya mucho de las calcitas.

Una de las clasificaciones genéticas más conocidas es la de Pettijohn mostrada en la tabla 3.3.

### 3.5 Textura

El estudio de la textura de las calizas no se había abordado hasta hace muy pocos años. Existen ya diversos autores, como Wolt (1960), Ham (1962), Friedman (1965), que se han ocupado de él. De

TABLA 3.3 CLASIFICACION GENETICA DE LAS CALIZAS  
(Pettijohn, 1963)



U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

CLASIFICACION GENETICA  
DE LAS CALIZAS

1989

TABLA 3.3

entre todos es necesario hacer destacar las ideas de Folk (1959), que han conducido hacia una clasificación textural de las calizas y sobre todo a establecer la relación entre la textura y la hidrodinámica del medio sedimentario. Para Folk, en la textura de las calizas hay que distinguir dos tipos de elementos diferentes.

1 Aloquímicos. O elementos alotígenos que forman la armazón o gracción característica de la textura, son producidos química o bio-químicamente y pueden ser agrupados en cuatro categorías.

- Intraclastos. Fragmentos que han sido arrancados de sedimentos débilmente consolidados y redepositados nuevamente como clastos en un nuevo esqueleto, parecen haberse producido por erosión de los sedimentos carbonáticos semiconsolidados, muchos son aplanados, paralelos a los planos, están redondeados, varían de tamaño desde las arenas finas hasta conglomeráticas, muchos están compuestos de calcita microcristalina (caliza litográfica).

- Pellets o píldoras. Agregados de calcita microcristalina redondeados, esféricos o elípticos, sin estructura interna.

- Fósiles. Restos de partes duras de organismos. Son muy abundantes, pueden estar diseminados, transportados por corrientes. Los principales organismos se mencionan a continuación:

Algas calcáreas, segregan carbonato de calcio y los ejemplos

más corrientes incluyen *Lithothamnion* (Cretácico a la actualidad), *Solenopora* (Ordovícico al Jurásico), *Girvanella* (Ordovícico a Jurásico) y *Coccosferas* (Cretácico).

Formas silíceas, las diatomeas (Jurásico a la actualidad) cuya pared celular está impregnada de sílice al igual que el esqueleto.

Foraminíferos, (Ordovícico a la actualidad) la mayoría de las formas paleozoicas tienen un esqueleto formado por aglutinación de partículas. Las formas calcáreas son corrientes en las calizas del Paleozoico Superior, como en el Carbonífero Inferior de Gran Bretaña y calizas marinas del Pérmico en zonas de Rusia Central y Estados Unidos (según Black, 1976). Se conocen muchas especies de foraminíferos como la *Globigerina* planctónica, *Saccamina*, *Lagena*, *Nummulites* y *Rotalia* que son bentónicos.

Poríferos, también conocidos como esponja con esqueleto que puede ser silíceo, orgánico o calcáreo. Un ejemplo de fósil es el *Raphidoneura* (Triásico al Cretácico) de esqueleto calcáreo.

Bryozoos, organismos acuáticos con esqueleto protector (Ordovícico a la actualidad).

Crustáceos como las ostrácodos, que son pequeños con el cuerpo encerrado en un caparazón calcáreo, (Ordovícico a la actualidad).

Equinodermos, animales marinos (Paleozoico a la actualidad), las principales clases son Echinoidea, Crinoidea, Asteroidea, Crustáceos y Blasteoideos.

Gasterópodos, (Cámbrico a la actualidad) hay una gran variedad de fósiles en las calizas del Silúrico Medio y en los arrecifes del Carbonífero Inferior. Algunas especies desaparecieron en un periodo - muy corto, algunos ejemplos son Bellerophon y Euomphalus (Carbonífero - Inferior), Fusinus y Athleta (Eoceno).

- Volitos. Cuerpos pequeños, esféricos en general, ocurren - en sedimentos, tienen diversa composición mineralógica y se presentan en variedades amplias en cuanto a su estructura interna. Se les considera como tipo de textura endogenética.

Los oolitos son cuerpos acrecionales con tamaño de 0.25 a 2.0 mm de diámetro, si son mayores de 2.0 mm se les llama pisolitos.

Sólo se aprecia un centro de crecimiento, aún cuando puede tener más de uno. Son silíceos, dolomíticos, hematíticos, piritosos, calcáreos, los últimos constituyen la mayoría.

Los oolitos se encuentran en rocas de todas las edades del Cámbrico al Reciente. Ocurren fundamentalmente en calizas asociadas a estratificación cruzada.

Se puede decir que son precipitados inorgánicos, ocurridos en corrientes turbulentas. También se les atribuye origen orgánico a partir de algas. Otra teoría plantea su origen a partir de la precipitación de geles como el caso de la bauxita.

2 Matriz o cemento. Formado por dos elementos.

- Micrita. Carbonatos del tamaño de la arcilla (1 a 4 micras). (Aragonita o calcita)

Micrita si es de aragonita. Si es de dolomita se llama dolomita. Micrita se emplea para definir el carbonato de calcio microcristalino, que puede formarse por inversión de aragonita a calcita, por atrición o sea origen mecánico o por diagénesis. El término de micrita se emplea para denominar a las calizas de grano muy fino (calcilutitas) con 50 micras o menos de diámetro, depósitos asentados por corrientes. A los depósitos formados por precipitación se les denomina calcipulveritas.

- Espatita. Material "limpio", cristalino, grueso y mostrando límites bien definidos de granos y trazas de crucero, contenido en muchas calizas como calcita gruesa.

Su ocurrencia es muy variada, como cemento relleno de poros, el tamaño de la espatita depende del grueso del esqueleto y de los poros.

Los huecos pueden ser rellenos en parte por sedimento y en parte por espatita en cuyo caso el sedimento forma la base y la espatita la parte superior de la cavidad, formando así la fábrica geopetal.

La espatita también se forma como resultado de cristalización de carbonato micrítico.

La fábrica híbrida involucra micrita y espatita, es la textura grumosa caracterizada por grumos o agrupamientos de micrita rodeados por matriz espatítica.

### 3.6 Estructuras

Como toda roca sedimentaria, la caliza presenta las siguientes estructuras que se clasifican como sigue: Estructuras inorgánicas y orgánicas. Las estructuras inorgánicas se dividen en primarias o mecánicas como la estratificación convoluta, cruzada, gradada y laminaciones y químicas o secundarias como las estilolitas, concreciones, geodas, nódulos, septaria y boudinage.

Como estructuras orgánicas se tienen los estromatolitos y calcos.

1 Estructuras inorgánicas mecánicas o primarias. Son formas primarias producidas al tiempo de acumulación del sedimento, pueden ser hidrodinámicas o sea producidas por corrientes o neológicas producidas por deformación hidroplástica sinsedimentaria.

Las estructuras se manifiestan ante todo por la presencia de planos de estratificación y por la disposición interna de los elementos macroscópicos del material sedimentario. Los primeros delimitan cuerpos de caliza llamados estratos y el conjunto de estratos se llama estratificación. Los estratos son en realidad cuerpos geológicos que tienen una gran extensión superficial y poco espesor. Este espesor se llama potencia, las dimensiones son muy variables, lo mismo que su forma, aunque es clásica la idea primaria de la forma lenticular del estrato, en todo caso, en la práctica se perciben sólo fragmentos de estratos. Los planos de estratificación se interpretan generalmente como interrupciones en la sedimentación o diastemas. Desde el punto de vista geotécnico, representan soluciones de continuidad de la masa caliza que tienen una gran importancia en el desarrollo del carst.

Los intervalos entre los planos de estratificación varían desde milímetros hasta centenas de metros, o sea de calizas microestratificadas a calizas masivas.

Es también frecuente que no exista regularidad en los intervalos de los planos de estratificación. Cuando estos intervalos aumentan o disminuyen progresivamente se tiene el fenómeno de polaridad.

La disposición interna de los elementos macroscópicos constituye la estructura interna del estrato, que varía según el origen de la caliza.

Según Bagnold [1941] existen tres mecanismos de formación de los estratos. Sedimentación o asentamiento a partir de sólidos en suspensión, acreción o depósito de la carga de una capa en movimiento por un cambio de capacidad o competencia causado por cambio de flujo o cambio de pendiente y enriquecimiento, depósito en el sotavento de un obstáculo, incluidas las dunas o pequeños deltas.

Se reconocen varios tipos de estratificación que al analizar sus características, distribución, origen, se determinan las condiciones geológicas imperantes en el lugar de depósito, algunas son la estratificación cruzada (Selley, 1976), gradada (Bouma, 1962 y Bailey, 1939), con voluta (Wunderlich, 1967 y Williams, 1960) y las laminaciones.

2 Estructuras inorgánicas químicas o secundarias. Estas estructuras son de origen diagenético.

- Estilolitos. Estructura inorgánica de tipo química-secundaria en forma de columnas estriadas verticales, pirámides, conos de varios tamaños y espesores, paralelos, transversales o perpendiculares a la estratificación. El tamaño varía de menos de 1 mm a 30 cm con amplitud de 1 cm. Se localizan en rocas químicamente homogéneas, relacionadas con calizas y dolomías, también se encuentran en areniscas, cuarzitas y otros.

Estas estructuras son el resultado de disolución posdeposicional de los materiales, se relacionan a la consolidación de la roca conte

nida y los procesos responsables directamente como son la presión y solución.

Ayudan a la estimación del volumen de la roca disuelta y a determinar la posición estructural de las capas originales.

- Concreciones calcáreas. Cuerpos que resultan de la precipitación continua de carbonato de calcio, incluidas en rocas sedimentarias. De forma esférica o de disco de tamaño variable de centímetros hasta metros, esto determinado por la permeabilidad de la roca.

El origen de las concreciones es contemporáneo con el sedimento que las contiene, otras son posteriores.

Son el resultado de la precipitación química local de carbonato de calcio, así como el tipo de material cementado en el tiempo que duró la precipitación.

- Geodas. Formas subsféricas de 10 a 20 cm con interior hueco, la capa exterior de calcedonia (Diller, 1898) y la interior con cristales de cuarzo, calcita escalenoedrales y dolomita romboedrales. Se encuentran en estratos de calizas arcillosas o dolomitas, más raramente en lutitas (Hages, 1964).

Una teoría sobre su origen (Robertson 1944-1951) supone que las geodas se depositaron singenéticamente en el piso oceánico como masas co-

loidales de sílice hidratado y que después la pérdida de agua producía la capa de calcedonia. Hages (1934) supuso que no fue un gel sino concreciones calcáreas.

- Nódulos septaria. Representaciones largas de 10 a 100 cm achatados y radiales. El ancho de la grieta es independiente de la posición del nódulo, las marginales raramente se extienden hacia el exterior.

Las grietas son rellenas con un depósito cristalino por lo general de calcita.

Los nódulos septaria, excepto por su relleno de venas son cuerpos impuros de carbonatos arcillosos enclavados en lutitas.

Una de las teorías sobre su origen supone la formación de un cuerpo nodular endurecedor del exterior, deshidratación en el interior, generación de nódulo de grietas reducidas y relleno completo o parcial de las grietas con materia mineral precipitada, lo que produce la red venosa de los nódulos.

- Estructura boudinage. Estructura producto de la deformación de los estratos y a su vez en una variedad de los diques de arena.

Consiste en capas incompetentes (lutitas) que se separan en pedazos entre capas competentes (calizas y areniscas) a estos pedazos se les llama boudinage y en ocasiones sólo se adelgazan.

Ocurre en sedimentos fluviales y deltaicos saturados con agua y sujetos a tensión.

Indican la dirección de los esfuerzos que actúan en los sedimentos y ambientes de depósito.

3 Estructuras orgánicas o biogénicas. Están formadas por organismos durante el proceso depositacional.

- Estromatolitos. Depósitos laminados litificados consisten -  
tes de capas alternantes de material formado por microorganismos como algas y partículas cementadas generalmente calcáreas. Tienen formas planas, columnar o en árbol.

Se clasifican de acuerdo a su forma geométrica debido a que son un resultado de los efectos medio-ambientales y no del tipo de organismos que las produjo.

- Moldes o calcos. Molde es una cavidad formada por la eliminación por solución de una estructura original, muestran generalmente la forma y ornamentación del cuerpo original. Calco es una cavidad rellena de material extraño que no presenta ningún indicio de la estructura interna original del cuerpo remplazado. Estas estructuras se presentan en rocas carbonatadas, en areniscas de grano fino y lutitas. Sobre su origen se dice que pudieron ser antiguos organismos que se sepultaron y sus estructuras remplazadas de tal forma que cambio su posición o disolución -

quedando sólo el molde.

### 3.7 Estructuras mayores

Otras estructuras de las calizas están producidas por un conjunto de fuerzas que han actuado con posterioridad a la sedimentación. Estas deformaciones tectónicas de las rocas dependen ante todo de la reacción de cada tipo de material ante los esfuerzos orogénicos, de tal manera que la caliza reaccionará de una manera específica. A estas deformaciones - también se les conoce como estructuras mayores.

Los tectonistas dividen las deformaciones tectónicas de las rocas en dos grandes conjuntos: pliegues y roturas. Los pliegues son de deformaciones continuas, las roturas en cambio, son deformaciones discontinuas que separa a la masa rocosa en bloques o planos de rotura. El que una roca se comporte o no de forma plástica frente a una tensión o fuerza tectónica, para la generación de pliegues o roturas, depende de su naturaleza, de la magnitud de la presión confinante, la presión de poro, la temperatura y la velocidad de deformación.

La caliza es una roca plástica media y variable, las calizas en bancos delgados tienen un grado de elasticidad superior a las calizas masivas. Aquellas se pliegan fácilmente, estas en cambio se rompen. La plasticidad del conjunto está en razón inversa a el espesor de los estratos.

Los pliegues son ondulaciones de los estratos de longitud de on-

da mayor o menor, a consecuencia de la fuerza que los ha originado y de las discontinuidades que presentan. En ellos los estratos han perdido - su primitiva horizontalidad y tienen inclinaciones respecto al horizonte llamadas echados. El pliegue más elemental es el anticlinal, se pueden considerar varios elementos geométricos, eje, plano axial, charnelas - y flancos. En una sección horizontal de un pliegue anticlinal los estratos más antiguos quedan en el centro de la sección y los más modernos en la periferia.

En una sección de pliegues, el pliegue complementario del anti clinal es el sinclinal, en sección horizontal las capas más antiguas se encuentran en la periferia del pliegue y las más modernas en el centro.

Una clasificación primaria de los pliegues (Llopis, 1970) se basa en la posición del plano axial con relación al horizontal. Cuando - el plano axial es vertical, el pliegue se llama simétrico; si está incli- nado entre  $90^\circ$  y  $45^\circ$ , se llama inclinado; si está entre  $45^\circ$  y  $10^\circ$ , tum- bado; si es horizontal, recumbente. Los pliegues transversales de o - rientación sensiblemente ortogonal al eje, son pequeños pliegues acceso- rios o satélites. Si se considera el número de ejes, se tienen pliegues monoáxicos, un solo eje; pliegues biáxicos, dos ejes o pliegues po--- liáxicos o en abanico de ejes múltiples.

Estas formas simples se agrupan constituyendo conjuntos denomi- nados pliegues compuestos cuyas formas elementales son los anticlinorios o los sinclinorios.

Las roturas son deformaciones discontinuas que vienen siempre determinadas por la presencia de un plano o solución de continuidad. - Las simples roturas se llaman diaclasas, las roturas con desplazamiento de uno de los bloques se llaman fallas, las roturas pueden proceder a la fragmentación de los flancos inferiores de los pliegues inclinados, tumbados o acostados, en cuyo caso se llaman pliegues-fallas.

Los pliegues-fallas repetidos permiten el amontonamiento de flancos superiores unos sobre otros, de manera que quedan imbricados. Cuando esta estructura se produce en un pliegue tumbado la escama se llama cabalgamiento. Cuando el cabalgamiento procede de un manto y es de gran embergadura, alcanzando más de 15 km de profundidad, recibe el nombre de corrimiento y también manto o capa de corrimiento.

Las diaclasas son roturas sin desplazamiento determinadas por la existencia de un plano o planos de diaclasas.

Los sistemas de diaclasas están caracterizados porque todos los individuos que los componen tienen los mismos caracteres geométricos, es decir, dirección, inclinación e intervalo. Los intervalos de un sistema de diaclasas son más pequeños cuanto más compacta es la roca. - El número de diaclasas por unidad de superficie puede llamarse densidad de diaclasadado, siendo de mayor importancia en la circulación cársica.

Las calizas plegadas tienen conjuntos de diaclasas más complejos, puesto que las diaclasas son el resultado de la reacción del mate -

rial ante la compresión mecánica. En cada esfuerzo mecánico se forman dos sistemas de diaclasas ortogonales y situados a  $45^\circ$  en relación a la dirección de la compresión, según lo demostraron las experiencias de Dabreë. Teóricamente deben formarse tantas parejas de sistemas de diaclasas como compresiones haya sufrido la masa caliza. Las complicaciones - resultan, en primer lugar, de la superposición de los sistemas de edades diferentes que tienen orientaciones distintas a consecuencia de la desigual orientación de los campos de fuerzas.

Los pequeños sistemas se generan como resultado de la producción de campos de fuerzas locales durante el plegamiento y se producen en las dobladuras de las charnelas o en estiramiento de los flancos, como las diaclasas de desgarre, las de abanico, las plumosas y en general la presencia de incontables leptoclasas.

El último tipo de rotura, son las fallas, o roturas con desplazamiento de uno de los labios de discontinuidad.

Las fallas, al igual que los pliegues se clasifican primariamente por la posición del plano de falla con respecto al horizonte, si el plano es vertical la falla es vertical, si está inclinado hacia el labio hundido se llama normal, si se inclina hacia el labio elevado, inversa. Los bloques calcáreos delimitados por fallas son horst o grabens.

### 3.8 Distribución geográfica de las calizas en México

Las calizas son rocas sedimentarias muy comunes. Las estima -

ciones basadas en las mediciones de campo muestran que las calizas (y dolomitas) forman  $1/5 - 1/4$  del total de la columna estratigráfica en general.

Las calizas son de todas edades, se tienen afloramientos del Precámbrico (Arqueano), mucho menos abundantes que las rocas más jóvenes del Mesozoico Superior.

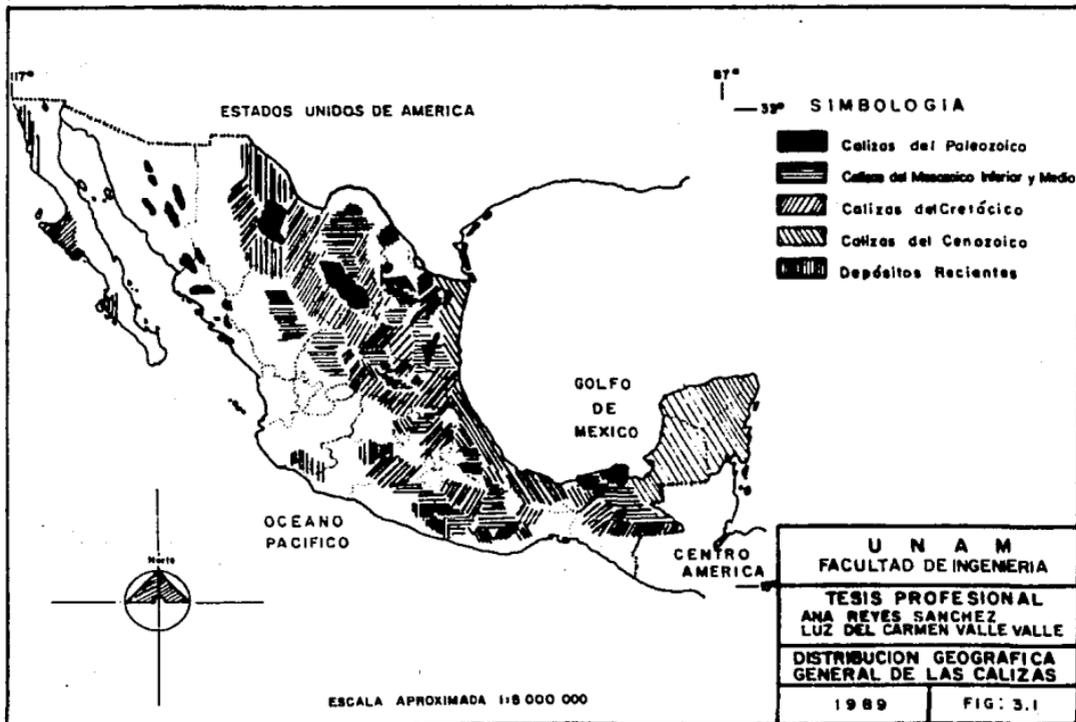
En México los afloramientos de calizas ocupan el 40% de la superficie total, (Figura 3.1) según información recabada.

Así se tienen afloramientos desde el extremo noroccidental hasta la Península de Yucatán.

Las rocas más antiguas tienen asignada una edad de más de 600 millones de años y se localizan en Sonora.

Ya en el Paleozoico son más abundantes los depósitos que ocurrieron en Sonora (Caliza Murciélagos y San Martín), Oaxaca, Tamaulipas (Formación Cañón de Caballeros y Caliza Victoria), Chihuahua (Caliza Palomas, Caliza Solís y Caliza Sostenes), Coahuila (Caliza Valle de las Delicias) y esporádicamente en Sinaloa e inclusive Chiapas (Formación Chicomuselo).

Del Mesozoico Inferior y Medio se tienen depósitos en Sonora (Formación Murciélagos) con edades que van desde el Paleozoico hasta el -



Mesozoico Inferior y (Caliza Esperanza) en Oaxaca, Chiapas y Tabasco (Caliza Chinameca), Tamaulipas (Formación La Joya y Casitas), Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango y San Luis Potosí (Caliza Zuloaga y La Gloria), Guerrero y Oaxaca (Caliza Concidaris, Ahuizotle y Chinameca) y en Hidalgo, Puebla y Veracruz (Caliza Tamán, San Andrés y Pimienta)

En el Cretácico los mares ocuparon casi toda la superficie que actualmente es la República Mexicana. Durante 72 millones de años estos mares depositaron grandes espesores de sedimentos calcáreos que dieron origen a paquetes de roca con contenido faunístico, espesor y composición mineralógica variable que más tarde fueron agrupados en formaciones para poder definir sus características en un conjunto y las condiciones de origen similares.

En algunos lugares el nombre dado a la formación es diferente, pero son equivalentes en edad y litología, también en algunas partes los espesores o afloramientos difieren de unos cuantos metros a miles, pero en general se consideran como zona representativa a las provincias fisiográficas de la Sierra Madre Oriental, Mesa Central Oriental, Planicie Costera del Golfo Norte, Sierra Madre del Sur y Península de Yucatán.

Así se tiene que en Tamaulipas, Coahuila, Durango, Nuevo León, Zacatecas, S L P, Morelos, Chihuahua, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Querétaro, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, Chiapas y en menor cantidad Guanajuato y Tabasco se encuentran las formaciones tan conocidas como Las Uvas, Cupido, La Joya, La Casita, Chinameca, Cuesta del Cura, El Doctor, El Abra, O

tates, Taninul, Orizaba, Xochicalco y otras más.

Las rocas que constituyen estas formaciones presentan características variables, teniendo rocas masivas, estratificadas, arrecifales, con alto contenido de arcillas, paquetes de dolomías y pedernal intercalados, microfósiles y macrofósiles, estas particularidades hacen que al actuar los agentes del intemperismo a través del tiempo geológico, los fenómenos orogénicos, los esfuerzos de tensión, compresión y tectónica regional, la roca sufra variaciones en el estado que actualmente se puede encontrar.

En el Eoceno, Oligoceno, Mioceno, edades del Cenozoico, los depósitos son esporádicos teniendo reportados los de Oaxaca, Nuevo León, Coahuila, Chiapas, Tabasco, San Luis Potosí, Veracruz, Querétaro, Campeche, Yucatán (Formación Macuspana, Alazán, Ahuichila, Vegua, Chapopote, Icaeché, Chichen Itza, Carrillo Puerto, Filisola, Encajonado y Tuxpan).

Rocas calcáreas consolidadas recientes ya no existen, sólo se tienen depósitos de caliche como en Chihuahua, Coahuila, Guerrero, Méchoacán, o sedimentos calcáreos mezclados con salinos como en Baja California, Jalisco y Colima.

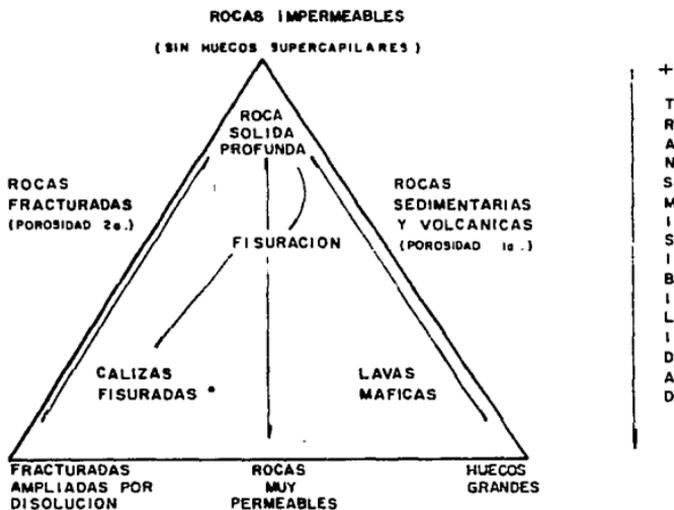
En algunas regiones no afloran cuerpos calcáreos pero a profundidad se localizan potentes espesores que llegan a reflejarse en superficie.

### 3.9 Propiedades mecánicas

En este inciso se hace una relación de las principales propiedades mecánicas de las calizas.

- Permeabilidad	
constante de permeabilidad	0.02 - 0.3 cm <sup>2</sup>
coeficiente de permeabilidad {k}	10 <sup>-3</sup> - 10 <sup>-4</sup> cm/s
- Permeabilidad	
en rocas fisuradas o fracturadas	10 <sup>-4</sup> - 10 <sup>-7</sup> cm/s
(Hoek y J Bray, 1974) [Figura 3.2]	
- Porosidad	5.0 - 20.0 %
(Farmer, 1968)	
- Densidad	2.2 - 2.6 gr / cm <sup>3</sup>
(Farmer, 1968)	
- Resistencia a la compresión	350 - 1 100 kg/cm <sup>2</sup>
(Coates, 1970)	
- Resistencia a la compresión	300 - 2 500 kg/cm <sup>2</sup>
- Resistencia a la tensión	50 - 250 kg/cm <sup>2</sup>
- Resistencia al cortante	100 - 500 kg/cm <sup>2</sup>
(Farmer, 1968)	
- Angulo de fricción	φ = 30° - 60°
(Hoek y J Bray, 1974)	

FIGURA 3.2 CLASIFICACION CUALITATIVA DE LAS ROCAS SEGUN SU PERMEABILIDAD  
( BISM, 1978)



\* CON POROSIDAD PRIMARIA AUMENTADA POR DISOLUCION

<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
ANA REYES SANCHEZ LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE	
CLASIFICACION CUALITATIVA DE LAS ROCAS SEGUN SU PERMEABILIDAD	
1989	FIG: 3.2

- *Cohesión* 50 - 150 kNm<sup>2</sup>  
(Hoek y J Bray, 1974)
  
- *Velocidad de propagación de ondas sísmicas (ondas P)* 2 500 - 6 000 m/s  
(C F E, 1979)
  
- *Resistividad* 300 - 3 000 ohm - m  
(Farmer, 1968)
  
- *Módulo de deformación* 1 - 8 x 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>  
(Farmer, 1968)
  
- *Módulo de deformación* 4 - 6 x 10<sup>5</sup> kg/cm<sup>2</sup>  
(Coates, 1970)
  
- *Abrasividad* 0 - 500 (muy débil)  
(Fourmaintraux y Massieu, 1978)

Relaciones entre el módulo de Young estático ( $E_s$ ) y dinámico ( $E_d$ )

	$E_d$ ( $10^5$ kg/cm <sup>2</sup> )	$E_s$ ( $10^5$ kg/cm <sup>2</sup> )
- caliza de grano fino	7.2	5.9
- caliza de grano medio	5.3	3.4
- caliza porosa	2.9	1.5
- caliza (calcedonia)	4.9	5.7
- caliza oolítica	5.6	4.8
- caliza estilolítica	5.8	4.0

Relaciones entre  $E_s$  y Poissons

	$\nu$	$E_s$ ( $10^5$ kg/cm <sup>2</sup> )
- caliza de grano fino	0.25	6.7
- caliza de grano medio	0.18	3.5
- caliza porosa	0.19	1.6
- caliza (calcedonia)	0.19	5.6
- caliza oolítica	0.19	4.8
- caliza estilolítica	0.11	4.0

(Bureau of Reclamation, 1953)

#### 4 CARSTICIDAD EN PRESAS DE MEXICO

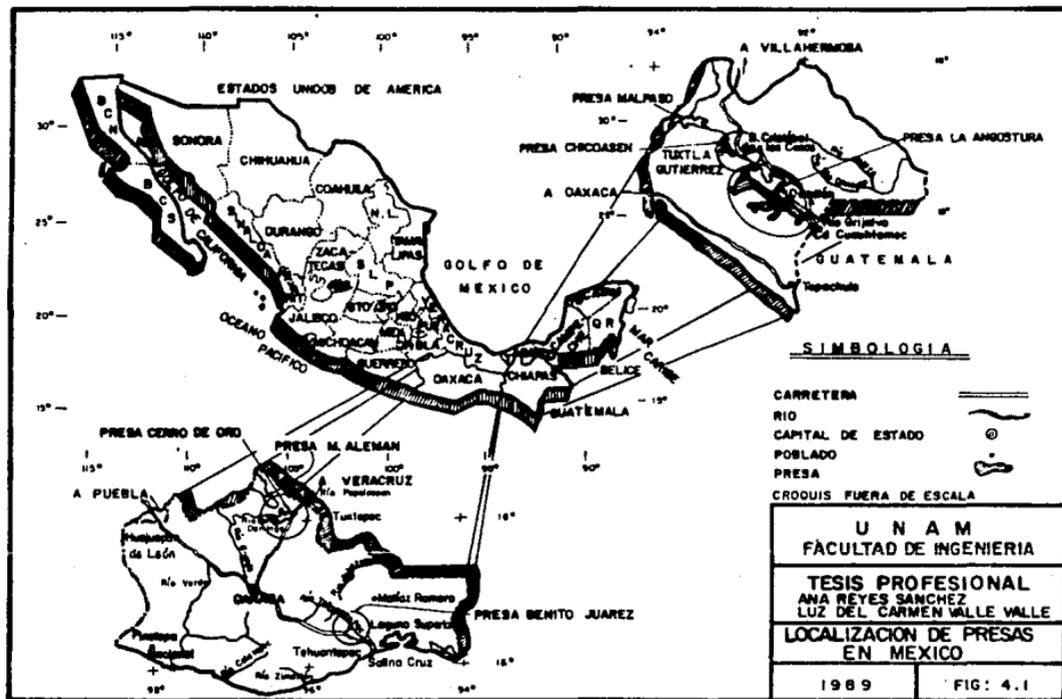
En los últimos 40 años se le ha dado fuerte impulso a la construcción de obras hidráulicas en México, como parte del desarrollo económico del país, así, mediante presas se irrigan varios millones de hectáreas, se instalan plantas hidroeléctricas y se extienden por todo el país los beneficios del control de avenidas y abastecimiento de agua potable.

Mientras las presas pudieron ubicarse en sitios geológicamente ventajosos y su altura fue moderada, la necesidad de predecir con detalle su comportamiento no fue grande, ya que para su diseño y construcción era válido recurrir, en gran medida a la experiencia previa. Sin embargo, al requerirse construir presas de boquillas con geología desfavorable y compleja, aumentó el número de variables locales, lo que influye significativamente en el comportamiento, por lo que el diseño viene a depender en gran medida de las peculiaridades de cada caso, más que de las semejanzas con otras del mismo género.

Uno de los problemas de la construcción de presas en calizas es la presencia de carsticidad, por lo que a continuación se exponen -- cuatro casos de presas construidas en México en rocas de composición calcárea, mencionando en cada una su localización, características, geología del sitio, así como los problemas geotécnicos que se presentaron y la solución a cada uno de ellos. (Figura 4.1)

##### 4.1 Presa Chicoasén

##### 4.1.1 - Localización



El proyecto hidroeléctrico "Manuel Moreno Torres" (Chicoasén), está ubicado a 18 km al norte de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez, capital del Estado de Chiapas; aprovechando el agua del Río Grijalva, que nace en Guatemala y es embalsado desde el Cañón del Sumidero hasta la cortina de la presa.

#### 4.1.2 - Características de la presa

Quedó terminada con la instalación de ocho unidades que generarán un total de 5 000 GWH por año. Las obras incluyen la construcción de una cortina de materiales graduados de 265 m de altura con un volumen de 15 millones de m<sup>3</sup>, la cual formó un embalse de 30 km<sup>2</sup> de superficie, a la elevación de 395 m s n m, proporcionando un gasto máximo de la avenida de 17 400 m<sup>3</sup>/seg a tres túneles vertedores. La planta hidroeléctrica es subterránea y consta de la obra de toma, conducción a presión, casa de máquinas, galería de transformadores, josa de oscilación, túneles de desfogue y subestación, cuya excavación representa un volumen de 4 millones de m<sup>3</sup>.

#### 4.1.3 - Geología del sitio

Las rocas que se encuentran en esta área varían en edad del Cretácico al Reciente.

Las rocas que se encuentran aflorando en el Cañón de Chicoasén son sedimentarias y representan en forma incompleta tanto el Cretácico

Superior como el Terciario. Para fines de un estudio de geología aplicada a obras de ingeniería civil, la secuencia estratigráfica calcárea que aflora en el cañón se dividió en tres unidades litológicas que forman una secuencia, la cual corresponde a la "Caliza Angostura". (Figuras 4.2 y 4.3)

unidad 1. Constituye la parte superior de la secuencia y está formada por calizas interestratificadas con capas de arcilla y lutita de espesores variables de 90 a 140 m.

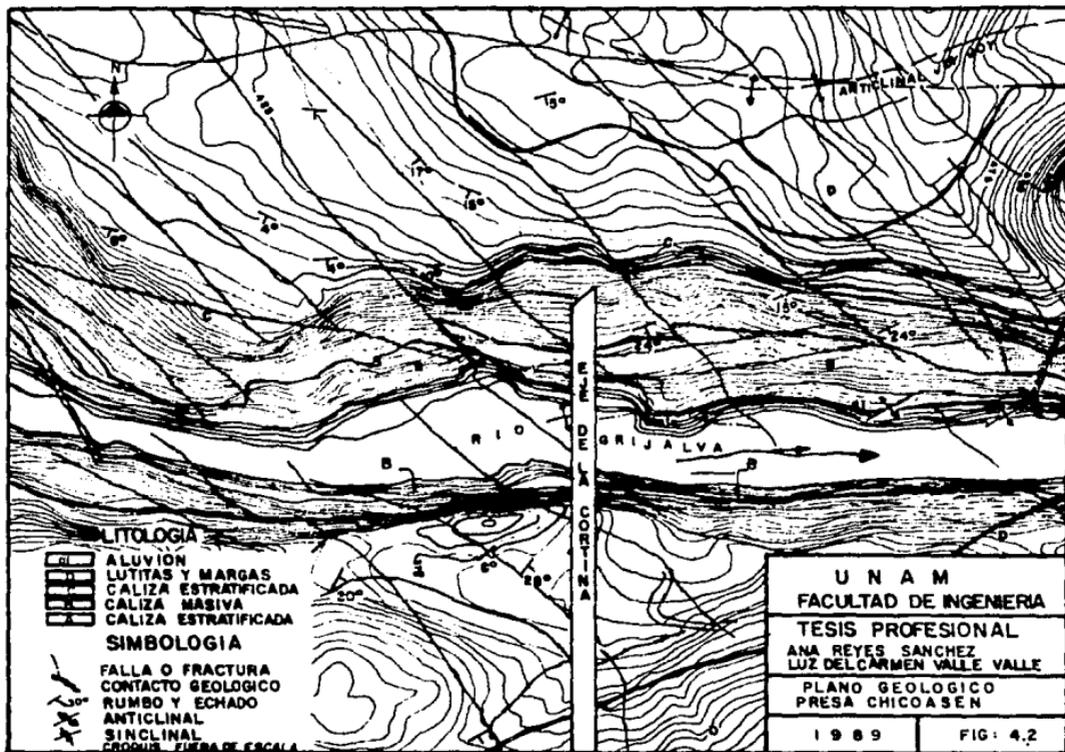
unidad 2. Subyace concordantemente a la unidad 1 y consiste de caliza masiva, de color blanco y de textura arenosa en bancos de más de 30 m de espesor y con un total de 120 m.

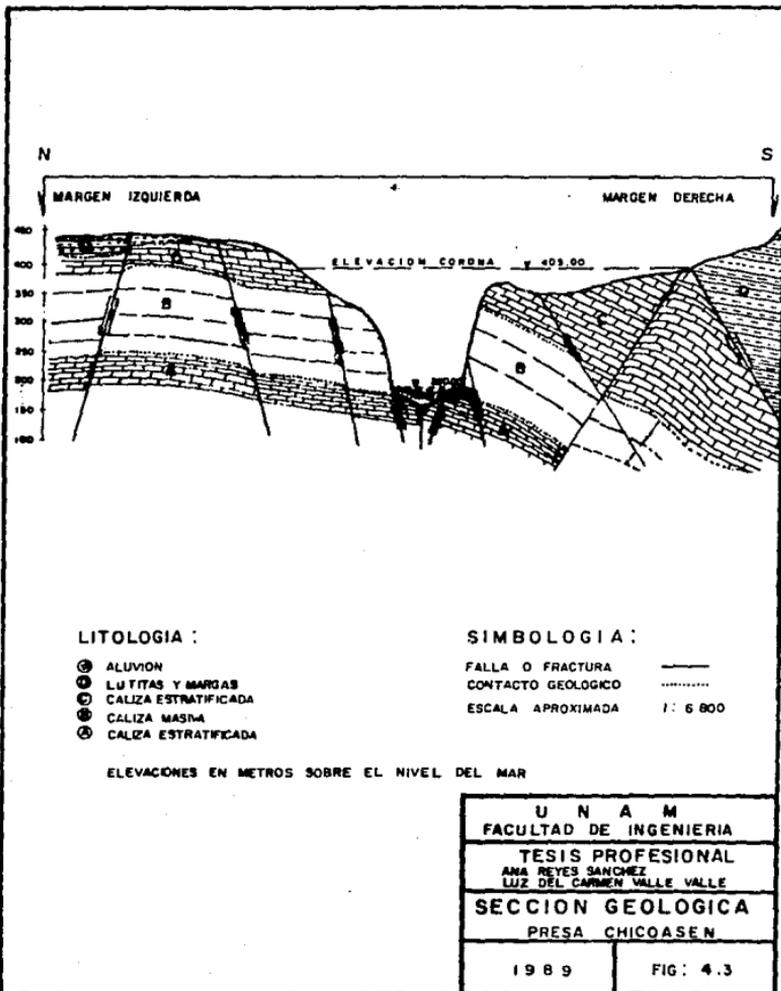
unidad 3. Subyace a la unidad 2, existiendo entre ambas un contacto erosional. Aflora en la parte central del cañón, donde constituye la parte más baja de la secuencia estratigráfica que aflora. Consiste de calizas gris oscuras que están interestratificadas con arcilla carbonosa. Esta unidad tiene un espesor de 70 m.

A esta secuencia sobreyacen con contacto discordante, lutitas, areniscas y brechas calcáreas del Terciario.

#### 4.1.4 - Problemas geotécnicos

Dentro de algunas fracturas próximas a las paredes del cañón existe desarrollo cárstico, además en algunos núcleos de los sondeos se observaron huellas de disolución sobre las rocas correspondientes a la





unidad 2, cerca de sus contactos con la unidad 1 y la unidad 3, y al parecer, a lo largo de la cima de los niveles freáticos antiguos, sobre todo, en la zona del canal de llamada de vertedores, donde el gradiente hidráulico hacia el Río Grijalva es muy elevado. La permeabilidad de la roca a profundidad, en las zonas fracturadas o de falla, es de 15 U L; mientras que la permeabilidad de la formación es de sólo 2 U L.

#### 4.1.5 - Soluciones adoptadas

De acuerdo a los estudios geológicos se estableció la dirección e inclinación de los barrenos de inyección, con el fin de formar un tapete de consolidación y una pantalla impermeable más efectivos, con una densidad de tratamiento de acuerdo a las características geológicas de las unidades.

La pantalla de impermeabilización se realizó en el interior de nueve galerías que comienzan siguiendo el eje de la cortina y se desvían para proteger la estructura de las compuertas de los vertedores en la margen izquierda y la excavación de la casa de máquinas en la margen derecha. En su ejecución trabajaron sobre las tres unidades litológicas, las cuales tuvieron comportamientos diferentes ya por su estratificación, -- por la presencia de fracturamiento o carsticidad inducida por el mismo.

## 4.2 Presa Cerro de Oro

### 4.2.1 -- Localización

Se localiza en el Estado de Oaxaca en la porción norte, casi en límites con el Estado de Veracruz. Su acceso se realiza a partir de Ciu

dad Alemán, Veracruz, por la carretera Oaxaca - Tlacotalpan, hasta la población de Tuxtepec, Oaxaca, en una distancia de 14 km. En este punto se toma por la carretera Tuxtepec - Jalapa de Díaz hasta la localidad de Cerro de Oro, distante 18 km.

#### 4.2.2 - Características de la presa

Esta presa se terminó con el fin de controlar las avenidas del Río Santo Domingo, rescatar una superficie de 90 000 ha de inundaciones e incorporarlas a la producción al igual que 38 774 ha al temporal tecnificado. Otro de sus objetivos es la generación de energía hidroeléctrica - ampliando la capacidad instalada de la Presa Miguel Alemán, por medio de la intercomunicación de vasos.

Las obras incluyen la construcción de una cortina de materiales graduados de 60 m de altura y una longitud de 1 860 m medidos sobre la corona, de 400 m en la base y 10 m de corona. Está constituida por un corazón de material impermeable, desplantado en una trinchera, así como filtros de arena y grava y su respaldo de enrocamiento. La sección tiene taludes de 2:1, con banquetas en ambos paramentos.

Las obras de excedencias están constituidas por una estructura vertedora con perfil Creager, donde se distribuyen 9 compuertas radiales ligadas por medio de conductos de sección variables a tres túneles de -- 12 m de diámetro, con capacidad de descarga de 6 000 m<sup>3</sup>/seg.

La toma Tuxtepec está formada por un conducto de concreto de -

sección rectangular en la base y circular en la clave, con una longitud de 400 m, dos compuertas de servicio y dos de emergencia.

#### 4.2.3 - Geología del sitio

Esta zona queda situada en el borde sureste de la Sierra Madre Oriental, que marca a su vez el flanco occidental de la Cuenca de Vera Cruz; cubierta casi totalmente por rocas sedimentarias de edad que va desde el Mesozoico hasta el Reciente, de origen marino las primeras y fluviales las últimas. Para fines de un estudio de geología aplicado a obras de ingeniería civil, la secuencia estratigráfica que aflora en el área se dividió en cuatro unidades litológicas que son las siguientes:

unidad 1. De edad Cretácico Medio, representada por calizas gris claro a crema y textura afanítica, observándose estratos gruesos y algunas veces masivos; presentan lentes arcillosos y horizontes brechosos con fracturas selladas con óxido de hierro, material bituminoso o arcilloso. La caliza de esta edad presenta cavidades por disolución rellenas en su gran mayoría por material silicoso o coloidal.

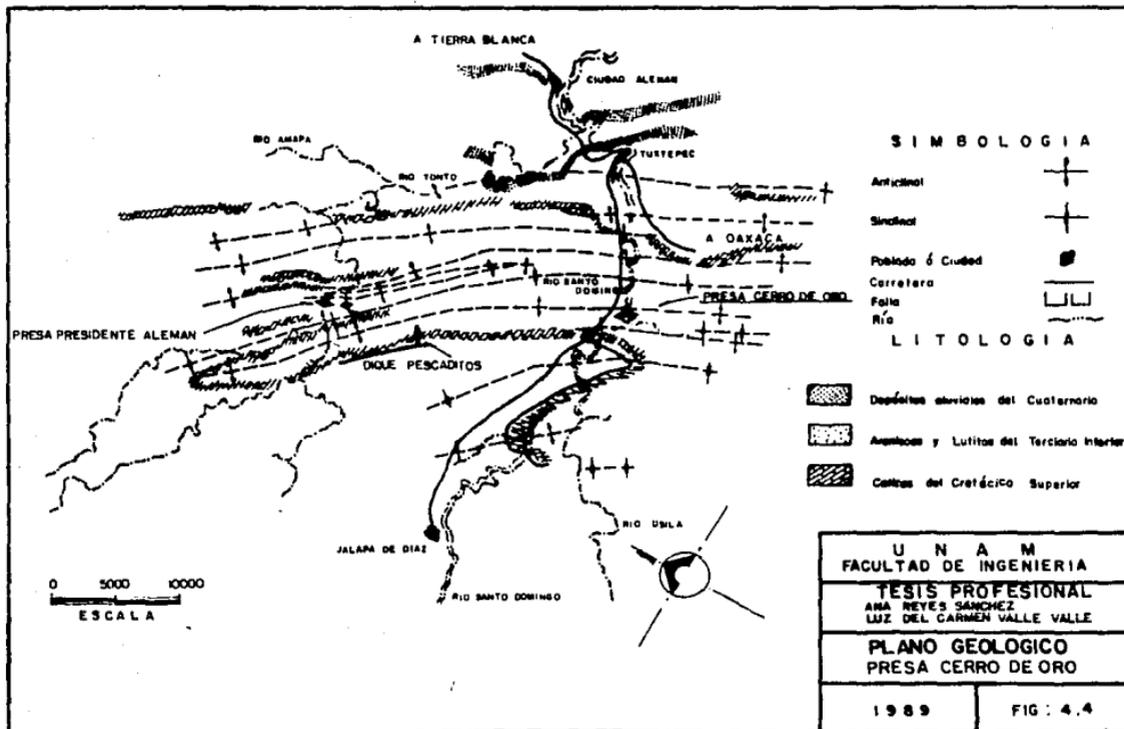
unidad 2. De edad Cretácico Superior, representada por calizas estratificadas expuestas en casi toda la zona, en estratos bien definidos con espesores de 0.50 a 2.0 m, su coloración es gris oscura a crema, textura afanítica y microfósiles de la familia miliólidos; presentan además cavernas por disolución. Estas rocas corresponden a la Formación Escamela que se extiende hasta la región de Córdoba, Veracruz.

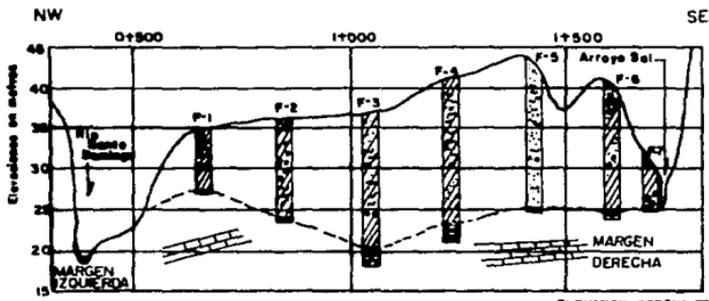
unidad 3. De edad Terciario, esta unidad está representada por una serie de estratos constituidos por lutitas arenosas, con mica en abundancia y alternancia de arenisca compacta color pardo y textura afanítica, cuyos espesores varían de 5 a 50 cm. Hacia la base de esta secuencia los estratos se adelgazan hasta casi laminarse e intemperizarse a una arcilla color naranja.

unidad 4. De edad Cuaternaria, corresponde a esta unidad la -- Formación Tierra Colorada, que es una unidad dentro de la que se observan limos, arcillas plásticas y arenosas; también existen intercalaciones de lentes de arenas, gravas y cantos rodados de diferente constitución, dentro de una matriz arcillosa, la coloración de esta formación va del pardo al rojizo y alcanzó 25 m de espesor en el sitio de la boquilla. Esta unidad se encuentra en discordancia con la unidad 3.

Cubriendo la unidad 4 se encuentran acarreos, arcillas, terrazas de río y la capa de suelo vegetal que ocupan las partes bajas de la zona. (Figuras 4.4 y 4.5)

La boquilla fue labrada por el Río Santo Domingo, en la estructura anticlinal conocida como Cerro de Oro, que la cierra por el noreste; es de forma simétrica, tanto topográfica como geológicamente, ya que en ambos márgenes se observan exposiciones de calizas color crema-gris, algunas veces arcillosas, es masiva, pero también se le observa con estratificación; definida con espesores que varían de 0.50 a 2.0 m, buzando hacia el sureste, con echados comprendidos entre 30° y 70°.





ELEVACION CORONA 75.60mm

**LITOLOGIA**

-  MATERIAL DE ACARREO
-  ARENAS, GRAVAS Y BOLEOS EMPUJADOS EN ARCILLA ROJA.
-  CALIZA CARBONICA DE LA FORMACION ESCAMELA

**SIMBOLOGIA**

-  CONTACTO LITOLOGICO
  -  SONDEO EXPLORATORIO
- NOTA: ESCALA HORIZONTAL EXAGERADA

Croquis fuera de escala

<b>U N A M</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA</b> <b>TESIS PROFESIONAL</b> <b>ANA REYES SANCHEZ</b> <b>LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE</b>	
<b>SECCION GEOLOGICA PRESA</b> <b>CERRO DE ORO</b>	
1989	FIG: 4.5

En la margen izquierda sobre el oeste del camino que va a Ojiltlán, se observan pequeños espejos de agua con sus respectivas zonas brechosas, pero de poca importancia ya que en las exploraciones efectuadas no se detectaron a profundidad.

El cauce del río, está constituido por arenas, gravas y cantos rodados de origen ígneo principalmente. El espesor máximo atravesado por los diferentes barrenos fue de 16.40 m.

El vaso está cubierto casi totalmente por la unidad 4, en la que sobresalen esporádicamente pequeños montículos de constitución caliza. Dentro del vaso hay presencia de embudos de disolución, que no se intercomunican. En algunos casos en que el fenómeno de disolución fue más intenso, se formaron grandes lagunas como la Laguna del Diablo, distante unos 2.5 km aguas arriba de la margen izquierda, Laguna Escondida a unos 5 km hacia el centro del vaso y las grutas del Naranja que permanecen con agua todo el año.

#### 4.2.4 - Problemas geotécnicos

Los principales problemas que se encontraron en la construcción de la obra fue el intenso fracturamiento de las formaciones y la existencia de cavernas de disolución en las rocas calizas en toda la zona de desarrollo.

#### 4.2.5 - Soluciones adoptadas

El problema de la alta permeabilidad de las calizas fue resuel-

to a base de un tratamiento de inyectado adecuado para sellar las fracturas y rellenar las cavernas vacías.

Este inyectado se realizó a base de lechada de cemento - bentonita - silicato y otros productos químicos para formar una pantalla impermeable de 70 m de profundidad.

Se hicieron pruebas de permeabilidad para programar los volúmenes de inyectado. Se realizaron dos fases de inyectado, una tratando hasta 4.0 m arriba del contacto de la roca sana, para así mejorar la calidad de toda la zona del macizo rocoso fracturado y fallado.

En la zona del cauce se efectuó un tratamiento de consolidación en 60 m de ancho y adicional a este, se ejecutó una pantalla profunda hasta 65 m de profundidad.

Para el tratamiento de laderas se realizaron previamente dos galerías, la profundidad inyectada en éstas fue de 40 m sobre el eje de simetría, en una sola línea y rematándose en forma de abanico. Estas inyecciones se efectuaron con presiones controladas para no dañar la estructura geológica de la roca.

Además, en las margenes del Santo Domingo y Arroyo Salado, se realizó una carpeta de consolidación; al efectuar este trabajo se encontraron varias fallas geológicas que se limpiaron hasta donde desaparecían y se dejaron tubos de inyección que garantizaran un tratamiento rígido a una profundidad de 18.5 m.

#### 4.3 Presa Benito Juárez

##### 4.3.1 - Localización

La Presa Benito Juárez se ubica, en el Municipio de Santa María de Jalapa del Márquez, Estado de Oaxaca, a una distancia de 5 km al este del kilómetro 793 de la carretera Panamericana. Su posición geográfica a proximada está referida a las coordenadas  $16^{\circ}21'00''$  L N y  $95^{\circ}15'00''$  al oeste del meridiano de Greenwich.

##### 4.3.2 - Características de la presa

La cortina de la presa Benito Juárez es de corazón de arcilla y de materiales graduados en sus respaldos, tiene una longitud en su corona de 380 m y una altura de 70 m sobre el lecho del río. Su capacidad de almacenamiento es de 942 millones de m<sup>3</sup>.

Su función es almacenar las aguas del sistema hidrológico del Río Tehuantepec, para el control y aprovechamiento en riego de 47 000 -- ha.

##### 4.3.3 - Geología del sitio

Vaso. Las rocas aflorantes que ocupan la mayor parte del área que se inundó son rocas de la unidad 2 que corresponden a calizas del -- Cretácico Medio, las cuales por estar cubiertas por sedimentos arenarcillosos y depósitos clásticos de rocas graníticas que se engloban en la unidad 1, no se pudieron determinar totalmente las estructuras como plegamientos y fallas. Estas rocas fueron intrusionadas por granitos (unidad 3) que provocaron incremento del grado de metamorfismo y nuevos fallamien

tos y dislocaciones.

Más tarde derrames basálticos cubrieron algunas zonas. Finalmente a través del tiempo la erosión e intemperismo que algunas rocas -- son más susceptibles de sufrir, originaron los espesores de material de alteración que cubren algunas zonas y se conocen como Tucuruquay.

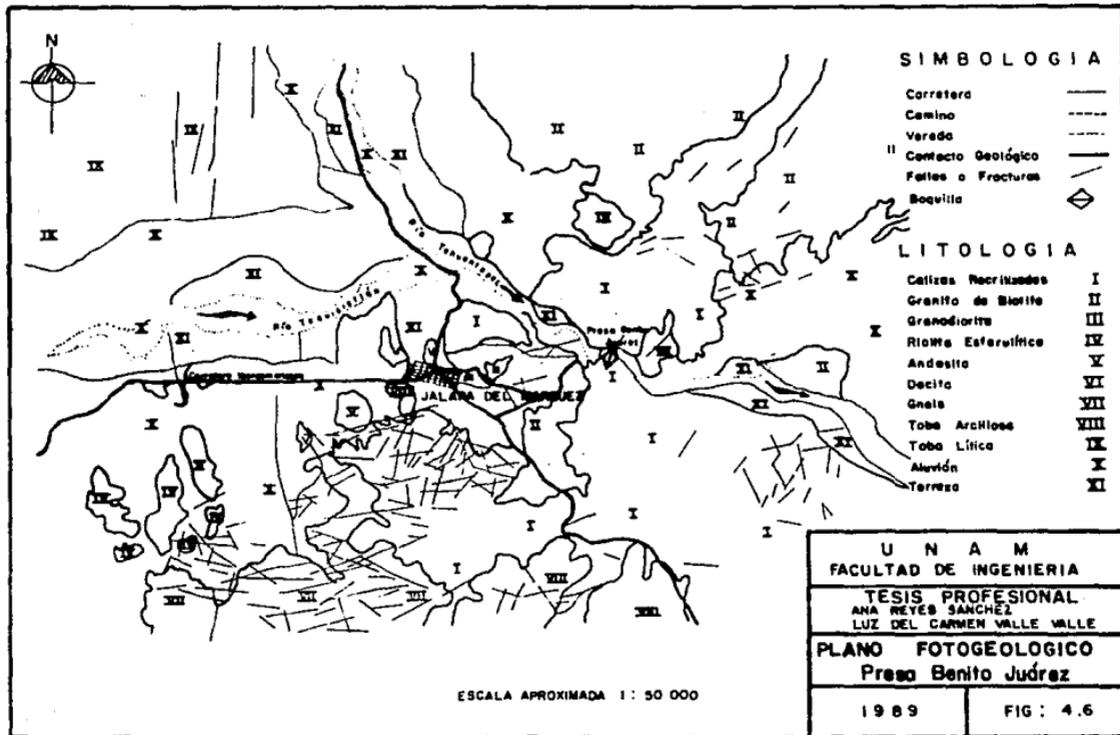
Boquilla. En ambos lados se localizan las unidades arriba mencionadas. Muy cerca al sitio elegido para el eje de la boquilla se tiene una galería, resultado de la disolución de la caliza y que permite identificar los procesos que se dieron lugar en esta zona. [Figuras 4.6 y 4.7]

El material que cubre a la roca es el denominado Tucuruquay y el cual como se mencionará mas adelante fue sometido a remoción o tratamiento.

#### 4.3.4 Problemas geotécnicos

Es necesario aclarar que se inició la construcción de la cortina aún antes de conocerse sus condiciones geotécnicas debido a que cualquier estudio hubiera resultado limitado a consecuencia de lo complicado de la geología.

Durante los trabajos se fueron conociendo dichas anomalías que pudieron resolverse mediante programas de tratamiento. Las estructuras no causaron problemas, lo mismo sucedió con la unidad 2.





La unidad 1 presenta cavernosidad por disolución, resultado de la acción de aguas meteoricas. En las partes altas se observan oquedas de grandes dimensiones, al llegar al nivel del río disminuyen y abajo del nivel las cavernas existentes tienen seguramente circulación de aguas. De acuerdo a los datos recabados estas formas cársticas siguen la orientación y dirección de los planos de estratificación, fracturas y fallas. Aún cuando alguno de estos conductos llegan a tener dimensiones considerables, desde el punto de vista permeabilidad, en el sitio de construcción de la cortina no representan problemas ni posibilidad de fugas laterales.

#### 4.3.5 - Soluciones adoptadas

La unidad 3 no presenta problemas de permeabilidad dado que el alto grado de alteración y transformación en arcilla de la roca, impide las filtraciones.

Los aluviones y los depósitos clásticos eluviales de la unidad 2 son generalmente impermeables, pero aún así se programó su remoción.

El único problema de la alta permeabilidad se resolvió mediante un programa de tratamiento de la roca, el cual consistió en perforación e inyección de la cimentación y atranques, para impermeabilizar y con ello impedir las deformaciones que pudieran darse por las filtraciones o baja calidad de la roca; ya se sabe que no existe ningún material que sea impermeable cuando se sujeta a las presiones hidráulicas que existen en una presa, pero inyectando la roca para reducir la permeabilidad o colocando

un corte para la elongación de la percolación conducen a obtener el máximo resultado favorable posible en la cimentación.

#### 4.4 Presa La Angostura

##### 4.4.1 - Localización

La central hidroeléctrica Belisario Domínguez (Angostura), se localiza al sureste de la República Mexicana, a partir de la Ciudad de Tuxtla Gutiérrez y a 7 km se toma la desviación a la central con un recorrido de 53 km.

##### 4.4.2 - Características de la presa

Es una presa de tierra y enrocamiento, con corazón impermeable de arcilla y respaldos amplios de enrocamiento, grava y arena; tiene una altura máxima de 147 m. Forma un embalse de 60 400 has, con una capacidad de almacenamiento de 18 000 millones de m<sup>3</sup>, de los cuales 7 000 millones de m<sup>3</sup> se requieren para regular las avenidas. Los vertedores ubicados en la margen izquierda, son dos canales abiertos dotados de compuertas radiales y salios de esquí. La casa de máquinas se construyó en una caverna de 22 m de ancho, 40 m de altura y 100 m de longitud. El río fue desviado por medio de dos túneles revestidos de concreto de 13 m de diámetro interior y dos ataguías, aguas arriba y abajo.

##### 4.4.3 - Geología del sitio

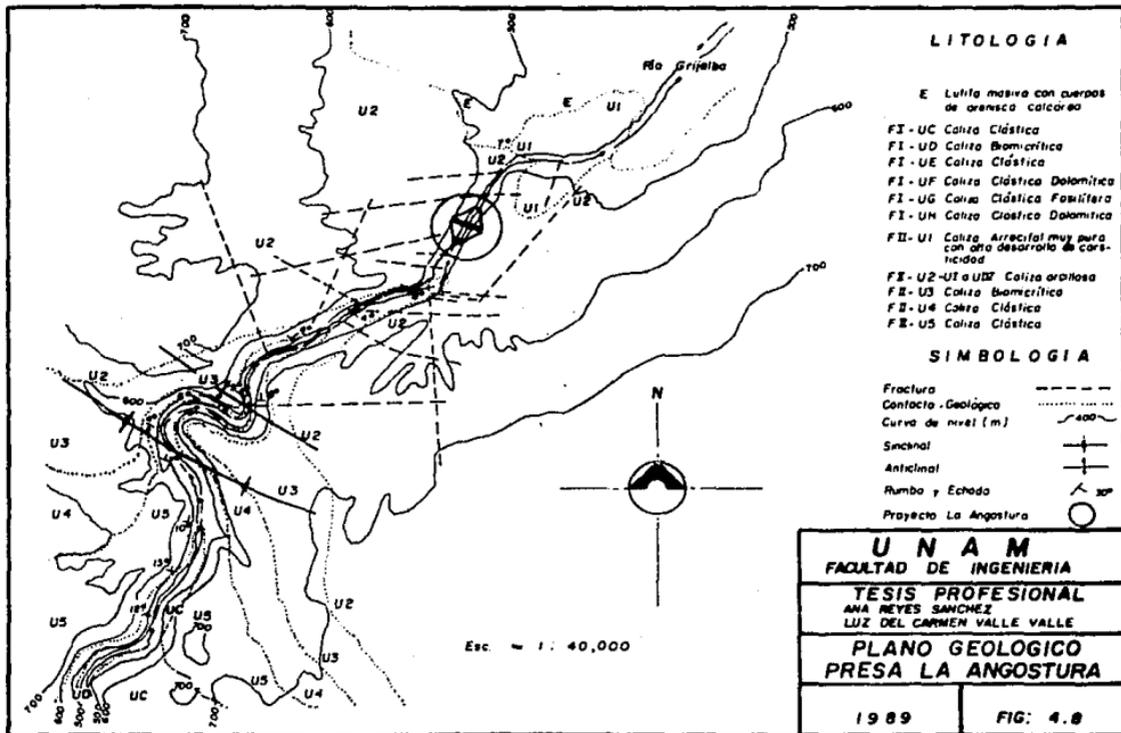
El Río Grijalva escurre por el antiplano de Chiapas en dirección sur - norte, a través del Cañón de La Angostura, labrando su cauce en formaciones sedimentarias del Jurásico y Cretácico (calizas y lutitas)

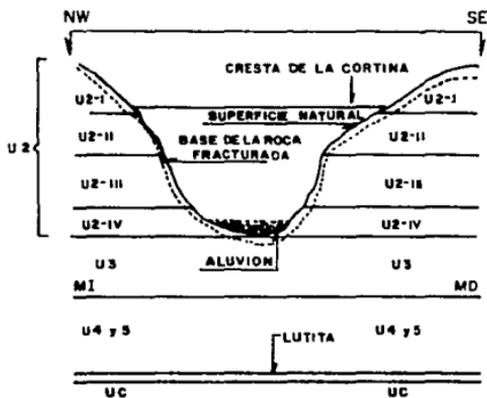
que buzan al noreste con una inclinación media de  $8^{\circ}$ .

El vaso se formó dentro del Cañón de La Angostura, está exclusivamente en calizas del Cretácico Inferior Medio y Superior, que forman el flanco sur del gran sinclinal de la depresión de Chiapas. El Río Grijalva, hacia aguas abajo de la boquilla de la Angostura, corre por el centro de la depresión en lutitas del Eoceno y conglomerados del Mioceno para salir de ella cortando el flanco norte del anticlinal del Sumidero; en el cual el río ha labrado el Cañón del Sumidero que está formado exclusivamente en calizas arcillosas en la entrada y después cársticas, hasta su salida en la Cañada Muñiz. En esta parte el anticlinal está truncado por dos grandes fallas que forman un graben que ponen en contacto a las calizas cársticas permeables con las lutitas impermeables -- del Eoceno. Este fenómeno hace que se forme una barrera hidrológica al paso de las aguas de la Depresión de Chiapas hacia aguas abajo del Cañón del Sumidero.

El Río Santo Domingo corre paralelo al Río Grijalva y se encuentran separados por un macizo en forma de mesa constituido por las calizas cársticas con rumbo sensiblemente perpendicular a los ríos. (Figura 4.8 y 4.9)

La zona del Cañón de la Angostura, en la que se formó el vaso, está constituida en su totalidad por calizas, divididas en dos formaciones, la primera fuertemente afectada por la disolución (F-I) y la segunda poco afectada por este fenómeno (F-II)





**LITOLOGIA**

- U1 CALIZA ARRECIFAL MUY PURA Y CALIZA CLASTICA CON ALTO DESARROLLO DE CARSTICIDAD.
- U2 CALIZA ARCILLOSA { U2-I  
U2-II  
U2-III  
U2-IV
- U3 CALIZA BIOMICRITICA
- U4 CALIZA CLASTICA
- U5 CALIZA CLASTICA
- UC CALIZA BIOCLASTICA

Croquis fuera de escala

<b>U N A M</b>	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ANA REYES SANCHEZ LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE	
SECCION GEOLOGICA PRESA LA ANGOSTURA	
1989	FIG: 4.9

La F - I presenta características de morfología cárstica (sumideros y dolinas) y principalmente ausencia de drenaje superficial; catalogándose como una zona cárstica en su ciclo incipiente juvenil, ya que no se observan grandes sumideros ni grandes cuevas o cavernas.

La F - I se ha dividido en seis unidades: UC, UD, UE, UF, UG y UH. Esta división se ha hecho considerando la textura de la caliza que va desde masiva muy pura con porosidad tipo arrecifal, con apariencia de esponja con poros de 3 a 10 cm, a caliza arcillosa, dolomitizada bien estratificada en capas con marcas de disolución entre fracturas y planos - de estratificación.

La F - II está constituida por calizas arcillosas impuras, con buen drenaje superficial y aparentemente no presentan disolución, igual que las anteriores presenta unidades masivas y estratificadas. El espesor de los estratos varía de 0.50 a 3.0 m, para su estudio se dividió en cinco unidades: U1, U2, U3, U4 y U5.

#### 4.4.4 - Problemas geotécnicos

Va que este proyecto es hidroeléctrico, la magnitud de las obras obliga a un minucioso estudio que incluye la etapa de exploración, construcción y operación. Uno de los problemas encontrados fue la inestabilidad de las laderas que alojan a la boquilla, la carsticidad y por lo tanto la permeabilidad de las rocas que se localizan en la zona, aunado a otros problemas originados por el agrietamiento, filtraciones y la tectónica regional. Para llevar a cabo la culminación de la presa se toma -

ron decisiones para resolver adecuadamente cada problema.

#### 4.4.5 - Soluciones adoptadas

Para las zonas de alta permeabilidad se realizó un tratamiento de inyección de lechada agua - cemento en pozos inclinados -  $15^\circ$  respecto a la vertical. Para evaluar la pérdida de agua por fracturas, localizadas en las laderas se hizo un estudio en el laboratorio hidráulico de las grietas. De todo lo realizado se convino que sólo las fracturas prominentes conectadas al embalse fueron selladas mediante inyecciones a realizarse desde galerías y en la proximidad de las paredes del cañon. La estabilidad de la caverna que aloja la casa de máquinas se estudió en el laboratorio y se compararon con mediciones efectuadas durante la excavación de los túneles de desvío.

La presa fue diseñada considerando que el depósito aluvial se ría removido entre las ataguías para descubrir la roca, mostrándose - durante la limpieza marnitas, zonas cársicas y fracturas erosionadas, eliminadas con dicha limpieza para el desplante del núcleo impermeable.

## 5 PROYECTO PUJAL - COY

## 5.1 Generalidades

Algunas características del proyecto son las siguientes:

<u>Vaso</u>	Pujal	Coy
- Capacidad total del vaso al NAME	3 700 millones de: m <sup>3</sup>	525 millones de m <sup>3</sup>
- Elevación del NAME	69 m s n m	51.6 m s n m
- Capacidad útil para riego	946 millones de m <sup>3</sup>	150 millones de m <sup>3</sup>
- Area cubierta por el embalse hasta el NAME	20 000 ha	5 900 ha

Cortina

- Elevación corona	72 m s n m	54.6 m s n m
- Tipo de cortina	Materiales graduados	Materiales graduados
- Vertedor	Concreto en la margen izquierda	Concreto en la margen derecha
- Elevación de la cresta vertedora	49.1 m s n m	46.1 m s n m

## 5.1.1 Trabajos previos

Hace 35 años se iniciaron los estudios de exploración y a detalle, con levantamientos topográficos, geológicos, geofísicos y geotécnicos, incluyendo la localización de los bancos de materiales y pruebas de

Laboratorio.

Con esta información se dieron conclusiones técnicas que definen el sitio idóneo para la cimentación de las cortinas Pujal - Coy.

A continuación se enumeran los trabajos llevados a cabo, así como la dependencia o compañía que los efectuó y el año en que se realizaron.

1 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO PRELIMINAR DEL CAÑON PUENTE DE DIOS SOBRE EL RIO TAMPAON O SANTA MARIA Y DE LOS RIOS MOCTEZUMA Y PANUCO, ENTRE LAS POBLACIONES DE HIGO Y PANUCO, S A R H, 1954

2 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO PRELIMINAR DE LOS SITIOS PUENTE DE DIOS Y CHIMALITO, EN EL CAÑON PUENTE DE DIOS, SOBRE EL RIO TAMPAON, S L P - S A R H, 1957

3 RECONOCIMIENTO PARA LA EXPLORACION DE LA BOQUILLA DE PUJAL, RIO TAMPAON, S L P, S A R H, 1958

4 GEOLOGIA Y SISMOLOGIA DE REFRACCION EN LA BOQUILLA DEL RIO TAMPAON, CERCA DE LA POBLACION DEL PUJAL, S L P, Servicios Geofísicos, S A de C V, 1958

5 ESTUDIO GEOLOGICO DE LA BOQUILLA DE PUJAL, RIO TAMPAON, S L P - S A R H, 1960

- 6 ESTUDIO GEOLOGICO DEL VASO DE LA PRESA PUJAL, Ing Carrillo Bravo, 1960
- 7 ESTUDIO GEOLOGICO DEL CERRO DEL NACIMIENTO, Comisión de Estudios del Río Pánuco, 1961
- 8 EXPLORACIONES EN LA BOQUILLA DEL PUJAL, RIO TAMPAON, ALTERNATIVA 7, EJE 7, Comisión de Estudios del Río Pánuco, 1961
- 9 ESTUDIOS DEL SUBSUELO DEL TRAMO DEL EJE 4, DE LA PRESA PUJAL RIO TAMPAON, Sozum, S A, 1962
- 10 ESTUDIO GEOLOGICO DE LA PORCION NOROCCIDENTAL DEL CERRO DEL NACIMIENTO, Ing. Carrillo Bravo, 1962
- 11 INFORME GEOLOGICO DEL PROYECTO DE TAMALTE, RIO COV, S. L P, Ing Hernández Macedo, S A R H, 1962
- 12 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD DEL PROYECTO PUJAL, S A R H, 1962.
- 13 ESTUDIOS DE LA ANPLIACION DE LOS BANCOS DE PRESTAMO PARA EL PUJAL, RIO TAMPAON, S A R H, 1962
- 14 PRESA EL PUJAL. ESTUDIOS ADICIONALES Y DISEÑO DE LA CORTINA, Sozum, S A, 1963

- 15 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO PARA FIJAR ALTERNATIVAS DEL EJE PARA EL TUNEL DE DERIVACION Y LOCALIZACION DE LOS ACCESOS Y SALIDAS DEL TUNEL DE CONDUCCION DEL PROYECTO PUJAL, S A R H, 1963
- 16 RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DEL EJE DEL TUNEL TANINUL, ALTERNATIVA 2, Ing Carrillo Bravo, 1963
- 17 ESTUDIO GEOELECTRICO DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LAS ESTACIONES 4+750 y 5+250 DE LA ALTERNATIVA 2 DEL TUNEL DEL PROYECTO DEL PUJAL, RIO TAMPAON, S L P, Ing Carrillo Bravo, 1963
- 18 CONDICIONES GEOLOGICAS DEL SITIO DE LA PRESA PUJAL, ALTERNATIVA EJE 1, 2, 3, 4 Y EJE SAN PEDRO, Dirección de Geología, 1964
- 19 ESTUDIO GEOFISICO A BASE DE SONDEOS GEOELECTRICOS PRACTICADOS EN LA VEGA DERECHA DEL RIO TAMPAON, AGUAS ARRIBA DEL EJE DE LA PRESA DE PUJAL EN PROYECTO, Ing. Carrillo Bravo, 1964
- 20 ESTUDIO GEOLOGICO DE LA PORCIÓN NORTE DE LA CUENCA DE CHICONTEPEC, S L P, Tesis de la U A S L P, 1965
- 21 BOLETIN HIDROLOGICO NO 32, TOMO I DE LA REGION HIDROLOGICA NO 26 "CUENCA DEL RIO PANICO" EXCLUYENDO AL RIO GUAVALEJO, Estudios y Proyectos, S A, 1965
- 22 LA PLATAFORMA VALLES-SAN LUIS POTOSI, Ing Carrillo Bravo, 1971

23 ESTUDIO GEOLOGICO SUPERFICIAL DE LA PRESA PUJAL-COV, *Estudios y Proyectos, S A, 1971*

24 ESTUDIO FOTOGEOLOGICO DEL PROYECTO PUJAL-COV, S L P, VERA - CRUZ Y TAMAULIPAS, *Dirección General de Estudios, 1972*

25 ESTUDIO GEOFISICO PARA LA UBICACION DE LA PRESA PUJAL-COV, SOBRE EL RIO TAMPACON, *Geofimex, S A, 1972*

26 ESTUDIO GEOLOGICO SUPERFICIAL DETALLADO DE LA PRESA PUJAL - COV, S L P, *Estudios y Proyectos, S A, 1972*

27 EXPLORACIONES EN EL EJE 10 DE PUJAL, RIOS TAMPACON Y COV, - - S L P, Ing. *De la O Carreño, 1972*

28 INFORME GEOLOGICO FINAL Y DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD DEL SITIO DE PRESA EL PUJAL, SOBRE EL RIO TAMPACON (ALTERNATIVA 8), MUNICIPIO DE CD VALLES, S L P, *Subdirección de Geología, 1972*

29 EXPLORACIONES GEOLOGICAS Y PRUEBAS DE PERMEABILIDAD DEL EJE 9, PUJAL-COV, *Estudios y Proyectos, S A, 1972*

30 EXPLORACIONES GEOLOGICAS Y ENSAYES DE MECANICA DE SUELOS DEL EJE B Y BANCO DE PRESTAMO, PRESA PUJAL-COV, S L P, *Solum, S A, 1972*

31 ESTUDIO PIEZOMETRICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS OBRAS DEL AJ

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BRA EN LA ZONA ALEDAÑA AL SISTEMA DE PRESA PUJAL-COV, S L P, Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S A, 1973

32 ANALISIS DE LOS PRINCIPALES ESTILOS DE DEFORMACION ESTRUCTURAL Y SU PROBABLE ORIGEN ENTRE TEQUISQUITAPAN, QRO , CIUDAD VALLES, S L P CIUDAD VICTORIA Y SOTO LA MARINA, TAMP, PEMEX, 1976

33 EVALUACION GEOLOGICA PETROLERA DE LA PLATAFORMA VALLES SAN LUIS POTOSI, PEMEX, 1980

34 EXPLORACION GEOLOGICA DEL BANCO DE ROCA EL PUJAL, CD VALLES S L P, Ipesa Consultores, 1981

35 SONDEOS DE EXPLORACION PARA BANCO DE ROCA Y VOLADURA DE PRUEBA. BANCO DE ROCA SANTIAGUILLO DEL PROYECTO PUJAL-COV, S L P, Tecnosuelo, S A, 1981

36 PROYECTO PUJAL-COV, 2A FASE. PROLONGACION DEL EJE TAMALTE (PITACOCHA), Comisión de Estudios del Río Pánuco, 1981

37 MEMORIA UNICA DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS Y EXPLORACIONES -- DEL PROYECTO PUJAL-COV, Ingenieros Civiles y Geólogos Asociados, S A , 1981

#### 5.1 2 Localización

El área de interés se encuentra ubicada en el extremo oriental

del Estado de San Luis Potosí, al sur de Ciudad Valles; geográficamente se encuentra entre las coordenadas  $21^{\circ}35'$  -  $22^{\circ}00'$  de L N y  $98^{\circ}52'$  -  $99^{\circ}05'$  de L W.

Abarca una superficie de 1 100 km<sup>2</sup> que incluye parte de los municipios de Valles, Aquismón, Tanlañás y Pedro Antonio de los Santos. - Colinda al norte con Cd Valles, al poniente y sur con las Sierras La Colmena, Las Anonas, Tampamoche y San Francisco, hacia el oriente y sureste con las Sierras El Abra de Tanchipa y la Huasteca Potosina. (Figura 5.1)

### 5.1.3 Vías de comunicación

La región estudiada se encuentra comunicada por la carretera federal número 85 México - Laredo que pasa por Cd Valles y corre en dirección norte - sur. Al norte se tiene la carretera federal número 86 San Luis Potosí - Cd Valles y la número 110 que comunica a ésta con el Puerto de Tampico.

Es posible el acceso por ferrocarril que une de oeste a este - las ciudades de San Luis Potosí, Valles y Tampico. Por vía aérea, Cd Valles y Tamuín cuentan con aeropuertos comerciales. El arribo al sitio -- del vaso y obras auxiliares se logra por caminos y brechas transitables sólo durante la época de estiaje. Es necesario hacer notar que debido a la gran cantidad de alternativas, el área de estudio se amplía y los accesos se multiplican.



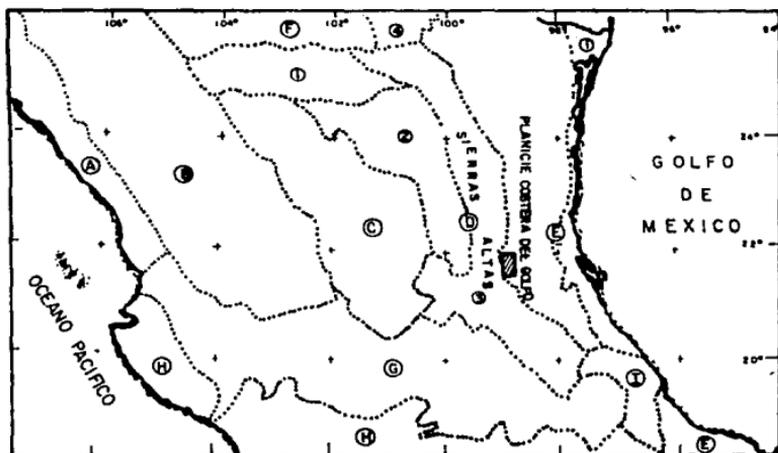
#### 5.1.4 Situación económica

Esta región se conoce como la Huasteca Potosina y tiene gran importancia económica, sus principales fuentes de actividades son la ganadería y la agricultura; de ésta en particular el cultivo de la caña de azúcar. La construcción del Sistema de presas Pujal - Coy impulsará aún - más la agricultura, convirtiendo la región en una zona de potencial económico ya que cuenta con grandes extensiones de terreno propias para el rico. En la actualidad la cosecha principal es de temporal, auxiliada por pequeñas obras de irrigación que están en funcionamiento.

#### 5.1.5 Fisiografía y clima

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la provincia fisiográfica denominada por Erwin Raiz (1964), como Cuenca Pánuco - Tuxpan. (Figura 5.2)

Los rasgos fisiográficos corresponden a los de la franja transicional entre la llanura costera y el frente de los plegamientos de la Sierra Madre Oriental. Es una región que presenta lomeríos muy bajos, de laderas arredondadas, separadas por amplios valles que se extienden paralelamente a la línea de la sierra, con una dirección ligeramente noroeste sureste; dicho relieve hacia el este, llega a ser prácticamente plano o con una inclinación muy suave hacia la costa del Golfo de México. En cambio hacia el oeste, el relieve cambia abruptamente a una zona de cadenas montañosas, orientadas norte - sur que pertenecen a la Sierra Madre Oriental.



NOTAS: Este plano es copia parcial de las Provincias Fisiográficas de la República Mexicana determinadas por Erwin Raisz con edificaciones de Enrique Aguilera H. en 1976.

 ZONA DE ESTUDIO

#### PROVINCIAS FISIGRAFICAS

- |                            |                               |
|----------------------------|-------------------------------|
| A-CORDILLERAS SEPULTADAS   | 4-Sierra del Norte            |
| B-SIERRA MADRE OCCIDENTAL  | E-PLANICIE COSTERA DEL GOLFO. |
| C-MESETA CENTRAL           | I-Costa Baja                  |
| D-SIERRA MADRE ORIENTAL    | F-CORDILLERAS Y DEPRESIONES.  |
| I-Cordillera Transversales | G-EJE NEOVOLCANICO            |
| 2-Cordilleras Bajas        | H-SIERRA MADRE DEL SUR        |
| 3-Sierras Altas            | J-VERTIENTE DE MISANTLA       |

Esc. 1: 800 000

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLEVALLE

PROVINCIAS FISIGRAFICAS

1989

FIG: 5.2

El clima que predomina es de carácter tropical con temperaturas medias entre 25° y 30°, registrándose las máximas de 42° durante el verano y la mínima promedio de 15° durante el invierno. Hacia el occidente, en las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, el clima varía de subtropical a templado.

Según la clasificación de Köeppen, el clima corresponde a Aw, o sea de sabana tropical, con temperatura anual de 24° y precipitación media anual de 1 250 mm.

La vegetación de la región es exuberante debido al clima cálido y húmedo existente y la flora está representada por ébano, álamo, cedro, palo de rosa, palo blanco, zapote y hule, especies que se desarrollan principalmente en el frente de la sierra. En la parte central y costera, es común encontrar además las plantas cultivadas como plátano, maíz, café, papaya, caña de azúcar, naranja, vainilla y tabaco. Existen extensos pastizales ocupados por la ganadería.

#### 5.1.6 Geomorfología

La parte oriental perteneciente a la Llanura Costera del Golfo, es una región llana de suave pendiente y relieve plano, constituida por arenas, cuya formación se atribuye a el levantamiento que sufre la costa del Golfo de México, este movimiento ha sido paulatino y como consecuencia los mares se han retirado del continente, dejando antiguas playas.

El flanco oriental de la Sierra Madre Oriental, está controlado

principalmente por las características tectónicas de las misma, o sea - por la serie de plegamientos que la forman y que se desarrollaron durante el Cretácico Superior y el Terciario Inferior debido a los esfuerzos compresionales de la Revolución Laramide. Dentro de este patrón general del comportamiento topográfico existen otros controles estructurales como fallamientos y fracturamientos de las rocas que integran el paquete plegado, en el cual la caliza de la Formación El Abra, constituye casi - la totalidad con pendientes fuertes y escarpadas.

En la zona transicional entre las dos regiones mencionadas, - la erosión ha atacado las capas de lutitas, areniscas, calizas y derrames de basaltos. En esta parte resulta difícil establecer una relación entre la topografía y las estructuras geológicas, ya que el relieve es - el resultado directo del intemperismo y la erosión de las rocas aflorantes y no de procesos constitutivos de origen interno. De esta manera se entiende la geomorfología de lomeríos bajos con depresiones ocupadas ocasionalmente por lagos y pantanos.

#### 5.1.7 Hidrología

La red hidrográfica local corresponde al tipo dendrítico con valles en forma de "V", alargados y ríos que serpentean y forman meandros amplios. (Figura 5.3)

El área corresponde a la parte baja de la cuenca del Río Pánuco que tiene una extensión total de 95 000 km<sup>2</sup> como parte de la subcuenca del Río Tamañón, el cual aguas abajo y en confluencia con el Río Mocte



zuma forma el Río Pánuco.

Como principales colectores de la cuenca del Río Pánuco pueden mencionarse a los Río Tula y San Juan del Río que en su unión forman el Río Moctezuma' en su recorrido se le unen el Río Exforax y el Río Tempal; los Ríos Santa María, Verde, Gallinas, Valles y Coy son tributarios del Río Tapañón que a su vez es afluente secundario del Río Moctezuma; finalmente cerca del Puerto de Tampico se une el Río Tamesí.

El Río Tapañón toma este nombre de la confluencia de los Ríos Santa María y Verde. El Río Verde nace a 35 km al sureste de la Ciudad de San Luis Potosí. Ambos tienen orientación oeste - este y han desarrollado sus cuencas de captación paralelas, con topografía accidentada en sus orígenes y en su paso por la Sierra Madre Oriental que cortan perpendicularmente. El Río Valles nace a 8 km al sureste de Tula, Tamaulipas, en sus inicios cruza la Sierra Madre Oriental y posteriormente sigue un curso general norte - sur hasta su confluencia con el Río Tapañón cerca del poblado Pujal.

El Río Gallinas nace en la confluencia de los Río Tamasopo y El Sabino, toma el nombre del poblado de Gallinas, S L P, su principal caudal es de manantiales; cruza la Sierra Madre Oriental igual que los anteriores en una topografía accidentada.

El Río Coy es el segundo afluente más importante del Río Tapañón, nace a 6 km al sur de Aquismón en aguas del manantial del Cerro del

Nacimiento. El gasto es variable según la época del año, así se tienen datos de 400 m<sup>3</sup>/seg en épocas de lluvia y de 14 m<sup>3</sup>/seg en épocas de estiaje, su cuenca de captación es pequeña y su curso se desarrolla sobre topografía de pendientes suaves.

Los manantiales más importantes son tres: el manantial que nace en el Cerro del Nacimiento y origina el Río Coy, el que nace en el Cañón Puente de Dios y el que da origen al Río Choy.

Para el modelo hidrológico de la zona, se toma como base el funcionamiento de la Sierra Madre Oriental y se divide en cuatro sistemas de recarga - descarga por medio de manantiales.

- Cuenca endorreica - manantiales Coy y Tambaque. Se definió un área de infiltración correspondiente a parte de la cuenca endorreica - de 203 km<sup>2</sup>, con precipitación media anual calculada de 567 millones de m<sup>3</sup>. El volumen de flujo base medio anual calculado en la estación Ballesterini sobre el Río Coy tuvo un valor de 574 millones de m<sup>3</sup>, por lo tanto parte del área considerada como zona de recarga tiene sus salidas subterráneas a través de los manantiales Coy y Tambaque. El área de influencia es posiblemente mayor por no considerar evaporación de la precipitación o pérdida por salidas.

- Río Tapaón - Puente de Dios. El área de infiltración es de 390 km<sup>2</sup>, donde se precipita un volumen medio anual de 815 millones de m<sup>3</sup>. De esta precipitación 515 millones de m<sup>3</sup> son drenados hacia el Río Tam --

pañ, entre las estaciones Tansabaca, Gallinas, Santa Rosa y Pujal, por lo tanto el 63% de precipitación drena al Río Tampañ entre dichas estaciones.

- Pujal - El Abra. El área de influencia es de 52 km<sup>2</sup>, correspondientes a las calizas del Cerro Tantobal y parte sur de la Sierra El Abra. La precipitación pluvial es de 61 millones de m<sup>3</sup>, que se infiltran sobre las formaciones calcáreas y escurren hacia el Río Tampañ a guas abajo de la estación Pujal en la región de las dolinas que se localizan sobre el cauce.

- Nacimiento Río Choy. El área de influencia de infiltraciones es de 66 km<sup>2</sup>, con un volumen medio anual de 79 millones de m<sup>3</sup>. El flujo base procede del drenaje del acuífero calcáreo medido en la estación Choy que corresponde a un volumen de 94 millones de m<sup>3</sup>, que es mayor que el volumen precipitado. Es posible que el área de influencia sea mayor considerándose que queda circunscrita a la misma Sierra del Abra.

## 5.2 Geología regional

La zona estudiada corresponde a la provincia geológica de la Plataforma Valles - San Luis Potosí, dentro de la cuenca sedimentaria de nominada Cuenca Tampico - Misantla y comprende una fracción del Estado de Tamaulipas, el norte de Veracruz y porciones de San Luis Potosí, Puebla e Hidalgo. (Figura 5.4)



El basamento Precámbrico y Paleozoico se observa sólo en afloramientos aislados que constituyen ventanas erosionales dentro de la secuencia calcárea. La edad de la mayor parte de las rocas aflorantes varía del Mesozoico al Terciario, pero en el sitio del proyecto se localizan sólo rocas del Mesozoico y Recientes.

#### 5.2.1 Estratigrafía

Las rocas más antiguas aflorantes en la Plataforma de Valles - San Luis Potosí están localizadas en la porción central del arco de Michihuana; son esquistos micáceos de edad Precámbrica en contacto por falla con capas rojas Triásico - Jurásicas y subyaciendo discordantemente a una delgada capa arcillo - arenosa y calcárea del Neocomiano - Titonia no.

Al poniente del Arco de Nahola y al noreste de Ahuacatlán, se encuentran calizas de plataforma Neocomiano - Aptiano, en casi toda la superficie de la Plataforma se encuentran sedimentos marinos del Cretácico Medio Superior constituidos por lutitas, areniscas, calizas de tipo post arrecifal y arrecifal y anhídritas de edad Cretácico Inferior.

Al sur - sureste de la Plataforma, en el área de Tamazunchale, aflora una secuencia de sedimentos-marino - arcillo - arenosos del Triásico; sedimentos continentales del Jurásico Medio; sedimentos marinos arcillo - calcáreos con materia orgánica del Jurásico Superior y un paquete que varía de arcillas calcáreas a calizas del Cretácico Inferior al Superior.

Tanto al occidente, como al norte y noreste de esta unidad, - se encuentran sedimentos marinos arcillo - arenosos y calcáreos del Paleozoico, lutitas o areniscas del Triásico y sedimentos arcillo - calcáreos del Cretácico.

A continuación se hace la descripción de las rocas aflorantes en la zona de estudio. Ya que los sedimentos del Sistema Cretácico forman la mayor parte de estas rocas y se encuentran ampliamente distribuidas con espesores de más de 6 000 m. (Figura 5.5)

#### Formación Tamaulipas Inferior

##### - edad

Por su contenido fosilífero de *Tintinopsella carpathica*, *Nannoconus steinmani*, *N bermudenzi*, *T oblonga* y fragmentos de moluscos y equinodermos es de edad Berriasiano - Valanginiano.

##### - definición

Con el nombre de Formación Tamaulipas Inferior se conoce a una secuencia de calizas de grano fino de colores gris claro a crema y amarillo crema, con nódulos de pedernal y líneas estilolíticas paralelas a los planos de estratificación. Stephenson (1927) y Muir (1936).

##### - Localidad tipo

Se encuentra en la Sierra de Tamaulipas, en el Cañón de la Bo - rrega, al oriente de la Estación de ferrocarril de Zaragoza.

**CORRELACION ESTRATIGRAFICA DE LA PROVINCIA GEOLOGICA  
PLATAFORMA DE VALLES-SAN LUIS POTOSI**

MILLONES DE AÑOS	ERA	PERIODO	EPOCA	EDAD	FORMACION				
					SECTOR OCCIDENTAL	SECTOR CENTRAL	SECTOR ORIENTAL	AREA DE ESTUDIO	
40 60 70	CENOZOICA	CUATERTARIO	Recente		Aluvi3n	Aluvi3n			
			Platoceno			La Aguayana			
		TERCIARIO	Mioceno					Aluvi3n	Aluvi3n
			Oligoceno Eoceno Paleoceno	Therapsida Mammalia Dinosauria					
130	MESOZOICA	CRETACICO	Superior	Maastrichtiano	C3rdense	C3rdense			
				Campaniano				M3ndez	M3ndez
				Santoniano Coniaciano Turoniano		Tamasopo	Tamasopo	San Felipe	San Felipe
		CRETACICO	Medio	Campaniano		El Abra	El Abra	El Abra	El Abra
				Albiano					
				Aptiano Sarram3niano Hauterivi3niano Valangini3niano Barri3niano		Calizas Arrecifales	Gucacand	Tamoulipas Inferior	Tamoulipas Inferior
JURASICO	Superior	Titaniano				Pimienta			
		Elmeri3niano Oxfordiano				Tam3da			

 No Dep3sito  
 No Aflora

**NOTAS:** El material aluvial est3 agrupado a sedimentos cl3sticos terciarios indiferenciados que localmente aparecen en el 3rea de inter3s como el Conglomerado Reynosa. Los datos en miles de a3os fueron tomados de la traducci3n de la compilaci3n de F.W. Eysing, 1971 (Elsevier Publishing Co.). Esta tabla fue elaborada tomando como base los datos del Bolet3n de la Asociaci3n Mexicana de Ge3logos Petrol3eros, VOL. IX-N3m. 1-6, Enero-Junio de 1971 por Jos3 Carrillo Bravo.

**U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA**

**TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VELLE**

**E S T R A T I G R A F I A**

1989

FIG: 5.5

- *espesor*

En el pozo Tamalihuale de PEMEX tiene un espesor de 32 m, pero en otros lugares se han determinado hasta 1 100 m.

- *litología*

Constituída por calizas microcristalinas de grano fino, ligeramente arcillosas, con escasos clásticos de cuarzo, calcarenitas de grano fino a grueso y calcarenitas de aspecto pseudo -oolítico de colores gris crema y gris oscuro parcialmente dolomitizadas. Presenta fauna con microfósiles y megafósiles amonitas.

- *distribución*

Aflora en la porción oriental del Anticlinorio de Huayacocotla, en el Río Chinameca, en Valpan, Tianguistengo, Cholula y Tamatlán en Veracruz, así como en las margenes de la Plataforma Valles - San Luis Potosí. Otros lugares son la región de Arista en S L P, en el Arco de Nahola y en el Anticlinorio Huizachal - Peregrina.

- *relaciones estratigráficas*

Subyacen concordantemente a dolomitas de la Formación El Abra y cubren en la misma forma a la Formación Pimienta.

- *origen*

Se infiere por su fauna y sedimentología que fue depositada sobre una plataforma en aguas de alta energía.

### Formación El Abra

#### - edad

Por su contenido faunístico se le ha dado edad Albiano - Cenomaniano.

#### - definición

Se le da el nombre de Formación El Abra al complejo calcáreo de tipo plataforma, de edad Albiano - Cenomaniano, que se halla sobre la Plataforma Valles - San Luis Potosí y en la Faja de Oro. Es necesario hacer hincapié en que el término fue originalmente citado por Garfías -- (1915) y aplicado por Powers (1925) a las calizas de los campos petroleros de Faja de Oro; quien estableció correlación con la Formación Tamaulipas. Desde 1925 hasta 1952 fueron estudiadas y discutidas por Díaz Lozano (1927), A Heim (1925), C L Baker (1926), Adkins (1930), J O Nigra (1951), J Muir (1934) y Bonet (1952)

Inicialmente se le dió el nombre a un grupo de dos facies (Muir 1936); la facie Taninul (de rudistas) y la facie El Abra (de milio-las). En la actualidad se ha subdividido en tres facies como conclusión de los estudios de campo efectuados en la Plataforma Valles San Luis Potosí (Carrillo Bravo, 1969). Dichas facies son:

- 1 facies pre - arrecifal (equivalente a la Formación Tamabra)
- 2 facies arrecifal (equivalente a la facies Taninul)
- 3 facies post - arrecifal (equivalente a la facies El Abra).

- *localidad tipo*

La facies arrecifal se encuentra en el Túnel de Taninul, sobre el ferrocarril Tampico - Cd Valles. La facies post - arrecifal se halla en las canteras de la estación El Abna a 9.4 km de Cd Valles.

- *espesor*

Según la facies, el espesor varía de 300 a 1800 m

- *litología*

La facies pre - arrecifal se halla integrada por más de 200 m de calizas de grano fino, de color gris claro y gris oscuro, en estratos ondulantes de espesor mediano a grueso, con lentes de pedernal negro, interdigitados con las capas de calizas o incluidas en ellas, se encuentran brechas biocalcáreas y otros moluscos no identificados. En algunos lugares hay manifestación de aceites o están dolomitizadas.

La facies arrecifal está representada por calizas masivas de color crema amarillento y gris crema, constituidas principalmente por un conjunto de bancos arrecifales (de caprinidos y radiolitidos), separados uno del otro por calcarenitas, calcarenitasoolíticas y clásticos - biógenos; el cementante entre los fósiles generalmente es calcita de grano fino. Estas rocas generalmente son compactas y las únicas zonas porosas se hallan en algunas cavidades dejadas por los fósiles; la porosidad secundaria, producida por lixiviación y fracturamiento es en grande, desarrollando un complejo sistema de grietas y cavernas.

La facies post - arrecifal se ha subdividido en cinco litofacies: unidad clástica post - arrecifal, unidad de calcilutitas y calcarenitas con miliolas y toucacias, unidad de dolomitas y calizas parcialmente dolomitizadas, unidad de calcilutitas y calcarenitas con miliolas y toucacias y zona dolomítica basal.

- distribución

La Formación El Abra tiene una distribución muy grande, tanto en la región Faja de Oro como en la Sierra Madre Oriental de la zona norte, teniendo equivalentes para distintas partes de país.

- relaciones estratigráficas

Subyace a la Formación Agua Nueva del Turoniano y sobreyace a sedimentos de Tamaulipas Superior y Cuesta del Cura. En algunas localidades el contacto es concordante mientras que en otras es discordante.

- origen

Los depósitos pre - arrecifales que bordean a la Plataforma Valles - San Luis Potosí, son una mezcla de calizas de cuenca y rocas biocalcáreas, que fueron originadas por el flujo de corrientes submarinas de lodo, producidas por el desprendimiento y caída, dentro de sedimentos de la cuenca no consolidada de grandes segmentos de los crecimientos arrecifales que se hallaban en las margenes de dicha plataforma.

Los sedimentos post - arrecifales fueron depositados en la parte interna de una plataforma, en aguas marinas claras, cálidas, de muy poca profundidad y retiradas de una fuente de material terrígeno. La presencia de dolomitas en la porción basal de la secuencia litológica es un indicio de que la tendencia evaporítica de las rocas del Neocomiano - Aptiano se continúa durante el Albiano Inferior.

#### Formación Agua Nueva

##### - edad

Por su contenido faunístico, así como por su posición estratigráfica los sedimentos de la Formación Agua Nueva se les asigna al Turoniano.

##### - definición

Se le asigna este nombre a una sección de calizas con pedernal, intercaladas con lutitas negras carbonosas. Stephenson (1971).

##### - localidad tipo

Afloran en el Cañón de la Borrega, cerca del Rancho Agua Nueva, Tamaulipas.

##### - espesor

El espesor varía de unos cuantos centímetros en el Cañón de Peña, al oriente de la Sierra de Tamaulipas, hasta 240 m en la región de Dr Arroyo, N L.

- *litología*

Consiste de calizas arcillosas finamente bandeadas de grano fino a medio, que alternan con estratos medianos a gruesos de lutitas laminares de color gris y gris oscuro a negro, de intemperismo amarillento ligeramente rojizo. La presencia de pedernal negro en lentes o láminas es una de las características principales.

- *distribución*

Aflora en franjas interrumpidas, sobre el flanco occidental de la Sierra El Abra, en los flancos de las primeras sierras que se hallan en el frente de la Sierra Madre Oriental y al sur, sureste y noroeste de Dr Arroyo N L

- *relaciones estratigráficas*

Descansa en algunas localidades discordantemente sobre la Formación El Abra o Cuesta del Cura. Subyace a la Formación San Felipe que gradúa lateralmente al noroeste de la Formación Imdidura.

- *origen*

La alternancia rítmica de lutitas y calizas arcillosas indica que el depósito se efectuó en condiciones inestables, en un ambiente nerítico, cerca de una fuente de material terrígeno.

Formación San Felipe

- *edad*

Se le asigna una edad Senoniano, por su contenido de micro -

fauna de *Globotruncana* principalmente.

- definición

Descrita por Jeffreys (1910) como un cuerpo de calizas de grano fino a medio, con intercalaciones de lutitas gris olivo y bentonita verde esmeralda, de edad Senoniano. Coniaciano-Santoniano. Muir (1936).

- localidad tipo

En el Rancho San Felipe a la altura del kilómetro 538.8 del ferrocarril que corre de Tampico a San Luis Potosí.

- espesor

Es muy variable de localidad a localidad, pasando de unos centímetros a 760 m al sur de Ciudad Victoria, Tamaulipas.

- litología

Constituida de calizas y calizas arcillosas, bien estratificadas, en capas de espesor delgado a medio, de color gris claro, gris y gris verdoso, que intemperizan en amarillo limonítico; estas calizas, al partirse, presentan manchas que probablemente son huellas de algas, alternan con capas de lutitas de color gris claro a gris verdoso por la presencia de material glauconítico. Se encuentran estratos de bentonita verde.

- distribución

Se depositó sobre la margen oriental de la Plataforma Valles -

San Luis Potosí. Aflora en los flancos de la Sierra de El Abra, rellena casi todos los sinclinales que se encuentran en el frente este de la Sierra Madre Oriental y también se halla expuesta sobre el flanco occidental del Arco de Miquihuana (al suroeste de Dr Arroyo, N L).

- relaciones estratigráficas

En ocasiones descansa discordantemente sobre la Formación El Abra, en algunos casos cubre concordantemente a la Formación Agua Nueva y siempre subyace transicional y concordantemente a la Formación Méndez.

- origen

Son sedimentos de cuenca, depositados en ambientes neríticos a epineríticos.

Formación Méndez

- edad

Por su contenido de Globotruncana cónica, G contusa, G sp, G ventricosa, Gumbelina y otros microfósiles se le ha asignado edad Campaniano - Maestrichtiano.

- definición

Fue utilizado el término por primera vez para una secuencia de lutitas. Dumble (1911), Jeffreys (1912) y De Golyer (1916).

- localidad tipo

Se encuentra a 300 m al este de la Estación Méndez, Veracruz.

sobre el ferrocarril Tampico - San Luis Potosí.

- *espesor*

De 500 a 1'000 m en el sur - sureste de Aquismón y aproximadamente 1'900 m en la Sierra Madre Oriental, entre Linares, Ciudad Victoria y Ciudad Mante.

- *litología*

Constituida por lutitas y margas de color gris y gris verdoso, en capas mediana y gruesas, que con frecuencia alternan con delgadas capas de bentonita blanca.

- *distribución*

Aflora en la mayoría de los sinclinales que se encuentran en el frente de la Sierra Madre Oriental, desde Monterrey hasta Ciudad Victoria, Ciudad Valles, Tamazunchale y Córdoba.

- *relaciones estratigráficas*

Descansa transicional y concordantemente sobre la Formación San Felipe. Subyace a la Formación Chicontepec en contacto discordante, al igual que cubre en forma discordante a la Formación El Abra.

- *origen*

Sedimentos depositados en mares abiertos de profundidades considerables.

### Formación Chicontepec

#### - edad

Del Paleoceno y Eoceno Inferior

#### - definición

Consiste de una serie de capas de areniscas amarillas a pardas con huellas de gusanos. No se localizaron fósiles ni fauna. Esta definición la dió Dumble (1918); Bush y Govela (1978) la definieron como - Grupo Chicontepec dividida en tres formaciones: superior, medio e inferior.

#### - localidad tipo

Los afloramientos donde se originó el nombre y que corresponde al Chicontepec Superior están expuestos en la cresta de un anticlinal a 2.5 km al oriente de Chicontepec, Veracruz.

#### - espesor

Varía de 1 500 m en Tancanhuitz y Chicontepec hasta 2 000 m en Misantla, Veracruz.

#### - litología

La Formación Chicontepec Superior consta de areniscas de grano medio fino a medio, de colores gris y gris oscuro, estratos de 5 a 10 cm de espesor con impresiones de gusanos marinos, huellas de oleaje y restos de plantas.

La Formación Chicontepec Medio, está constituida por una serie de areniscas y lutitas con alternancia. Las areniscas son de color gris, de grano medio, compactas, en capas de 20 cm de espesor a un metro ocasionalmente con material carbonoso. Las lutitas son de color gris a gris azul, duras, estratificadas en capas delgadas.

La Formación Chicontepec Inferior, está constituida por una serie alternante de capas de areniscas calcáreas y de lutitas y margas depositadas en aguas poco profundas, estos sedimentos representan el tipo llamado *Flysch*.

- distribución

Expuesta en la parte occidental de la mitad sur de la Cuenca de Tampico - Mianthla desde Tancanhuitz, S L P , hasta Teziutlán, Pue., formando una faja de 260 km por 30 km paralela a los pliegues de la Sierra Madre Oriental, en el sureste en Macuspana y en Chiapas en Pichucalco.

- relaciones estratigráficas

Descansan en forma discordante sobre la Formación Méndez y en algunas localidades están cubiertos por la Formación Aragón y Guayabal de sedimentos arcillosos.

- origen

Varios autores proponen un origen orogénico; según lo indica la microfaua son sedimentos profundos, depositados en un canal con múltiples tributarios que lo alimentaban.

### Sedimentos Recientes

Como producto de la erosión e intemperismo, toda la zona se encuentra cubierta por una capa de suelos altamente fértiles y propios para el cultivo. El espesor varía según la morfología del sitio.

### Rocas Igneas o Metamórficas

Se encuentran pequeños afloramientos de granitos y pórfidos -- riolíticos que afectan a calizas de la Formación El Abra en Guadalcázar, S L P; doleritas en Tamaulipas y San Luis Potosí; riolitas, andesitas y basaltos en la porción suroccidental de la Plataforma Valles - San - Luis Potosí y en algunas localidades de Tamaulipas. La única evidencia de metamorfismo se presenta en la recristalización, marmorización y mineralización de las calizas intrusionadas por el granito de Guadalcázar.

#### 5.2.2 Tectónica

Las características del basamento Precámbrico y Paleozoico sobre el que evolucionó la amplia secuencia Mesozoica del oriente de México no son claras, debido a lo escaso de los afloramientos. A los afloramientos paleozoicos de la Sierra Madre Oriental se les considera como una prolongación del cinturón Ouachita del sureste de los Estados Unidos.

Los cinturones que conforman este basamento debieron haber sido fuertemente dislocados por movimientos laterales y verticales de la primera mitad del Mesozoico, cuando ocurrió la apertura del Golfo de México. Estos movimientos tectónicos prepararon la distribución paleogeográfica de cuencas y plataformas que controlarían la sedimentación y las deforma

ciones Laramídicas de finales del Mesozoico. En el Triásico se desarrolló una tectónica distensiva continental con formación de fosas, rellenas por sedimentos continentales.

Un dominio de tipo geosinclinal o de sistema de aulacógenos se origina por la transgresión marina del Jurásico Superior en el oriente del país y como consecuencia de la apertura del Golfo de México.

A principios del Cretácico Superior ocurre un marcado cambio en el régimen de sedimentación originado por el levantamiento de deformación del dominio occidental.

Los sedimentos detríticos que cubren la secuencia calcárea del oriente se distribuyen ampliamente, alcanzan grandes espesores, interrelacionándose los dominios occidental y oriental.

Concy (1976) propone un modelo en donde las deformaciones orogénicas de finales del Cretácico y principios del Terciario coinciden -- con un cambio de movimiento de las placas tectónicas.

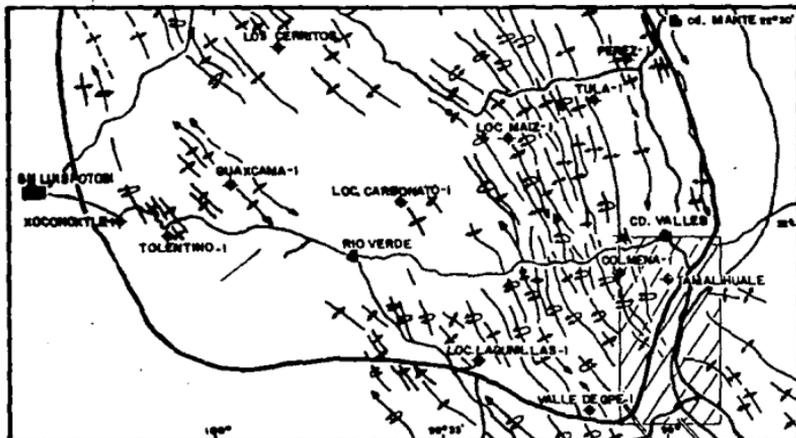
La orogenia Laramide causó plegamientos que originaron la Sierra Madre Oriental, así como fracturamientos, fallamientos y otras estructuras geológicas. De Cserna (1956) considera que los pliegues de la secuencia Mesozoica aumentan en intensidad desde la Mesa Central hasta la Sierra Madre Oriental, por la presencia de las masas cratónicas de la Plataforma de Coahuila y la Península de Tamaulipas.

Tardy (1975) supone una cobijadura de centenas de kil6metros que coloca la secuencia pel6gica de la cuenca interna (Mesa Ceniza y - Cadena Alta de la Sierra Madre Occidental) sobre la Plataforma de Valles San Luis Potosi y Coahuila, con secuencias arrecifales y subarrecifa -- les que forman una misma arruga paleogeogr6fica, Tardy supone el desprendimiento de la secuencia de la cuenca interna (yesos del Oxfordiano) con la posibilidad de que el basamento forma parte del fen6meno -- tect6nico. (Figura 5.6)

### 5.2.3 Geologfa hist6rica

Para poder intepretar los procesos que tuvieron lugar en la - zona de estudio y sus alrededores se recurre a la identificaci6n de las formaciones que afloran y las estructuras que le afectan, asi como el - contenido faunistico que permita establecer una conclusi6n del ambiente que predomin6 a trav6s del tiempo geol6gico.

Debido a que las rocas m6s antiguas que afloran son del Cret6cico Inferior - Cret6cico Superior y corresponden a la Formaci6n El Abra, hay evidencias de que en el 6rea existi6 un ambiente marino de aguas templadas de mar abierto, en plataforma de poca profundidad con - hundimiento lento pero continuo que favoreci6 el crecimiento de organismos que constituyeron el arrecife. En las zonas circundantes, el fondo marino tuvo levantamientos y hundimientos que propiciaron otros ambientes en los que se depositaron las Formaciones Tamaulipas Inferior, Otaates, Tamaulipas Superior y Agua Nueva.



### SIMBOLOGIA

	Carretera		Límite de la Plataforma
	Poblado		Anticlinal
	Coordenadas Geográficas		Anticlinal basante
	Zona de Estudio		Anticlinal revesado
	Pozo Exploratorio		

NOTAS: Este plano es copia parcial del plano Índice de la XI Escala Geológica a la Provincia Geológica de la Páramo Valles San Luis Potosí realizada por Petróleos Mexicanos en junio de 1980

Esc. 1:800 000

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

T E C T O N I C A

1989

FIG: 5.6

En el Turoniano, las condiciones de depósito cambian y a la vez se uniformizan para toda la región, con sedimentación en mares de poca profundidad que se veían afectados por pulsaciones constantes, aunado a la etapa regresiva, dando origen a la Formación Agua Nueva. El depósito de sedimentos continuó, pero ahora la profundidad de los mares se redujo y se incrementó el aporte de terrígenos en el Coniaciano - Santoniano para constituir la Formación San Felipe.

En el Campaniano - Maestrichtiano y como resultado de la primera pulsación de la Orogenia Laramide se incrementa la cantidad de sedimentos arcillosos y terrígenos de la Formación Méndez.

Al finalizar el Cretácico Superior e iniciar el Terciario, el fondo marino emergió y permaneció hasta el Paleoceno, cuando una nueva transgresión permitió el depósito de los sedimentos de la Formación Chi<sup>ntepec</sup>.

Nuevos esfuerzos compresionales originaron plegamientos y emersión de la totalidad de la zona, quedando sujeta desde entonces a erosión e intemperismo que forman los depósitos aluviales actuales.

### 5.3 Geología del área del proyecto

En el inciso anterior se hace la descripción general de la litología y estructuras que influyen de forma general en el proyecto. En seguida se analizarán los aspectos locales de los sitios de interés.

### 5.3.1 Embalses

Como se ha escrito anteriormente el proyecto contempla los embalses Pujal y Coy; por la posición geográfica que tienen, las condiciones existentes son casi similares desde el punto de vista litológico, estructural y geotécnico.

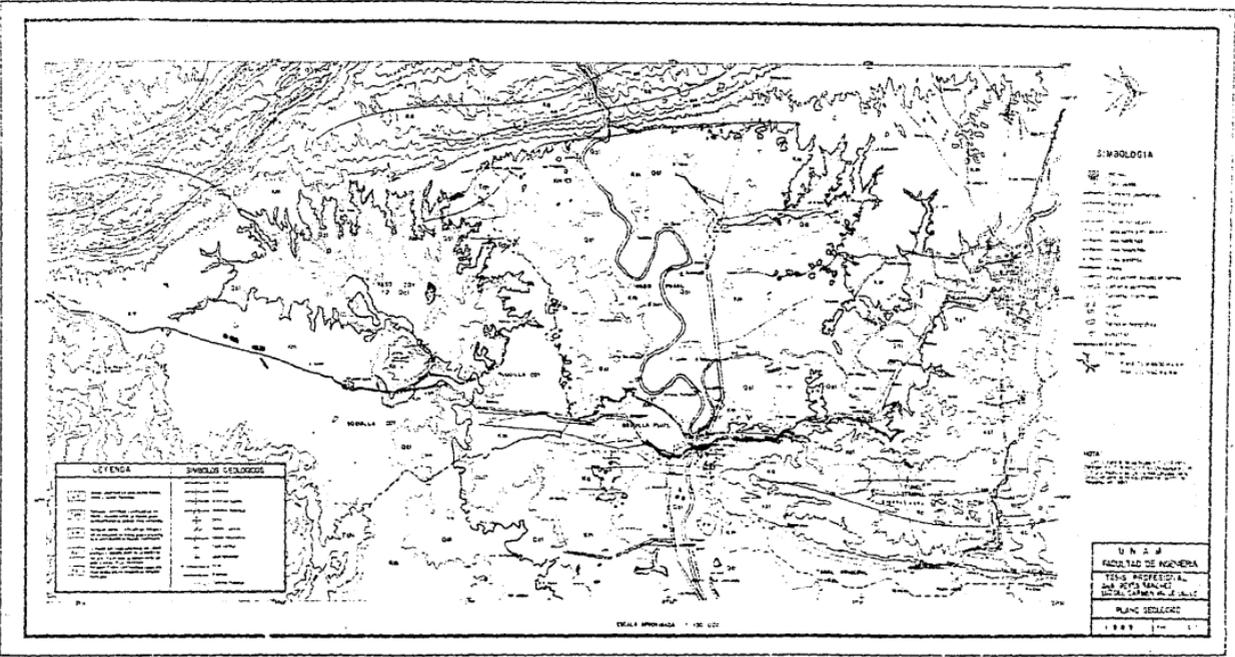
#### a) Litología

En el área de estudio afloran rocas de edad Cretácica a Reciente. Los sedimentos marinos de tipo calcáreo son los más abundantes, los de origen continental se reducen a pequeños afloramientos en los extremos de esta zona de estudio. (Figura 5.7)

A continuación se presenta una breve descripción litológica de las formaciones que afloran en la zona de los vasos y sus alrededores.

Las rocas más antiguas corresponden a la Formación El Abra, que consisten en calizas puras y calizas dolomitizadas color gris crema a gris oscuro y negro, con textura rugosa y porosa, presentan cavernas por disolución de carbonatos de dimensiones variables. Estas rocas ocupan las partes más altas de las principales elevaciones topográficas (Sierra El Abra de Tanchipa, El Alto de Tantobal y el Cerro del Nacimiento). Se considera por su amplia distribución como fuente principal de recarga de las cuencas endorreicas situadas al sur y poniente del área.

La Formación San Felipe está constituida por calizas cretáceas



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

**SIMBOLOGIA**

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

U N I T  
 FAKULTAS TEKNIK  
 POLITEKNIK NEGERI  
 SURABAYA  
 JALAN SEMENTEN  
 SURABAYA  
 60115

SKALA 1:50.000

y arcillosas con alternancia bien definida de capas delgadas de bentonita y lutita de color amarillo - gris en superficies intemperizadas y -- gris - verdoso en superficies frescas, tiene ligero buzamiento de  $10^{\circ}$  - al poniente y aflora en los bordes del Río Valles, en el Rancho Providencia, en el Cañon Puente de Dios y en el Rancho Santiaguillo.

La Formación Méndez del Cretácico Superior se forma de margas de color verdoso, con intercalaciones de capas delgadas de bentonita de color blanco y capas de calizas cristalinas delgadas, con echados menores de  $10^{\circ}$  y estratos horizontales; en algunas partes alcanza potentes espesores (hasta de 1 900 m), pero en esta zona se reduce a pequeños - paquetes que afloran en todas las lomas de flanco occidental de la Sierra El Abra, Cerro El Jabalí, Cerro Ojo de Agua y otros cerros como La Calera, La Gloria, El Besito, Puente Matalote y El Rabaje.

Ya en el Cenozoico, los sedimentos que afloran son del Paleoceno y de origen continental, corresponden a la Formación Chicontepec y consisten de areniscas y lutitas en estratos delgados y medianos de color gris - amarillento al intemperismo y gris claro oscuro en superficie fresca. De estos sedimentos sólo se tienen determinados dos afloramientos al sur del vaso Pujal a la altura del eje San Pedro en el Rancho Las Delicias.

A partir de este periodo la región entra en un estado de erosión e intemperismo, con acumulación de sedimentos recientes que se han identificado como los conglomerados Reynosa, con espesores de 20 m en

el cauce del Río Tapañ. Los constituyentes son gravas y arenas empacadas en caliche sin cementar. En todas las partes planas del vaso, sobre las márgenes del Río Tapañ y Valles se encuentran espesores de hasta 30 m de boleos, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas.

#### b) Geología estructural

La mayor parte del área que ocuparan los vasos Pujal - Coy se localiza sobre el sinclinal de Valles (Sinclinorio de Valles) de 40 km de longitud y una anchura máxima de 10 km, con orientación norte - sur. En el flanco oeste del sinclinal se observan dos pequeños anticlinales - con orientación burda norte - sur; uno de ellos localizado en el Rancho El Sidral, el otro a 300 m de éste.

En el flanco este del anticlinal Sierra El Abra, existen dos plegamientos de pequeñas dimensiones, uno situado a 1.5 km al oeste -- del Rancho La Gloria, con orientación norte - sur; y el otro orientado norte - sur, a 200 m al oeste de la carretera México - Laredo y a 2 km al N30°W del poblado Pujal.

En el borde oriental se encuentra un domo como parte del alineamiento estructural Sierra El Abra - Domo Tantobal - Cerro del Nacimiento.

Otras estructuras que existen en la zona que rodea a los vasos son las siguientes:

En el extremo occidental y con una orientación noroeste - sur este se localiza una serie de plegamientos paralelos formados por un anticlinal; en su extremo exterior un anticlinal recostado buzante al oeste y un sinclinal en la parte interior. El contacto entre el anticlinal recostado y el sinclinal está marcado por escarpes. A esta gran estructura se le ha llamado en su parte superior Sierra La Colmena, con una elevación máxima de 800 m s n m, que corresponde a el Cerro El Pilón. Esta sierra se encuentra separada de la Sierra Las Anonas por el Cañón Puente de Dios labrado por el Río Tambañ; es una continuación de la misma estructura con promedio de altitud del orden de 700 m s n m. En el extremo inferior se une a otra serie de anticlinales y sinclinales con igual orientación, denominados como Sierra de Tampamoche y Sierra San Francisco. Estas estructuras están cortadas por fallas y fracturas perpendiculares. En el extremo opuesto hay un anticlinal orientado norte - sur, erosionado, llamado Sierra El Abra de Tanchipa que apenas alcanza altitudes de 300 m s n m; uno de los últimos plegamientos que forman parte de la Sierra Madre Oriental.

Al sureste se tiene otro plegamiento (un anticlinal) orientado noroeste - sureste con altitudes de 400 m s n m y conocido como anticlinal de San Pedro. En la parte central se tiene el domo denominado Cerro del Nacimiento; es un anticlinal dómico o periclinal, fracturado y cortado con tres fallas. Una falla NE 45° SW de tipo normal y desplazamiento vertical de 40 m, con una extensión observable de 400 m, una falla NW 50° SE, normal, desplazamiento vertical de 40 m y una falla NW 5° SE, normal, con salto de 30 m en el nacimiento del Río Coy.

También se identificaron cuatro sistemas de fracturas con orientaciones NW 45° - 4° SE; N 40° - 45° S; NE - SW y uno paralelo al eje del anticlinal norte - sur.

### c) Aspectos geotécnicos

La topografía y geomorfología que se tienen en esta área no representan problemas de estabilidad de las paredes que conforman los vasos. De igual manera el material que constituye el terreno se considera de poca alterabilidad, con una erosión e intemperismo mínimo, así también el material de acarreo que transportan las corrientes que están constituidos por fragmentos de bolcos, arenas, arcillas y que en la actualidad representan potentes espesores en la riberas de los ríos, no afectan la vida útil de los embalses.

Respecto al grado de impermeabilidad, en todo el área que ocuparán los los embalses se tiene una capa con espesor constante de 50 a 50 m de margas y lutitas calcáreas (Formación Méndez), impermeables cubriendo a las calizas poco permeables de la Formación San Felipe y a las calizas cársticas de la Formación El Abra.

No hay evidencia de presencia de dolinas dentro del embalse Pujal; mientras que en el embalse Coy se encontraron dos de ellas, -- una en la cercanía al eje en la margen izquierda y otra al suroeste del Cerro del Nacimiento; por estudios de piezometría se corroboró que no representan zonas de fugas de agua, ya que no actúan como conductos directos.

TABLA 5.1 RESUMEN DE ESTUDIOS DE LAS ALTERNATIVAS DE LOS EJES DE LAS CORTINAS PUJAL - COY

BOQUILLA PUJAL		EXPLORACIONES DEL SUBSUELO		OBSERVACIONES
EJE LONGITUD (m)				
1	3 690	8 perforaciones		1 Espesor de depósitos recientes de 22,2 m en la margen derecha
		21 pozos a cielo abierto		2 Las rocas aflorantes corresponden a la Formación - San Felipe y El Abra (con alta permeabilidad por la carsticidad), son parte del flanco oriental del anticlinal formado por la Sierra El Abra
		Geofísica eléctrica		3 El eje tiene una orientación norte - sur
				4 La calidad de las rocas de la Formación San Felipe y Abra es buena, la Formación Méndez presenta intenso fracturamiento
				5 Desechada por porosidad y cavernosidad de las calizas, con alta permeabilidad y posible fallamiento de la cimentación e intenso fracturamiento de la Formación San Felipe en la margen izquierda
2	2 958	19 perforaciones		1 Espesor del relleno en el cauce y margen derecha de 40 m
		Geofísica sísmica de refracción		2 Alojada en el flanco oriental del Alto de Tentobal, con una orientación NW 28° SE
				3 La calidad de la roca es buena en general, pero las calizas presentan intenso fracturamiento en la margen derecha
				4 Desechada por la alta permeabilidad y fracturamiento de calizas en el extremo derecho del eje
3	2 640	25 perforaciones		1 Espesor en la margen izquierda de rellenos de 27 m a 30 m
		Geofísica sísmica de refracción		2 A lo largo del eje con orientación NW 26 SE con afloramientos de la Formación Méndez
				3 Desechada por los espesores de relleno en la margen derecha con desarrollo vertical y lateral
4	5 770	37 perforaciones		1 Espesor de material de relleno en la margen derecha de 31 m con alta permeabilidad
		26 pozos a cielo		2 Con una orientación NE - SW, se emplaza en marges y lutitas
		Geofísica eléctrica de caída de potencial		3 Desechada por los espesores de relleno en la margen derecha (en su primera etapa de exploración)
		1 trinchera		
5	5 770	6 perforaciones		1 Espesores de material de acarreo hasta de 29 m con alta permeabilidad sobre el cauce
				2 El eje emplazado en rocas de la Formación Méndez - tiene orientación NE - SW, presenta fugas de agua en la margen derecha
				3 Las lutitas presentan fracturamiento y alta permeabilidad
				4 Desechada por los potentes espesores de relleno

EJE LONGITUD (m)	EXPLORACIONES DEL SUBSUELO	OBSERVACIONES
6	4 500	20 perforaciones
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Espesor de material de acarreo de 32 m</li> <li>2 Dado que esta alternativa coincide con los ejes 3, 4 y 5 en la margen izquierda y eje 4 en la margen derecha, las observaciones coinciden con las anteriores</li> <li>3 La Formación Méndez presenta alta permeabilidad</li> <li>4 Desechada por los potentes espesores de relleno</li> </ol>
7	2 500	12 perforaciones
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Espesor de material de acarreo de 25 m con alta permeabilidad</li> <li>2 Presenta una orientación NW 15 SE y se une al eje 4, se aloja en el flanco norte del Alto de Tantobal</li> <li>3 Por su intenso fracturamiento tiene desarrollo de conductos con presencia de sumideros y dolinas</li> <li>4 Desechada por alta permeabilidad de calizas y presencia de materiales de acarreo</li> </ol>
8	3 680	21 perforaciones 5 pozos a cielo abierto Geofísica sísmica de refracción
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Espesor de material de acarreo de 28.2m en la margen derecha y 2 m en el cauce</li> <li>2 Presenta una orientación NE 50 SW. Las calizas presentan alta permeabilidad, abundantes dolinas y sumideros, aguas arriba y abajo de la cota máxima de embalse</li> <li>3 Las margas y lutitas se encuentran alteradas en los primeros metros al igual que las calizas. En la margen izquierda la formación impermeable, está erosionada y fracturada</li> <li>4 Desechada por alta permeabilidad de las calizas</li> </ol>
9	4 560	14 perforaciones
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 En el cauce el espesor de los materiales de acarreo es de 25 m con alta permeabilidad</li> <li>2 El eje se orienta N - S confundándose en un tramo con el eje 4 en la margen derecha. Emplazado en calizas cársticas con alta permeabilidad</li> <li>3 Calizas fracturadas de la Formación El Abra y Méndez</li> <li>4 Desechada por alta permeabilidad de las calizas en la margen derecha (en su primera etapa de exploración)</li> </ol>
10	16 000	7 perforaciones
		<ol style="list-style-type: none"> <li>1 Espesor del material de relleno de 15 m en el cauce</li> <li>2 El eje con una orientación NW 50 SE se emplaza en material de acarreo, lutitas, margas y calizas (Solo se estudiaron 2 km)</li> <li>3 Desechada por calizas con alta permeabilidad en la margen izquierda, infiltraciones, cota de embalse 10 m abajo de la definitiva y gran longitud</li> </ol>

EJE LONGITUD (m)	EXPLORACIONES DEL SUBSUELO	OBSERVACIONES
DEF1 5 220 NITI YO	50 perforaciones 16 pozos a cielo abierto	1 Espesor de material de acarreo en el cauce de 4 m y 33.8 m en la margen derecha 2 Orientación NE 20 SW
<b>BOQUILLA COY</b>		
1 5 168	9 perforaciones 27 pozos a cielo abierto	1 Espesor del material de acarreo en el cauce de 14.5 m 2 Eje trazado por la unión de los lomeros, con orientación NW 10 SE, constituidos por lutitas y margas 3 Formación Méndez alterada en superficie y permeable 4 Desechada por bajos topográficos a lo largo del eje
2 5 474	37 perforaciones 15 pozos a cielo abierto	1 Espesor de material de relleno de 16 m 2 Orientada NE 71 SW, emplazada en lutitas alteradas y fracturadas en los primeros 4 m, con alta permeabilidad
3 2 002		1 Potentes espesores de material de acarreo en todo el trazo 2 Tiene una orientación NW 10 SE emplazado en material de relleno 3 Desechada por los potentes espesores de material de acarreo en la margen izquierda
4 1 515	8 perforaciones	1 Espesor de material de relleno y aluvión en el cauce de 13 m 2 Tiene una orientación NW 45 SE 3 Desechada por potentes espesores de material de relleno en la margen izquierda
B 12 150	26 perforaciones 3 pozos a cielo abierto	1 Espesor de material de acarreo y aluvión aceptables 2 Orientación NW 30 SE, emplazado en lutitas permeables hasta 7 m 3 Alteración de lutitas 4 Desechada por su gran longitud

**U N A M**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**TESIS PROFESIONAL**  
**ANA REYES SANCHEZ**  
**LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE**

RESUMEN DE ESTUDIOS DE LAS ALTERNATIVAS  
DE LOS EJES DE LAS CORTINAS PUJAL-COY

1989

TABLA 5.1



### 5.3.2 Cortinas

Desde la propuesta de construcción de las cortinas del Sistema de Presas Pujal - Coy, se han analizado varias alternativas. Algunas de estas no se consideraron ni para el Reconocimiento Geológico Preliminar, por no reunir los requerimientos básicos (topografía, litología, estructuras, etc), otras tienen posibilidades topográficas pero no litológicas o representan altos costos. [Figura 5. 8 ]

#### a) Estudios previos de los ejes

De cada alternativa estudiada se ha hecho un balance de las dificultades que representaría su cimentación, los que se exponen en la tabla 5.1.

Todos los ejes explorados se descartaron por dos causas básicas: el espesor vertical y la distribución lateral de los materiales de acarreo de origen aluvial, acumulados en la margen derecha y en el cauce del Río Tapañón, y por la presencia de calizas cársticas con alta permeabilidad en las boquillas.

Incluso las alternativas 4 y 9 que constituyen el eje definitivo presentan en la margen derecha fuertes espesores de material de acarreo, pero evitan en la totalidad las calizas de la Formación El Abra.

Para el caso de la Boquilla Coy, se seleccionó el eje 2, que es una modificación del eje 1 para evitar bajos topográficos excesivos, potentes espesores de relleno en la margen izquierda y la alta permeabi-

lidad se evitará removiendo el material alterado y fracturado.

b) Ejes definitivos de las cortinas

Geología de la Boquilla Pujal

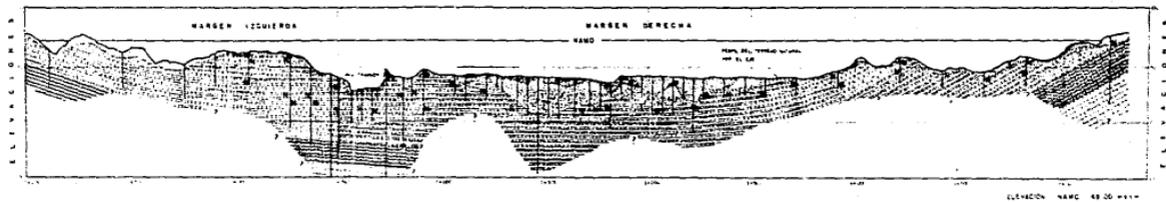
- unidades litológicas

El trazo del eje está emplazado en rocas de las Formaciones Méndez y San Felipe. Estas rocas se encuentran aflorando en pocos lugares, en su mayoría están cubiertas por espesores de 1 a 34 m de boleos y gravas, arenas - arcillosas, lentes arenosos, travertinos y rellenos aluviales como en la margen derecha, los cuales presentan alta permeabilidad. (Figura 5. 9)

En el cauce se tienen espesores de hasta 9.50 m de este mismo material en forma de lentes. La margen izquierda no presenta espesores de mas de 10 m de material producto de la alteración e intemperismo de las lutitas de la Formación Méndez. Estas rocas sanas son impermeables.

Los sondeos reportaron capas de margas y lutitas de la Formación Méndez, con espesores de 50 a 65 m; la mayoría de las exploraciones sólo tocaron esta formación, el resto profundizaron de 20 a 30 m en la Formación San Felipe de calizas y lutitas poco permeables y alcanzaron la Formación El Abra de calizas cársticas permeables.

Normalmente en los contactos de las margas y lutitas con los rellenos, la roca se presenta alterada y fracturada.



- Tierra vegetal con cobertura superficial
- Suelo con pedregales en gran cantidad
- Agua que se evapora durante el día
- Agua y gases que se evaporan durante el día
- "Resaca"

- Arena y arena gruesa de la Formación "Módulo" Capatzen
- Caliza y limas gruesa de la Formación San Juan San Juan
- Caliza arenosa, gruesa de la Formación El Barro Patzen
- Arenas arenosas
- Arenas arenosas
- Arenas arenosas

- Canchales "Indígena (Antena)"
- Señales especiales

**NOTAS:**  
 LAS ESTACIONES Y ELEVACIONES ESTÁN DADAS EN METROS  
 ESCALA HORIZONTAL : 1:10000  
 ESCALA VERTICAL : 1:10000

U N I V FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
POR: ERIC BARRON CARRER WALLE WALLE	
SECCION GEOLOGICA	
SODQUILLA PUJAL	
1989	FIG. 5.9

- estructuras mayores

La estructura en que se alojará la cortina es el flanco occidental del anticlinorio de la Sierra El Abra, con inclinaciones de 4° a 10° al poniente. De los datos obtenidos de los sondeos se definió un anticlinal secundario este - oeste con centro en el río, en donde las capas son casi horizontales.

Geología de la Boquilla Coy

- unidades litológicas

El eje se emplaza únicamente en lutitas, que superficialmente y hasta los 4 m se encuentran alteradas y fracturadas, con alta permeabilidad; después se presentan sanas e impermeables. Los sondeos exploratorios penetraron y cruzaron las margas y lutitas hasta los 50 m.

En el cauce no se encontró material de acarreo, sólo arcilla producto de alteración de las margas y lutitas de la Formación Méndez o esta misma roca muy alterada, con espesor de 16 m. (Figura 5.10)

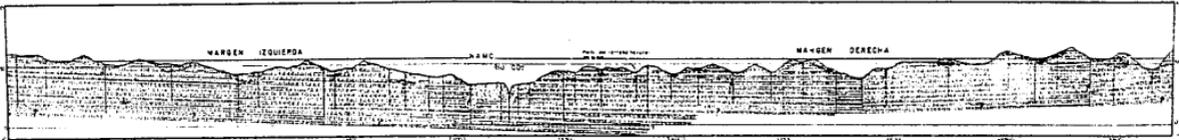
- estructuras mayores

De los datos obtenidos de los sondeos no se aprecia ninguna estructura.

5.3.3 Obras auxiliares

Dadas las condiciones topográficas que existen en el área propuesta, es necesario construir diques para alcanzar el nivel de cortina propuesto y no permitir fugas en los bajos topográficos.

ELEVACIONES



ELEVACIONES  
 ESTACIONES  
 CORTE GEOLOGICO

ELEVACION: N.M.S. 1000 M  
 ESCALAS:  
 HORIZONTAL: 1:10000  
 VERTICAL: 1:1000

SIMBOLOGIA

- |  |  |                        |
|--|--|------------------------|
|  | CONGLOMERADO CON PEQUEÑOS PEQUEÑOS           | SONDEDOS EXPLORATORIOS |
|  | CONGLOMERADO CON PEQUEÑOS PEQUEÑOS Y CONCHAS |                        |
|  | ARENAS                                       |                        |
|  | ARCILLAS                                     |                        |
|  | ARENAS CON PEQUEÑOS PEQUEÑOS                 |                        |

NOTAS:  
 LAS HUELLAS DE LAS HUELLAS SON DE LOS SONDEDOS EXPLORATORIOS

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ANA REYES SANCHEZ	
Luz del Carmen Valle Valle	
SECCION GEOLOGICA BOQUILA COY	
1988	FIG 3 10

Por otro lado y considerando que uno de los objetivos de la presa es la irrigación de áreas adyacentes, se tiene programado la construcción de un túnel y canales de conducción. Para estas obras se hicieron exploraciones que en forma resumida se presentan en la tabla 5.2.

Para las obras auxiliares, como el túnel de desvío, vertedor y obra de toma, no se han hecho exploraciones directas.

#### 5.4 Geotecnia del sitio del proyecto

Del estudio exhaustivo de la zona del proyecto en el cual se localizan los 15 ejes, con un total de 242 barrenos exploratorios, 97 pozos a cielo abierto y una trinchera, se eligió como eje definitivo -- parte del 4 y parte del 9, ya que geotécnicamente reúnen condiciones favorables (las cuales se mencionarán enseguida), para la cimentación de la boquilla Pujal; para la boquilla Coy se eligió el 2.

Ambos sitios se seleccionaron, ya que durante las exploraciones realizadas se encontraron espesores continuos de la Formación Méndez y San Felipe que representan horizontes impermeables y ausencia de calizas cársticas de la Formación El Abra, altamente permeables.

##### a) boquilla Pujal

La margen izquierda está cubierta por suelos arcillosos producto de la alteración de las lutitas de la Formación Méndez. Esta cubierta de suelos y arcillas tiene un espesor promedio de 8m.

TABLA 5.2 EXPLORACIONES DE OBRAS AUXILIARES

OBRA	LONGITUD (m)	EXPLORACIONES DEL SUBSUELO	OBSERVACIONES
DI - QUE	4 000	53 perforaciones en una franja de 350 m de ancho	1 Para determinar un espesor mínimo de 25 m de lutitas y margas 2 Emplazado en el flanco oriental del Cerro del Nacimiento sobre lutitas y margas que en los 12 m iniciales están fracturadas y alteradas, la roca tiene un espesor de 70 m 3 Inicia en el extremo de la cortina del vaso Coy
PITA CO - CHA			
DI - CUE	15 000	5 perforaciones 56 pozos a cielo abierto	1 Para evitar fugas por el Puerto de San Pedro 2 Emplazado en su mayor parte en lutitas y margas
SAN PE - ORO			
TU - HEL		5 perforaciones	1 Una de las alternativas proyectadas
TANI NAL		Geofísica electri- ca de caída de po- tencial a más de 50 m	2 Atraviesa lutitas y margas fracturadas, con orientación de 82 32' al este; calizas fracturadas en superficie y con carsticidad hasta los 60 m 3 Se localizó por geofísica un graben dado por un doble fallamiento

U N A M  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL  
ANA REYES SANCHEZ  
LUZ DEL CARMEN VALLE VALLE

EXPLORACIONES DE DE OBRAS AUXILIARES

1989

TABLA 5.2

El espesor de material de suelos y roca alterada varía de 6 a 15 m y deberá ser removido para el desplante del corazón impermeable de la cortina. Al efectuar la limpia se cubrirá la roca sana con gunita o se realizará esta limpia (la final) un poco antes de colocar la arcilla. Estas precauciones deben tomarse ya que las lutitas de la -- Formación Méndez se alteran rápidamente al ser descubiertas por las excavaciones. Las rocas de esta formación reúnen condiciones de resis -- tencia para la cimentación de la cortina planeada.

El cauce del río se determinó que está labrado en margas y -- lutitas de la Formación Méndez con espesores de acarreo de hasta 10 m. El acarreo está formado por gravas y arenas aluviales con alta permea -- bilidad, el cual deberá removerse para el desplante del corazón imper -- meable y filtros. Este material también es susceptible de tratarse -- por inyectado.

La Formación San Felipe bajo el acarreo del río se presenta sana, previéndose que la limpia no pase de 4 m de espesor, ya que no se encontró zona de alteración.

Las calizas cársticas de la Formación El Abra se encuentran a más de 75 m de profundidad, por lo que no representan problemas directos en la cimentación de la cortina.

La margen derecha está cortada en la Formación Méndez y presenta una terraza aluvial con un ancho de 1.5 km.

La terraza aluvial es un cauce antiguo del río con espesores hasta de 30 m quedando el contacto acarreo - roca unos 15 m por debajo del cauce actual. Esta terraza está constituida por lentes de limos, arcillas, arenas y gravas - arenas y representan el principal problema para la construcción de la cortina. Para el desplante del material impermeable y filtros se prevé que seguirán dos procesos: el primero es remover esta terraza hasta llegar a la roca sana, el segundo es efectuar la compactación del aluvión, desplantando la cortina sobre el mismo y detener el flujo del agua en él, mediante una pantalla flexible de inyección.

La Formación Méndez al igual que en la margen izquierda presenta un espesor de suelos y roca alterada de 8 m lo cual será necesario remover para el desplante del corazón impermeable de la cortina.

b) boquilla Coy

Las unidades presentes en el sitio elegido para la cimentación de esta boquilla están constituidas de acarreo, depósitos aluviales y lutitas y margas de la Formación Méndez. De igual forma las dos primeras unidades se tendrán que remover, dado que sus espesores son de apenas 4 m a encontrar la roca sana para el desplante, tanto en la margen derecha como en la izquierda; para el cauce los espesores de material de acarreo son similares y la remoción es necesaria.

En este sitio no aparecen superficialmente afloramientos de calizas cársicas ni hasta la profundidad explorada. El proceso cons-

tructivo recomendable, es similar a el anterior.

c) túnel de desvío

El túnel de desvío se ubicará a partir de la confluencia del Río Tapaón y Valles. De los estudios para las alternativas de las boquillas se encontraron lutitas de la Formación Méndez, éstas presentan inclinación de sus capas que varían de  $4^{\circ}$  a  $10^{\circ}$  con buzamiento al poniente.

El túnel quedará emplazado en estas rocas que después de los 15 m se presentan sanas con un menor fracturamiento y de buena resistencia, las exploraciones que se hicieron hasta los 60 m no alcanzaron el contacto con las calizas. Estas lutitas están cubiertas por espesores de material de relleno que en algunos lugares alcanzan los 30 m (margen derecha) y en otras varía de 6 a 15 m (margen izquierda), lo que da la pauta para elegir el trazo sobre la margen izquierda.

d) vertedor

El vertedor está propuesto en la margen derecha como un canal de 300 m de ancho. Será excavado en rocas de la Formación Méndez. Para desplantar la cimentación de esta obra deberá limpiarse hasta encontrar roca sana y deberán seguirse las mismas recomendaciones dadas para el desplante de la cortina. Se considera que las lutitas de la Formación Méndez tienen una capacidad de carga suficiente para la cimentación del vertedor.

e) obra de toma

Al igual que las obras anteriores, éstas se localizaron en rocas de la Formación Méndez que, superficialmente y hasta 10 - 15 m está alterada y fracturada y cubierta por espesores considerables de material de relleno de antiguos cauces y aluviones que sería necesario remover y someter la roca a un tratamiento de inyectado para mejorar sus condiciones geomecánicas requeridas.

### 5.5 Materiales de construcción

Considerando que el proyecto requiere de una cortina de tierra de materiales graduados, con vertedor de concreto, es necesario tomar en cuenta la cantidad, calidad y distancia a que se encuentran los bancos que se requieren para realizar el proyecto.

En el desarrollo de este inciso se dan las características de los bancos de arcilla para el corazón impermeable, de materiales de grava arena para los filtros y agregados de concreto, y rocas para las capas de enrocamiento. (Figura 5.11)

#### 5.5.1 Bancos de arcilla

El banco B, situado en la margen derecha del proyecto Pujal, está constituido por materiales producto de la alteración de las lutitas Méndez. Se considera de calidad aceptable, volumen suficiente y costo de explotación factible. Incluso el volumen cubicado es suficiente para la construcción de la boquilla Coy; aún así se exploraron y cubicaron los bancos de materiales arcillosos e impermeables en las margenes del Río Coy, aguas abajo de la boquilla (banco C y D).



Estas arcillas son producto de alteración de las lutitas Mëndez. Otros bancos explorados en materiales similares son el Tamalté I, Tamalté II y Pitacocha IV requeridos para las obras auxiliares del embalse Coy.

#### 5.5.2 Bancos de grava - arena

Los primeros bancos de grava - arena susceptibles de explotarse fueron los explorados en el año de 1959, con la ubicación del banco A, a la izquierda de la carretera que conduce de Cd Valles a Ebano. En este sitio se encontraron arenas y gravas aluviales con granulometría, tamaño y composición requerida para utilizarlos en las zonas de filtros, transición y como agregados.

El principal inconveniente era su volumen que resultaba insuficiente; para lo cual en 1964 se amplió la exploración hacia el este y se estudió otra area similar que dió resultados parecidos en cuanto a calidad y cantidad. Con estos dos bancos se completaron mas de ocho millones de m<sup>3</sup> de material necesario para la cortina Pujal. Otra exploración de este tipo de material se realizó en las cercanías al poblado El Cui--che, en la Loma El Mirador, en donde se muestrearon arenas y gravas también aluviales, que constituyen terrazas (banco G). De los resultados obtenidos se concluyó que el banco es susceptible de explotarse. Para la cortina Coy no se han explorado bancos de grava - arena, pero es posible localizarlos, ya que existen depósitos aluviales (terrazas) de grava arena en las cercanías del eje definitivo.

#### 5.5.3 Bancos de enrocamiento.

En 1980 se inició la primera exploración de materiales de enrocamiento con el banco E, denominado Santiaguillo, localizado a 25 km de Cd Valles, al lado izquierdo de la carretera que conduce a Tamazunchale. Se seleccionó este sitio mediante el Reconocimiento Geológico Preliminar y para determinar la calidad del material se realizaron sondeos hasta 26 m, con los cuales se definió el macizo constituido de calizas color gris claro, compactas, cársticas en la parte superior, con estratos de 0.30 m a 4 m de espesor, predominando los de 1 m y R Q D mayor de 85%. La estructura general de la zona explorada está representada por un anticlinal de suave pendiente en sus flancos en los cuales aparecen afloramientos de calizas arcillosas intercaladas con lutitas de la Formación San Felipe. Con estos resultados se concluye que el banco es susceptible de explotación, pues tiene la calidad y tamaño de bloques requeridos y un volumen mayor de 6 millones de m<sup>3</sup>.

En 1981 se exploró el banco F, denominado El Pujal y ubicado a 500 m a la izquierda en el km 18 de la carretera Valles - Tamazunchale. Con esta exploración se determinó que el macizo rocoso se compone de calizas gris claro, con estratificación gruesa, RQD mayor de 80%, esta roca pertenece a la Formación El Abra, por lo que tiene desarrollo cárstico. La estructura general que presenta es de un anticlinal buzante al sur.

Para la boquilla Coy se exploró el banco El Nacimiento III al oeste del Cerro del Nacimiento; litológicamente está constituido de calizas El Abra, gris claro, poco estratificadas, con desarrollo cárstico

superficial, cubiertas de calizas arcillosas de la Formación San Felipe. Forman parte de la estructura dómica que es el Cerro del Nacimiento. Este banco junto con el E proporcionan el volumen necesario para la cortina de la presa Pujal.

## 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1 La exploración para la construcción del Proyecto de Presas Pujal - Coy sobre el Río Tapaón y Coy (respectivamente) iniciada en el año de 1954, ha cubierto totalmente los aspectos técnicos requeridos, seleccionando dos sitios que reúnen las características más favorables de un total de 15 alternativas.

2 La carsticidad de la caliza (unidad permeable) no es significativa para el desplante de las cortinas de los ejes definitivos de ambos proyectos, ya que en las boquillas se localizan a más de 50 m de profundidad y están cubiertas a todo lo largo de calizas y lutitas poco permeables, con espesor constante de 25 m y sobre éstas, lutitas impermeables de 25 a 50 m de espesor.

3 Las causas principales que eliminan algunos ejes de la boquilla Pujal, son la presencia de acarreos aluviales (arenas, gravas y boleos) con fuerte espesor (32m), amplia distribución lateral (margen derecha) y alta permeabilidad; esto último también en lo que se refiere a las calizas con desarrollo cárstico que afloran superficialmente.

4 En el embalse Coy se encuentran dos dolinas (formas cársticas), que podrían constituir "ventanas" que se creyó al principio que funcionarían como conductos directos para fugas, aumento de niveles piezométricos e incremento del gasto en los manantiales externos. Sin embargo, estudios detallados han descartado estos problemas. El resto del área que ocupará el embalse Coy y la totalidad del embalse Pujal, se encuentran cubiertos por rocas impermeables.

5 La construcción del túnel de desvío, vertedor y obra de toma, se localiza en lutitas de la Formación Méndez que superficialmente están fracturadas y alteradas; permitiendo su fácil remoción para la limpieza y a profundidad, sanas e impermeables, para la excavación y desplante. En algunos tramos se requerirán además, tratamientos para mejorar la calidad de la roca "in situ"; en otros hay espesores de material de relleno aluvial que se podrán evitar modificando los trazos o removiendo los paquetes si fuera necesario.

6 Los estudios de bancos de materiales en general se encuentran en un estado en que se ha determinado material arcilloso, gravas arenas y de enrocamiento con calidad requerida, cantidad suficiente y distancia aceptable.

7 Aun cuando hay presencia de unidades calcáreas con carsticidad y alta permeabilidad en el área de interés geotécnico, se puede disminuir la permeabilidad aplicando tratamientos similares a los utilizados en los P H Angostura, P H Chicoasén, Presa Benito Juárez y Presa Cerro de Oro, entre otras.

8 Es importante definir el tipo de problema real que impide la construcción de las Presas Pujal \_ Coy, ya que las dificultades técnicas se pueden solucionar a un costo tal vez elevado; por lo tanto se recomienda una evaluación de la necesidad - costo para evaluar la construcción de dicho proyecto.

9 Existe actualmente una metodología para el estudio, selección y construcción de presas en terrenos cársticos, si a esto se complementa la información bibliográfica de la cartografía detallada con la distribución geográfica de calizas en México, desde el punto de vista geotécnico, y consultando memorias de las experiencias de cimentación en terrenos similares, sería posible reducir las exploraciones preliminares y por ende los costos de futuros proyectos.

## BIBLIOGRAFIA

- BRIONES Y GARCIA, A, "Geología de la Presa Benito Juárez", Tesis profesional de la UNAM, 1962.
- CARRILLO, J, "La Plataforma Valles - San Luis Potosí", -- Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1971, volumen XXIII, números 1 - 6.
- COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD "Manual de diseño de obras civiles", México, 1983, sección B.1.
- DE CSERNA, E Y BELLO B, "Estudios geológicos de los Estados de Durango y San Luis Potosí", Instituto de Geología, UNAM, 1963, boletín 71.
- DESJARDINS, G, "Geología de la Sierra Madre Oriental de Pa chuca a Ciudad Victoria", Misión Etnológica Francesa en México, 1965.
- GALVEZ, V, HERNANDEZ, A Y BLAZQUEZ, L, "Estudio hidrogeológico practicado en el Estado de San Luis Potosí", Publicación del -- Instituto de Geología, UNAM, a926.
- GARCIA HERRERA, C, "Estudios acerca de presas en calizas", Memoria de la 2a Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, Mazatlán, Sin., mayo 1972, páginas 150
- GARCIA HERRERA, C, "Geological and Geohydrological studies for Angostura Dam, Chiapas, Mexico", Geological Society of America Bulletin, 1973, volumen 84, páginas 1733-1742.
- GARCIA HERRERA, C, "Mecánica de rocas aplicada a la Ingeniería. Clasificación de las rocas en Ingeniería", México, 1978

- GONZALEZ, R, "Bosquejo geológico de la zona noroeste", Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1976, volumen XXVIII, números 1 y 2, páginas 2 - 49.
- GROVE, D Y BERTEM, W, "Porosity and dispersion constant calculations for a fractured carbonate aquifer using the two well tracer method". Water Resource Research, 1971, volumen 7, número 5, páginas 128 - 134.
- HAM, W E, "Classification of carbonate rocks", American Association of Petroleum Geologists, Memoria I, Tulsa, Oklahoma, 1962.
- HEIM, A, "The front ranges of Sierra Madre Oriental, Mexico, from Ciudad Victoria and Tamazunchale", Zurich, 1940.
- I S R M, "Suggested method for the quantitative description of discontinuities in rock masses", International Society for Rock Mechanics, 1978, volumen 15, páginas 319 - 360.
- JIMENEZ, C, "Inyección a presión", Comisión Federal de Electricidad, 1958, folleto técnico, páginas 1 - 58.
- KRININE, J, "Principles of engineering geology and geotechnics", Limusa, 1954.
- LEGRAND, H, "Development and distribution of permeability in carbonate aquifer", Water Resource Research, 1971, volumen 7, número 5, páginas 1284 - 1294.
- LOIBARTE, H, G Y TRISTAN, G M, "Cartografía y Geología", hoja San Luis Potosí, folleto técnico número 59, 1969.
- LOPEZ RAMOS, E, "Carta Geológica del Estado de San Luis Potosí", 1974, edición 2, escala 1: 500 000.

- LLOPIS LLADO, N, "Fundamentos de hidrología cárstica", Blume, España, 1970.
- MARSAL, R J Y RESENDIZ, D, "Presas de tierra y enrocamiento", Limusa, México, 1975.
- MOTTS, W, "The control of ground - water occurrence by lithofacies in the Guadalupian Reef complex near Carlsbad, New Mexico", Geological Society of America. Bulletin, Massachusetts, 1968, volumen 79, páginas 182 - 283.
- MOYA, C F, "Estudio sedimentario del Cretácico Medio en el área de margen oriental de la Plataforma Valles - San Luis Potosí", Boletín de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, 1974, volumen XXVI, páginas 337.
- PERLASCA, E R, "Control geológico en la construcción de la Presa Angostura, Chiapas", Memoria de la 2a Convención Nacional de la Sociedad Geológica Mexicana, Mazatlán, Sinaloa, mayo 1972.
- S A R H, "Memoria única de exploraciones y geología Pujal - Coy, S L P, 1954- 1981", Ingenieros civiles y geólogos asociados consultores, 1981, tomo I, II y III.
- SWENSON, "New theory of recharge to the artesian basin of the Dakotas", Geological Society of America Bulletin, Massachusetts, 1968, volumen 79, páginas 163 - 182.
- TARDY, M, LONGORIA, J, MARTINEZ, R, MITRE, L, PATIÑO, M, Y PADILLA, "Observaciones generales sobre la estructura de la Sierra Madre Oriental. La aloctonia del conjunto cadena Alta - Antiplano Central entre Torreón, Coahuila y San Luis Potosí, México", Revisión del Instituto de Geología, UNAM, 1975, numero 75, parte I, páginas

1 - 11.

- THORNBURY, W D, "Principios de Geomorfología", Kapeluz, Buenos Aires, 1958.
- THRAILKILL, J, "Chemical and hidrologic factors in the - excavation of limestone caves", Geological Society of America Bulletin, Massachussets, 1968, volumen 79, páginas 19 - 46.
- WAHLSTROM, E, "Dams, dam fundation and reservoir sites", Elsevier scientific publishing company, Amsterdam, Oxford, New York, 1974.
- WILSON, B W, HERNANDEZ J P Y MEAVE, T, "Un banco calizo del Cretácico en la parte oriental del Estado de Querétaro, México", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 1955, número 18.
- GAMINO, O J A, "Descripción, Clasificación y Propiedades Ingenieriles de las Rocas", Tesis profesional, U N A M, 1986.
- JAEGER, J C AND COOK, N G W, "Fundamentals of rock mechanics", Chapman and Hall, Londres, 1979.
- RAGAN, D M, "Geología Estructural", Omega, Barcelona, 1980.