

2ej 17



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**“GEOLOGIA Y GEOTECNIA DEL PROYECTO
HIDROELECTRICO PICOS DE GUADALAJARA, JALISCO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

Ingeniero Geólogo

P R E S E N T A:

Jaime de Jesús Mandujano Velásquez

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	PAG.
CAPITULO I GENERALIDADES	1
I.1.- INTRODUCCION.	1
I.2.- RESUMEN.	2
I.3.- DESCRIPCION DEL PROYECTO.	2
I.4.- OBJETIVOS.	3
I.5.- METODO DE TRABAJO.	4
I.6.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.	4
I.7.- CLIMA.	5
I.8.- VIENTOS.	5
I.9.- EXPLORACIONES SUBTERRANEAS.	6
I.10.- CONCLUSIONES.	7
I.11.- RECOMENDACIONES.	7
CAPITULO II FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA.	9
II.1.- FISIOGRAFIA.	9
II.2.- GEOMORFOLOGIA.	10
CAPITULO III GEOLOGIA GENERAL.	11
III.1.- SECUENCIA LITOLOGICA	11
III.1.1.- OLIGOCENO-MIOCENO.	11
III.1.2.- PLIOCENO.	15
III.1.3.- PLEISTOCENO.	20
III.1.4.- HOLOCENO-RECIENTE	22
CAPITULO IV GEOLOGIA ESTRUCTURAL	23
IV.1.- INTRODUCCION.	23
IV.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE- ESTUDIO.	25
CAPITULO V GEOLOGIA HISTORICA	29

CAPITULO VI DESCRIPCION DEL PROYECTO Y ASPECTOS GEOTEC-
NICOS DE LAS OBRAS. PAG. 30

VI.1.-	INTRODUCCION.	
VI.2.-	OBRA DE TOMA EN LA PRESA DE RANCHO NUEVO Y CONDUCCION DE AGUA POR GRAVEDAD EX. PRE SA HEDIONDA AL VASO AGUA PRIETA.	30
VI.2.1.-	DESCRIPCION	31
VI.2.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	31
VI.3.-	VASO DE ALMACENAMIENTO AGUA PRIETA	35
VI.3.1.-	DESCRIPCION	35
VI.3.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	36
VI.3.3.-	PERMEABILIDAD	37
VI.3.4.-	ESTABILIDAD DE LAS LADERAS	38
VI.4.-	BOQUILLA AGUA PRIETA.	39
VI.4.1.-	DESCRIPCION.	39
VI.4.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	39
VI.4.3.-	PERMEABILIDAD	41
VI.4.4.-	BANCOS DE MATERIALES	43
VI.5.-	OBRA DE TOMA Y VERTEDOR	44
VI.5.1.-	DESCRIPCION	44
VI.5.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	45
VI.6.-	TUNEL DE CONDUCCION A BAJA PRESION	45
VI.6.1.-	DESCRIPCION	45
VI.6.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	45
VI.7.-	POZO DE OSCILACION	46
VI.7.1.-	DESCRIPCION	46
VI.7.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	46
VI.8.-	TUBERIA DE ALTA PRESION	47
VI.8.1.-	DESCRIPCION	47
VI.8.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	47
VI.8.3.-	ESTABILIDAD DE LA LADERA	48
VI.9.-	CASA DE MAQUINAS	48
VI.9.1.-	DESCRIPCION	48
VI.9.2.-	SECUENCIA LITOLÓGICA	49
VI.10.-	ALGUNAS CONSIDERACIONES GEOTECNICAS - RELEVANTES	49

	PAG.
CAPITULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
VII.1.- CONCLUSIONES GENERALES	
VII.2.- CONCLUSIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS	52
VII.3.- RECOMENDACIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS	55
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS	59
PLANOS GEOLOGICOS Y GEOTECNICOS.	59

CAPITULO I GENERALIDADES

I.1.- INTRODUCCION

El acentuado crecimiento, tanto industrial como urbano, de la Ciudad de Guadalajara, ha dado como resultado una mayor demanda de energía entre las 19:00 y 23:00 horas. (horas pico) Esto ha provocado que se acelere el ritmo de generación de energía en las plantas hidroeléctricas instaladas actualmente sobre el Río Santiago.

La población actual del área metropolitana de la Ciudad de Guadalajara, es de 2 500 000 habitantes (censo de población y vivienda en junio de 1980), y el caudal de descarga de aguas negras de esta ciudad es de $8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y que concuerda con el consumo de agua potable de la misma. Se estima que para 1985 el caudal de aguas residuales será de $11 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y en el año de 2005 de $20.4 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Para contar con una fuente más de energía hidroeléctrica, y para que ayude a satisfacer la demanda, se ha estudiado la factibilidad de Agua Prieta del Proyecto Hidroeléctrico Picos de Guadalajara. En él, se estudia la posibilidad de conducir las aguas residuales de la ciudad hacia un vaso regulador, que se encuentra ubicado en las inmediaciones del poblado de San Miguel Tatepozco, Municipio de Zapopan, en el estado de Jalisco. A partir de ahí el agua se conducirá desde la margen izquierda del vaso hacia la barranca del Río Santiago y de esta forma aprovechar la caída de agua que representan unos 505 m. de desnivel en su margen izquierda.

I.2.- RESUMEN

Los estudios geológicos y de otras ciencias auxiliares - fueron aplicados para el aprovechamiento hidroeléctrico de - las aguas residuales de la Ciudad de Guadalajara y área metro - politana. El proyecto consiste en la generación de energía - eléctrica, utilizando un desnivel de más de 500 m. de altura, formado por la meseta sobre la cual se encuentra la Ciudad de Guadalajara y el cañón del Río Santiago. La planta hidroeléctrica quedará ubicada en la margen izquierda del río, al Norte de la ciudad.

Este trabajo se enfoca a la investigación geológica superficial auxiliado por excavaciones subterráneas y perforaciones de diamante con recuperación de núcleo. Con estos estudios se logró integrar los datos geotécnicos relevantes, y con esta información definir la factibilidad geológica del proyecto.

I.3.- DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto hidroeléctrico en estudio está formado por las siguientes obras civiles, las cuales se mencionan de acuerdo al orden de circulación del caudal residual.

La primera obra por la cual fluirá el agua es un canal al cual llegan las aguas residuales de la Ciudad de Guadalajara. Este canal tiene una longitud de 5300 m. para después pasar a ser túnel al cual se le denomina túnel de conducción por gravedad o simplemente túnel de gravedad, el cual posee +

una longitud de 8400 m. y conduce las aguas negras hasta los tanques de sedimentación. Estos se encuentran en la cola del vaso de almacenamiento, y función que desempeñarían es la de lograr la sedimentación de los sólidos que transportan en suspensión las aguas residuales. El vaso posee una capacidad de almacenamiento de 4.6 millones de metros cúbicos a la elevación del NAMO y con una longitud de 1450 m. desde la cola del vaso en línea recta hasta el eje donde quedará desplantada la cortina, en cuya margen izquierda tenemos localizado el vertedor de demasías así como la obra de toma. El túnel de conducción a baja presión incluye el tramo desde la obra de toma, hasta el pozo de oscilación, y tiene una longitud de 5920 m. Por último el túnel de baja presión se conecta con el túnel de alta presión, también llamado rampa, teniendo este último una longitud de 740 m. en su alternativa más viable (dado que existen tres), y es un desnivel de aproximadamente 505 m. para llegar el agua residual finalmente a la casa de máquinas, que se localiza en la margen izquierda del Río Santiago. (observar figura 1.-).

1.4.- OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo fueron elaborados en base a las necesidades que plantea el proyecto hidroeléctrico Picos de Guadalajara, y que a continuación se mencionan:

- a) Establecer la columna litológica tanto regional, como a detalle en las partes específicas del proyecto.
- b) Definir la permeabilidad en las unidades del vaso y la boquilla propuesta.
- c) Observar la calidad del maciso rocoso para definir su comportamiento y se proyecten adecuadamente obras que se realicen.

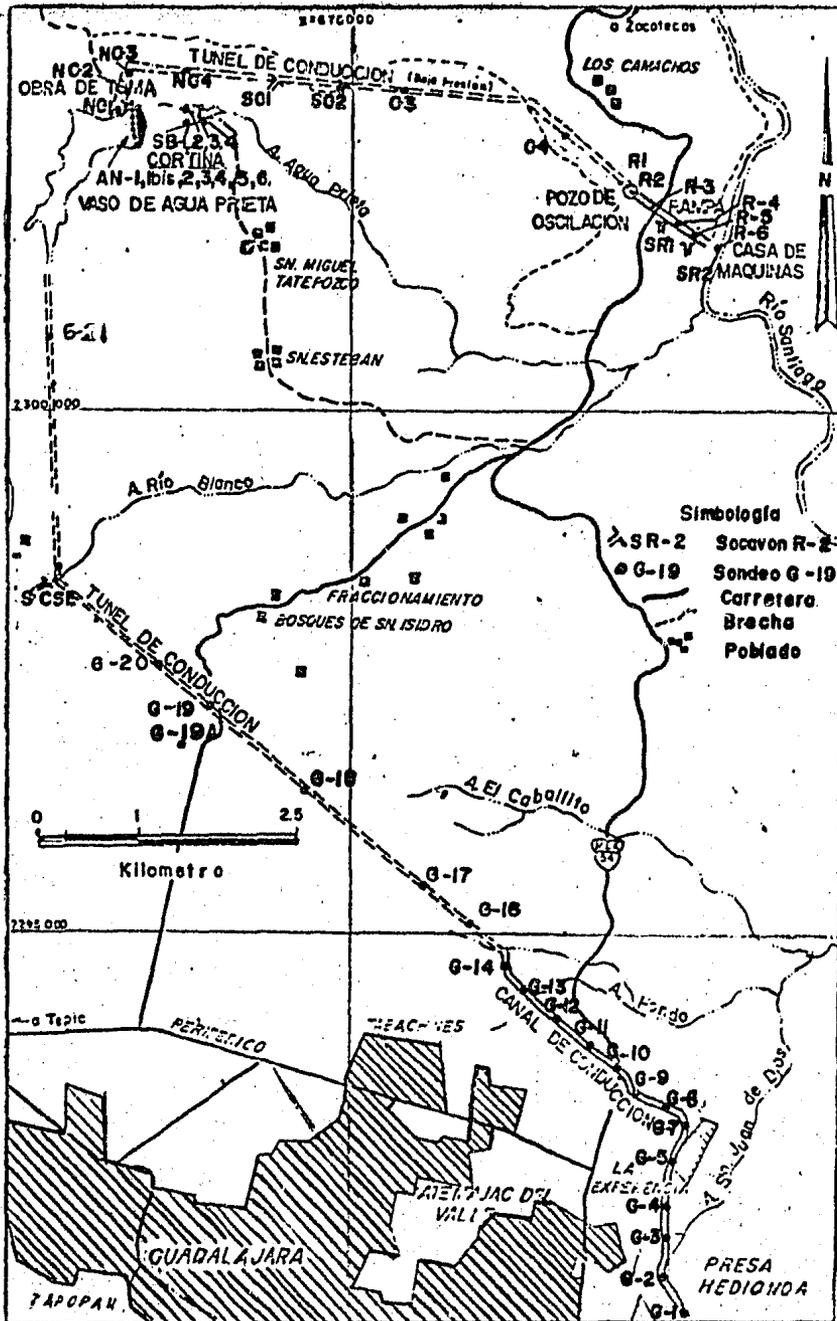


Figura 1.- Hoja de localización del P.H. Picos de Guadalajara, Jalisco y de sondeos y socavones realizados.

d) Localización de los bancos de material para la construcción de la obra.

I.5.- METODO DE TRABAJO

A fin de lograr los objetivos planteados, se definió una secuencia a seguir y, que consistió primeramente en recabar la información disponible de la zona de estudio. Posteriormente se realizó un reconocimiento de campo tanto regional como local y de esta forma definir la geología y poder llevar a cabo los estudios de semidetalle y detalle necesarios para esta obra.

Mediante este mismo estudio de geología superficial se pudo determinar tanto bancos de material, así como la permeabilidad del vaso como de la boquilla. En esta última se llevan asimismo pruebas de permeabilidad de tipo Lugeon utilizando los barrenos ya realizados. Por otro lado, se interpretó esta información para poder zonificar la permeabilidad del macizo rocoso y así definir el comportamiento en dicha parte del proyecto.

Para poder observar la calidad de la roca se estudió los núcleos recuperados de la barrenación, de los cuales se obtuvieron los índices siguientes:

Fracturamiento e intensidad, R.Q.D., y porcentaje de recuperación.

I.6.- LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.

El sitio de interés se ubica en las inmediaciones de la-

Ciudad de Guadalajara, Jalisco, entre los paralelos $103^{\circ}20'$ y $103^{\circ}24'$ de longitud Oeste y los meridianos $20^{\circ}50'$ y $20^{\circ}47'30''$ de latitud Norte(figura 2.-)

El acceso a la zona del vaso Agua Prieta se puede lograr por la carretera Guadalajara-Zacatecas, tomando la desviación en el Km. 15 hacia las poblaciones de San Esteban y San Miguel Tatepozco.

El área donde se localiza la tubería de alta presión o rampa y la casa de máquinas, se encuentra a un kilómetro hacia el Sur del balneario los Camachos. (ver figura 3).

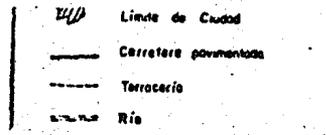
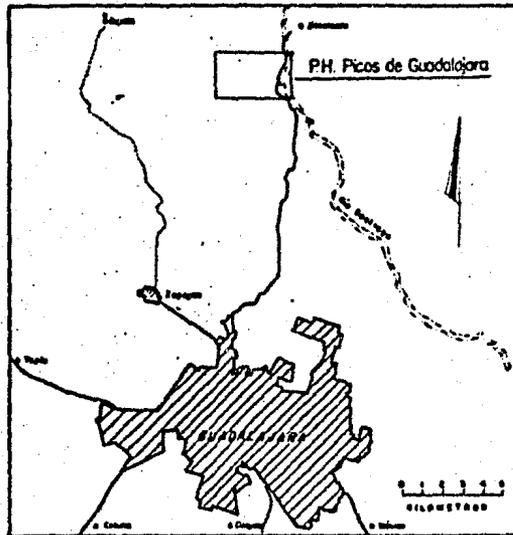
I.7.- CLIMA

El clima de la región en términos generales, es del tipo CWZ de acuerdo a la clasificación de Köppen, siendo este subcálido, con época seca larga, lluvias en verano y algunas precipitaciones menores en invierno; los valores de precipitación oscilan entre 750 mm. y 1050 mm. con un promedio anual de 900 mm.

Las temperaturas medias anuales se mantienen entre 25°C y 27°C siendo el mes de mayo el más cálido y enero el más frío.

I.8.- VIENTOS

En la región los vientos dominantes son del Oeste y, Noroeste. Estos se presentan durante todo el año, con una velocidad promedio entre los 3.70 m/seg. y 2.88 m/seg. La velocidad máxima promedio correspondiente a los vientos Sur, Suroeste con 5.5 m/seg. , pero siendo poco frecuentes.



UNAM		FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL			
LOCALIZACION GEOGRAFICA DEL PH. PICOS DE GUADALAJARA EDO. DE JALISCO			
ESCALA	PAIS	TITULO	
ESTADO DE GUANAJUATO	JALISCO	1983	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO			FIGURA 2.

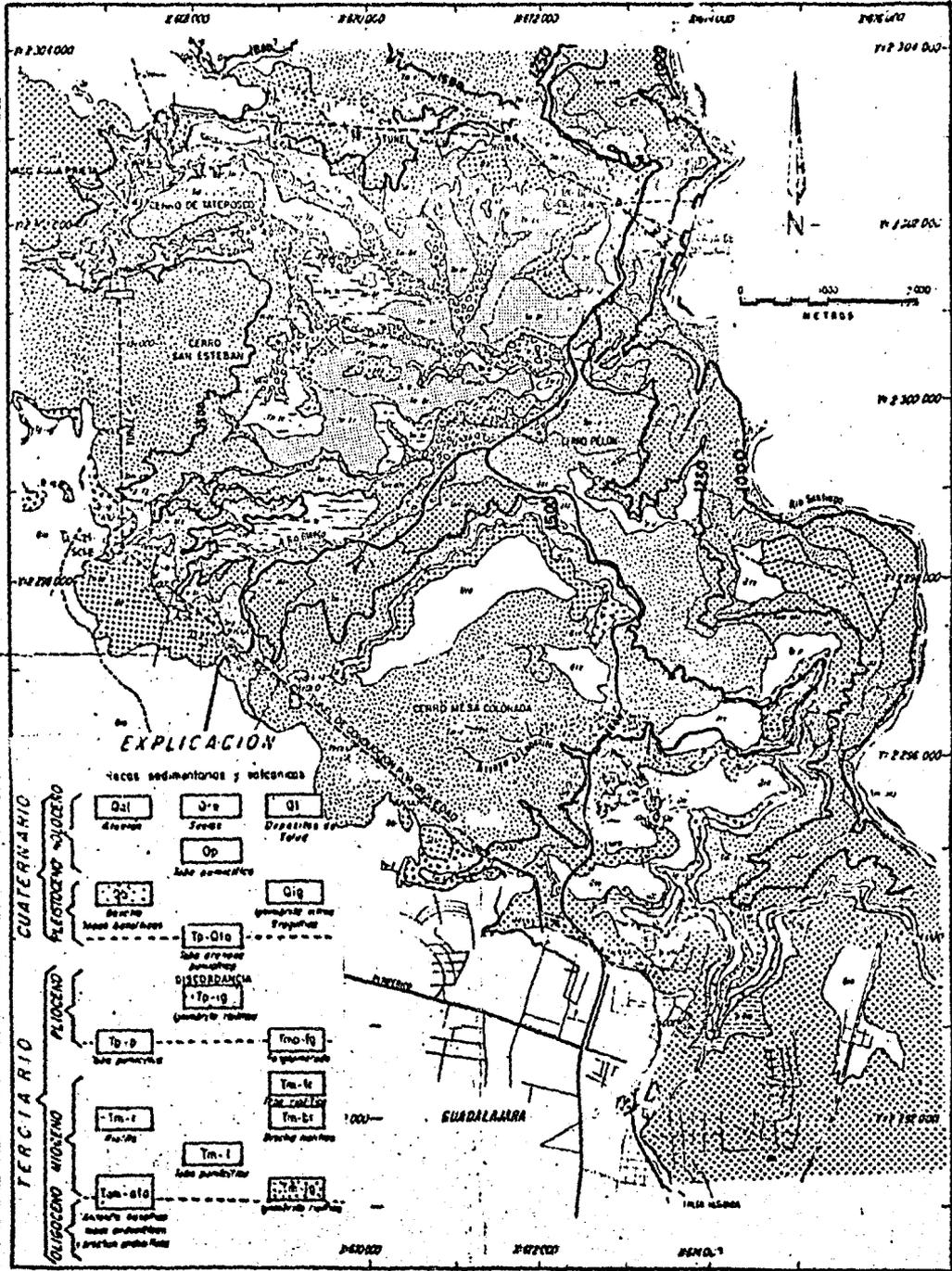


figura 3.- Mapa Geológico del P.H. Picos de Guadalupe.

1.9.- EXPLORACIONES SUBTERRANEAS

Perforaciones con diamante.- se realizaron 40 sondeos de diámetro "NQ" y recuperación para un total de 2865.90 m. perforados los cuales se distribuyen de la siguiente manera:

OBRA CIVIL	NUMERO DE SONDEOS	TOTAL DE METROS-PERFORADOS
Conducción ex-presa Hedionda al vaso Agua Prieta.	19	1,170.45
Boquilla Agua Prieta	7	333.00
Tunel de conducción de la obra de toma-pozo de oscilación.	6	574.75
Pozo de oscilación.	2	324.40
Tubería de alta presión.	3	330.85
Casa de máquinas.	1	132.45

Los intervalos utilizados para definir la calidad de roca son los siguientes:

RQD (%)	CALIDAD
0 - 25	Muy mala
25 - 50	Mala
50 - 75	Regular
75 - 90	Buena
90 -100	Excelente

Socavones.- se excavaron nueve socavones con sección portal de 2x2 m. y 2.4x2.4 m. utilizando explosivos. La longitud total excavada es de 763.78 m.

OBRA CIVIL	NUMERO DE SOCAVONES	METROS EXCAVADOS
Conducción Ex-Presa Hedionda al Vaso Agua Prieta.	1	36.60
Tunel de conducción de la obra de toma-pozo de oscilación.	2	210.90
Tubería de alta presión.	2	231.15
475 m. aguas abajo del - eje de la boquilla.	4	285.15

I.10.- CONCLUSIONES

El embalsamiento y manejo de aguas negras crudas tienen un efecto negativo en la salud del hombre, así como en los sistemas acuáticos, terrestres y el suelo.

Lo erodable del suelo y la topografía son los principales factores limitantes del uso actual y potencial del suelo.

La dirección y velocidad de los vientos en la zona no hace posible la llegada de microorganismos viables y olores a la Ciudad de Guadalajara(sin embargo sí afecta a poblados aledaños al vaso).

I.11.- RECOMENDACIONES

Es recomendable la implantación de pastos en la zona de afectación, para detener los procesos erosivos, de salinización y eutroficación.

Tratamiento de aguas negras para no tener problemas de salud en las poblaciones aledañas y evitar, hasta donde sea posible, un mayor deterioro en la calidad del agua del Río Santiago.

Realizar controles biológicos de plantas y animales (insectos, roedores) no deseables.

CAPITULO II
FISIOGRAFIA Y GEOMORFOLOGIA

II.1.- FISIOGRAFIA

El proyecto se encuentra localizado en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico (Lopez Ramos y otros 1972-1974) o Meseta Neo-volcánica (E. Raiz 1957). Esta posee una longitud de 950 Km. en dirección Este-Oeste, desde la región del volcán del Ceboruco en el estado de Nayarit al poniente, hasta el volcán de Citlaltapetl al oriente. Su anchura varía de 50 a 150 Km., está limitada aproximadamente entre los paralelos 19 a 21 de latitud Norte (ver figura 4.-).

Debe indicarse que la litología es muy heterogénea, encontrándose la misma secuencia que la Sierra Madre Occidental, y que consisten de rocas andesíticas, riolíticas y basaltos, en ese orden de antigüedad, aunque con muchos cambios.

El Eje Neovolcánico colinda al Norte con la Mesa Central, siendo el límite la línea en que la superficie de Meseta cede su lugar a las vertientes de las montañas. Sus contactos occidental, meridional y oriental, son la franja en que los materiales volcánicos encuentran a los sedimentos de las provincias adyacentes, la Sierra Madre del Sur, Cuencas Morelos-Gerrero y Cuenca de Tlaxiaco. Esta línea rodea al volcán de Colima y avanza hacia el Este en un curso sinuoso cortando las cabeceras de los tributarios septentrionales del Río Balsas y la parte Oriental del Pico de Orizaba.

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA

UNAM Facultad de Ingeniería

TESIS PROFESIONAL

PROVINCIAS FISIOGRAFICAS
DE LA
REPUBLICA MEXICANA

ESCALA

FORMO: *Jaime Mandujano*

FECHA: *Junio 1983*

ACOTADO: Mtrs.

UBICACION

NW de Guadalajara, Area de Sn Esteban,
Mpio. de Zapopan.

FIGURA No

4



- 1- Sierras plegadas
- 2- MESETA DE CHIAPAS
- 3- Cuenca Central
- 4- Sierra de Chiapas
- 5- Planicie Costera

II.2.- GEMORFOLOGIA

El Eje Neovolcánico es una cadena montañosa compuesta totalmente de lavas y materiales piroclásticos, así como también de rocas vulcano-sedimentarias de origen volcánico depositadas en un ambiente lacustre, del terciario y cuaternario.

Específicamente en el área del proyecto tenemos los siguientes rasgos más importantes que forman el relieve:

- 1) Escarpes formados por un patrón de fracturamiento semiver-tical que se presenta en las riolitas, estas se localizan en la casa de máquinas y rampa, así como formas dómicas de las mismas, específicamente en el Cerro Pelón que está situado al Sur del pozo de oscilación.
- 2) Se observan cráteres sumidos, específicamente uno en el área correspondiente al tunel de conducción a baja presión.
- 3) Se encuentran mesetas en las partes altas, formadas por los derrames de basalto pliocuaternario, ejemplos de esto se observan claramente en las inmediaciones del Volcán de Tequila en Guadalajara y el Ceboruco en el estado de Nayarit.

En general se encuentran todo tipo de estructuras características de rocas ígneas extrusivas y piroclásticas, las cuales provienen de los procesos endógenos y exógenos los cuales dan las características actuales del relieve.

CAPITULO III
GEOLOGIA GENERAL

III.1.- SECUENCIA LITOLOGICA

III.1.1.- OLIGOCENO-MIOCENO.

Andesita Basáltica y Tobas Andesíticas (Tom-ata Unidad inferior)

Descripción litológica.- Los escasos afloramientos dentro del área denotan una roca fracturada, de color gris oscuro debido al interperismo y negro cuando está fresca. Cuando aflora se observa que está afectada por el metamorfismo optálico de la roca suprayacente. La textura megascópica es generalmente afanítica y puede presentarse vesicular y amigdaloidal hacia su cima. El sondeo R-6 atravesó esta roca y se detectó como sana y de buena calidad. En su cima puede presentar brecha basáltica de color pardo rojizo, semicompacta.

Distribución y espesor.- Los afloramientos son muy escasos limitándose exclusivamente a la parte más baja de la barranca del Río Santiago. El espesor no ha sido cuantificado, pero superficialmente se ha medido 250 m. como máximo. Esta unidad constituye la base de la columna litológica del área de estudio.

Relación estratigráfica.- Esta unidad está interdigitada por la ignimbrita riolítica (Considerada también dentro de la unidad "Tom-ata") por lo que, se observa en algunos lugares tanto subyaciendo, como sobreyaciendo (ver figura 5.-). En ocasiones no existe la ignimbrita riolítica y por lo tanto, se observa en contacto directo a la unidad inferior con la superior.

Edad y correlación.- La edad de estas rocas son de fines del oligoceno y principios del mioceno. Esta edad se le ha supues

COLUMNA LITOLÓGICA DEL P.H. PICOS DE GUADALAJARA

FIGURA 5

Era	Período	Epoca	Espesor aprox	COLUMNA ESTRATIGRAFICA			LITOLOGIA			
				Qol	Qre	Qt	ALUVION	SUELO RESIDUAL	TALUD	
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTO-CENO	HOLOCENO							
					Qp		ARENAS PUMICITICAS:- Disgregables			
					Qig		IGNIMBRITA VITREA TRAQUITICA:- De color gris, compacta e semicompa.			
	TERCIARIO	PLIO CENO	MIOCENO	OLIGOCENO	30	v v v v v v v v v v Tp-Ob v v v v v v v v v v		BASALTOS:- De color gris oscuro a negro, compactos, densos, morfológicamente se les distingue por formar mesetas.		
					15	Qta		TOBA ARENOSA PUMICITICA:- Color gris blanquecino, arenarrollosa y disgregable.		
					20	Tp-p		TOBA PUMICITICA-Gris blanquecino, semicompa o deleznable.		
					300	Tm-r		BRECHA LACUSTRE - Burdenamiento estratificado, formada por fragmentos de riolita porfirítica y basaltos incluídos en una matriz arena-arcillosa disgregable. Su color es pardo amarillento.		
					300	Tm-r		RIOLITA: Color pardo amarillento ó rosáceo, puede ser fluidal y porfirítica, en general son duros y compactos, pueden estar silicificados. Presentan una amplia distribución.		
					300	Tm-r		BRECHA RIOLITICA- Semicompacta, formada por fragmentos de riolita porfirítica, color pardo amarillento. TOBA Y BRECHA RIOLITICAS- La toba está semicompa y la brecha está silicificada, compuesta por fragmentos de riolita fluidal.		
		15	Tm-l		TOBA PUMICITICA Y DEPOSITOS LACUSTRES: Formada por depósitos lacustres que tuvieron aporte de T. pumicíticas está encima de la toba y abajo de la riolita, entre la unidad de basalto andesítico.					
			x x x x x x x x x x x x x x x x x x Tom-ata . x x x x x x x x x x x x x Tom-ata x . x x x x x x x x x x		ANDESITA BASALTICA Y TOBA ANDESITICA:-(Unidades inferior y superior) -Roca masiva, fracturada, color gris rojizo ó pardo violáceo, con intercalación de tobas de igual composición, dura, compacta, poco permeable, su espesor de 220 metros. Los basos están semicompa.					
			x x x x x x x x		IGNIMBRITA RIOLITICA F. de rojiza, reno arcilloso, semicompa, disgregable.					

to por correlación con las andesitas de P.H. Aguamilpa que se localiza en el Estado de Nayarit y que se ha datado en 22.4--3.5 m.a. por el método de K-Ar en el año de 1979.

Ignimbrita Riolítica (Tom-ata)

Descripción litológica.- La ignimbrita riolítica se observa pseudoestratificada; es de color pardo rosáceo en fractura fresca y gris oscuro cuando está interperizada. La textura es piroclástica, con abundantes fragmentos de roca y minerales alargados de rocas básicas, vidrio, cuarzo, plagioclasas, y feldespatos potásicos, dándoles estos últimos la coloración rosácea.

Distribución y espesor.- Aflora en la parte media inferior de la barranca del Río Santiago. En el área de casa de máquinas presenta un espesor de 90 m. (sondeo R-6).

Relación estratigráfica.- La ignimbrita riolítica forma parte de la unidad Tom-ata; subyace a la unidad superior de andesitas basálticas y cubre a la unidad inferior de estas mismas andesitas basálticas.

Edad y correlación.- Por su relación estratigráfica se le asigna una edad de Oligoceno-Mioceno.

Andesitas Basálticas, Tobas Andesíticas (Tom-ata Unidad Superior)

Descripción litológica.- La andesita basáltica superior es una roca masiva, algunas veces pseudoestratificada, cuyo color por interperismo es gris oscuro, negro o café claro. En-

fractura fresca puede presentar estas mismas coloraciones, pero con tonalidades más claras. La textura megascópica por lo general es porfirítica y sus fenocristales son plagioclasas incluidos en una matriz afanítica; otras texturas són: afanítica, vesicular (que comunmente se localiza en la cima de la formación) y amigdaloidal. Esta última ocurre cerca del contacto con las rocas ácidas sobreyacentes. El relleno de las vesículas generalmente es de sílice. La andesita basáltica puede encontrarse sana, pero la oxidación es la alteración más común.

Las tobas basálticas están constituidas por fragmentos piroclásticos dentro de una matriz areno-arcillosa compacta. Se localizan intercaladas dentro de los derrames basálticos.

Distribución y espesor.- Este paquete de rocas básicas está ampliamente distribuido en la región. Aflora en la margen izquierda del vaso y parcialmente en la margen derecha. También se pudo observar en la vecindad de San Miguel Tatepozco, San Esteban y a lo largo de la margen izquierda del Río Santiago (área de la rampa) así como, en las cercanías del fraccionamiento de San Isidro, sobre el arroyo del Río Blanco. El espesor promedio es de 300 m.

Relación estratigráfica.- Las tobas arenosas riolíticas (Tm-l) riolitas porfiríticas o fluidales (Tm-r), y basaltos (Tp-Qb). Sobreyacen discordantemente a las andesitas basálticas y tobas andesíticas (Tom-ata Unidad Superior).

Esta unidad sobreyace a la ignimbrita riolítica (Tom-ata) y en ocasiones cubre directamente a la andesita basáltica inferior (Tom-ata).

Edad y correlación.- Por su posición estratigráfica se le asigna una edad correspondiente al mioceno inferior.

Toba Pumicítica, Depósitos Lacustres y Toba Arenosa Riolítica (Tm-I)

Descripción litológica.- Esta secuencia consiste en una alternancia de tobas pumicíticas de color gris blanquesino. Lateralmente pueden cambiar en forma gradual a depósitos lacustres.

La toba pumicítica está compuesta por fragmentos de pomes, que presentan una variación de tamaños, desde guijarros a arenas finas. Es bofa y semicompacta, fácil de disgregar.

Los depósitos lacustres están formados por fragmentos de toba pumicítica y de basalto andesítico del tamaño de bloques a guijarros, incluidos en una matriz arcillo-arenosa.

Debido a la gran abundancia de matriz (alrededor de 60 %) la roca es disgregable. La coloración es pardo rojiza.

La toba arenosa riolítica también es de color pardo rojizo; areno-arcillosa y está compuesta por abundantes fragmentos de vidrio y algunas veces presenta bloques de riolita porfirítica hacia la cima. Generalmente está argilizada.

Distribución.- Esta unidad aflora en el área de la rampa, a lo largo de la carretera a Zacatecas.

Relación estratigráfica.- Esta unidad (Tm-I) que incluye: tobas pumicíticas, depósitos lacustres y tobas arenosas riolí-

ticas, sobreyacen a la unidad superior de las andesitas basálticas (Tom-ata) y subyacen a la riolita porfirítica (Tm-r), siendo ambos contactos discordantes.

Edad y correlación.- Como consecuencia de ser la toba pumicitica lacustre una secuencia que se ubica entre la andesita basáltica y la riolita, resulta ser una roca facil de visualizar por sus claros rasgos físicos. Por lo tanto, es una unidad índice, que tentativamente se le ha asignado del Mioceno-Medio.

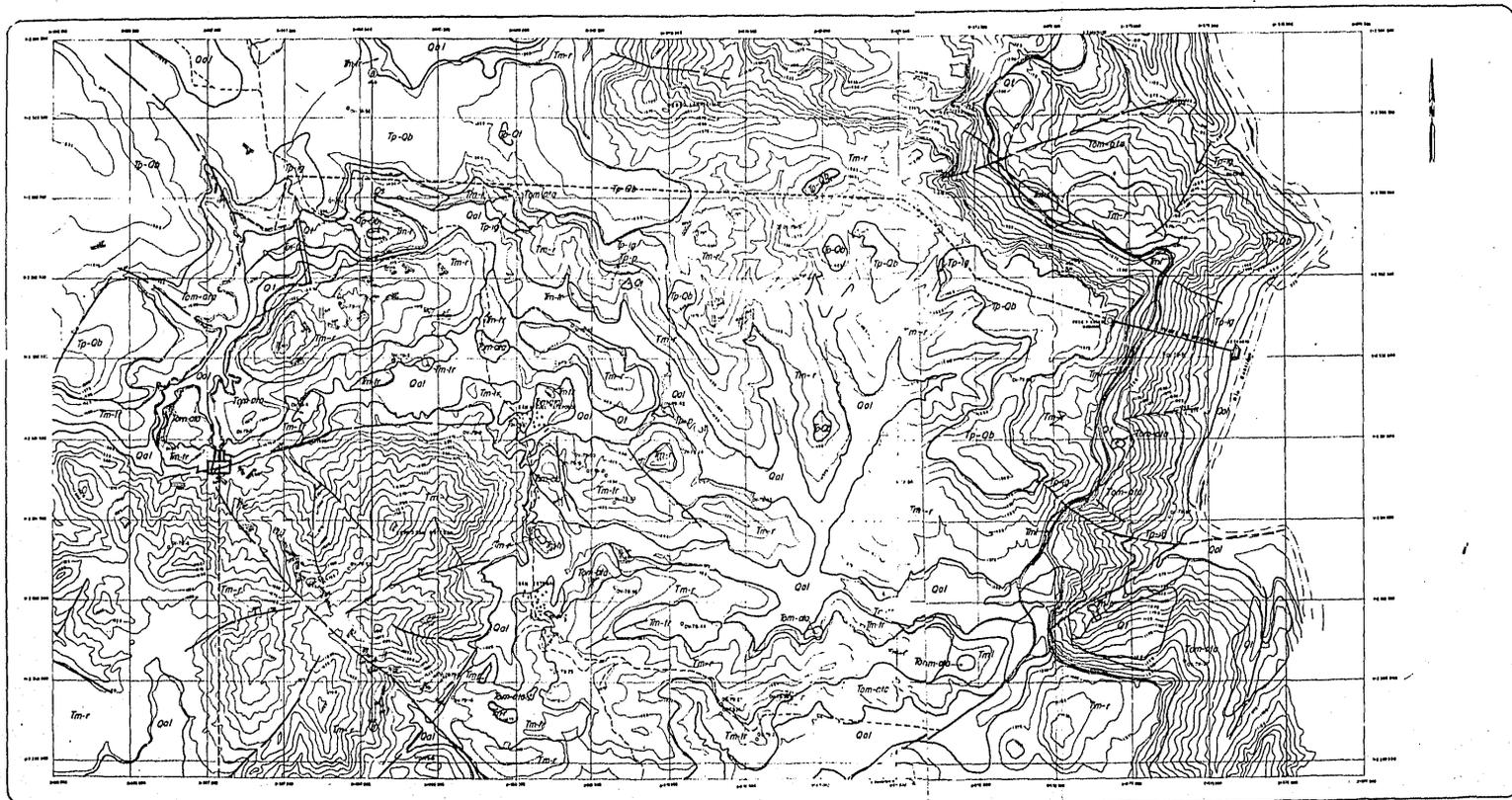
Origen.- Los depósitos lacustres nos indica la existencia de cuencas someras sobre las andesitas, que ya existían cuando empezaron a emitirse las primeras manifestaciones ácidas de piroclastos y que después desaparecieron cuando el aporte de estas últimas las cubrió.

III.1.2.- PLIOCENO

Riolita (Tm-r)

Descripción litológica.- Esta roca es compacta, y sana. La riolita porfirítica es un derrame que constituye una roca masiva, fracturada, de color café amarillento o pardo resaceo; la textura porfirítica consiste en fenocristales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y una matriz de grano fino. Como dato interesante, en el Cerro de San Esteban, los cristales se alinean verticalmente. Esta característica sugiere al lugar como una fuente de emisión.

Existen otros dos posibles centros de emisión: la Mesa colorada y el Cerro Palón (ver plane No.- I).



LEYENDA

SIMBOLOS TOPOGRAFICOS

- Contorno normal
- Contorno invertido
- Contorno de sombra
- Contorno de nieve
- Contorno de hielo
- Contorno de agua
- Contorno de arena
- Contorno de roca
- Contorno de hielo
- Contorno de nieve
- Contorno de agua
- Contorno de arena
- Contorno de roca

SIMBOLOS GEOLOGICOS

- Granito
- Diabasa
- Basalto
- Andesita
- Trasido
- Esquistos
- Granulitas
- Metapelitas
- Metavolcanicas
- Metasedimentarias
- Metagranulitas
- Metabasaltos
- Metandesitas
- Metatrasidos
- Metaschists
- Metagranulitas
- Metabasaltos
- Metandesitas
- Metatrasidos
- Metaschists
- Metagranulitas
- Metabasaltos
- Metandesitas
- Metatrasidos
- Metaschists

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA

TIPO PROYECTO

GEOLOGIA SUPERFICIAL

VASO AGUA PRIETA - RAMPA

ESCALA: 1:50,000

FECHA: JUNIO 1983

ELABORADO POR: Jaime de la Cruz

REVISADO POR: Manuel

PROYECTO DE: VASO AGUA PRIETA, RAMPA DE SAN CRISTOBAL

INSTITUTO DE GEOLOGIA, UNAM

La riolita fluidal es también un derrame que constituye una roca masiva, compacta, de color pardo rosáceo o rosa, y presenta una textura fluidal. Se le observaron algunos horizontes vítreos (obsidiana).

Distribución.- Los derrames de riolita porfirítica y fluidal están ampliamente distribuidos en la región, aflorando los primeros en el área comprendida entre el Vaso de Agua Prieta y la rampa, donde forman la prominencia del Cerro de San Esteban. En cambio los derrames de riolita fluidal afloran en gran parte en el área de la conducción de agua por gravedad que comunicará a la Presa Medionda con el Vaso Agua Prieta.

Relación estratigráfica.- Las rocas que cubren a los derrames de riolita porfirítica y fluidal (Tm-r), son los siguientes: brechas riolíticas (Tm-Tr), brechas lacustres (Tm-bl), tobas pumicíticas (Tp-p), ignimbritas riolíticas (Tp-ig) y basaltos (Tp-Qb), siendo estos últimos los que produjeron un ligero pirometamorfismo al emplazarse.

Estos derrames de riolita (Tm-r) sobreyacen a la unidad (Tm-I) formada por: tobas pumicíticas, depósitos lacustres y tobas arenosas riolíticas.

Edad y correlación.- A los derrames riolíticos se les asigna una edad correspondiente de finales del Mioceno al Plioceno.- Esta suposición se establece por la correlación con la riolita fluidal del Cerro de Mesa Colorada, cerca del túnel de conducción por gravedad y que ha sido datada en 7 m.a. por el método de K-Ar, pero por relación de campo, se considera que fué emitida posteriormente, a las riolitas porfiríticas.

Brecha Riolítica y Toba Riolítica (Tm-Tr).

Descripción litológica.- La brecha riolítica es una roca masiva, poco fracturada, de color gris rosáceo cuando fresca y gris oscuro por el interperismo. Está formada por fragmentos angulosos y subangulosos de riolita, tanto porfirica como fluidal, incluidas en una matriz cristalina de composición riolítica.

La toba riolítica es una roca pseudoestratificada, compacta a deleznable, de color rosa en fractura fresca. Tiene una textura piroclástica, con matriz areno-arcillosa de grano medio y grueso y ocasionalmente brechoide. Algunos fragmentos de roca son de obsidiana, riolita y andesita, y otros de minerales como el cuarzo y plagioclasas. En las inmediaciones de San Miguel Tatepozco presenta una gran concentración de vidrio perlítico.

Distribución.- La brecha riolítica aflora en la Mesa Colorada, al sur y al este de los poblados de San Miguel Tatepozco y San Esteban. Mientras que la toba riolítica se aprecia en las inmediaciones del Cerro de San Esteban y está distribuida en los lomeríos y montículos cercanos a la andesita basáltica cubriéndola ocasionalmente.

Relación estratigráfica.- Esta unidad designada como (Tm-Tr) y formada por brechas y tobas riolíticas cubren discordantemente a las tobas pumiciticas (Tm-I), depósitos lacustres y tobas arenosas riolíticas; todas estas pertenecientes a la unidad (Tm-I) del Mioceno Medio. En algunas ocasiones esta unidad (Tm-Tr) cubre directamente a las andesitas basálticas (Tom-ata).

Esta unidad (Tm-Tr) está cubierta por brechas lacustres (Tm-bl), tobas pumicíticas (Tp-p) y en otras ocasiones directamente por ignimbritas riolíticas (Tp-ig).

Edad y correlación.- Debido a las dataciones en la riolita e-ignimbrita riolítica, y la posición que guarda con respecto a estas en la secuencia litológica, se le ubica en el Mioceno Tardío y Plioceno inferior.

Brecha Lacustre (Tm-bl).

Descripción litológica.- La brecha lacustre es una roca estratificada de color pardo amarillento, compuesta por grandes fragmentos angulosos y subangulosos de riolita porfirítica y basalto andesítico, predominando los fragmentos angulosos de riolita, que presentan una burda graduación y que están incluidos en una matriz areno-arcillosa formada por cuarzo y material fino. La roca se presenta medianamente consolidada y hacia su cima la matriz es disgregable.

Distribución.- Sus afloramientos son muy escasos, y se puede observar en la Mesa Colorada y al Sur de los poblados de San Miguel Tatepozco.

Relación estratigráfica.- La brecha lacustre (Tm-bl) subyace a la ignimbrita riolítica (Tp-ig), la toba pumicítica (Tp-p) y al basalto (Tp-Qb) y cubre a la riolita (Tm-r) así como a la brecha riolítica (Tm-Tr).

Edad y correlación.- Se le ha ubicado en el Plioceno Medio por correlación estratigráfica, debido a que se encuentra entre la riolita de finales del Plioceno al Mioceno y la ignimbrita riolítica del Plioceno tardío.

aflora en la Mesa Colorada, en el arroyo Hondo y en gran parte de la cima de la margen izquierda de la barranca del Río - Santiago.

Relación estratigráfica.- La ignimbrita riolítica (Tp-ig) se le aprecia pseudoestratificada, subyaciendo a la toba arenosa pumicítica del cuaternario (Qta), así como encima de la toba pumicítica del pleistoceno medio (Tp-p).

Edad y correlación.- Esta unidad fué datada por el método de K-Ar, en el año de 1979 en el Cerro de Mesa Colorada en 4.05-4.75 m.a. y que corresponde al Plioceno Tardío.

III.3.- PLEISTOCENO .

Toba Arenosa Pumicítica (Qta).

Descripción litológica.- La toba arenosa pumicítica es una roca pseudoestratificada de color pardo claro en fractura fresca. Está constituido por fragmentos de pumicita en su gran mayoría y de riolita porfirítica, los cuales se encuentran incluidos en una matriz areno-arcillosa semicompacta a disgregable.

Distribución y espesor.- Esta unidad se localiza a lo largo de la cima de la margen izquierda de la barranca del Río Santiago, sobre los arroyos Hondo y el Caballito; presenta un espesor de 15 m.

Relación estratigráfica.- La toba arenosa pumicítica (Qta) se aprecia subyaciendo el basalto (Tp-Qb) y encima de la ignimbrita riolítica (Tp-ig) en contacto discordante.

Edad y correlación.- Se le ubica en el Plioceno Tardío por estar subyaciendo al basalto (Tp-Qb) datado en .91 m.a.

Basalto (Tp-Qb).

Descripción litológica.- El basalto es de color gris oscuro a negro, compacto y denso; regionalmente forma mesetas. Las texturas que presenta son afaníticas, vesicular, amigdaloidal o porfirítica con matriz afanítica. En algunas ocasiones el basalto cambia su textura a brechoíde, llegando a ser una brecha basáltica.

Distribución.- Las rocas basálticas afloran en la meseta que se localiza al Norte de la margen izquierda del vaso; también se observa en la parte superior de la rampa, en la Mesa Colorada, en el arroyo Hondo y en la Presa Hedionda.

Relación estratigráfica.- El basalto cubre discordantemente a la toba arenosa pumicítica (Qta), a los derrames de riolita (Tm-r), e indistintamente a cualquier roca de la columna antes descrita.

Edad y correlación.- El basalto se considera perteneciente al Plio-Pleistoceno por cubrir a todas las rocas del área estudiada y por correlación con los basaltos del Volcán Tequila, datados en .91 m.a.

Ignimbrita Vítreo Traquítica (Q-ig).

Descripción litológica.- Es una roca de color gris claro, compacta o semicompacta; con cristales alargados de obsidiana.

Distribución y espesor.- Es una unidad litológica de distribución muy restringida, se observan pequeños afloramientos

en la parte correspondiente a la margen izquierda del vaso.

Relación estratigráfica.- cubre al basalto (Tp-Qb) y subyace a las arenas pumicíticas (Qp).

Edad y correlación.- debido a que se localiza encima del basalto del cuaternario se le asigna una edad del Pleistoceno.

III.1.4.- HOLOCENO-RECIENTE.

Aluvión.- Se localiza en el cauce del Arroyo Agua Prieta, así como en el Río Santiago, sus partículas son subredondeadas de composición basáltica, andesítica y riolítica.

Suelos.- Se encuentran restringidos a los que provienen de la alteración del basalto y se presenta en las mesetas formadas por éstos, que topográficamente son las partes más altas, y los que provienen de la alteración de las tobas y arenas pumíticas, que se observan en las partes topográficas más bajas.

Los suelos que provienen de los basaltos son generalmente arcillas muy puras, por lo que es conveniente tomarlos en consideración para explotación de bancos de arcillas.

Depósitos de talud.- Estos depósitos de talud yacen en las partes bajas. Se tiene en la margen izquierda del vaso un afloramiento de este tipo, 200 m. aguas arriba de la boquilla.

Arena pumítica (Qp).- La arena pumítica se presenta suelta y es de color gris blanquecino, tiene una distribución muy amplia, y en algunas ocasiones se observa una ligera pseudo-estratificación.

CAPITULO IV
GEOLOGIA ESTRUCTURAL

IV.1.- INTRODUCCION.

El vulcanismo en México es de suma importancia por la superficie que cubren, el rango de tiempo que abarcan y las características litológicas. Por esta razón se ha dividido en varias provincias magmáticas (ver figura 5-a.-), ya que tienen una evolución distinta con el tiempo. En este trabajo nos enfocaremos específicamente a la porción poniente de la Provincia Magmática del Eje Neovolcánico y que colinda con el Sur de la Provincia magmática de la Sierra Madre Occidental.

En el Eje Neovolcánico se reconocen tres fases principales de actividad efusiva:

- Una cretácica metamorfozada (La cual no se encuentra en la zona de estudio).
- Otra del oligo-mioceno, en la parte occidental del Eje Neovolcánico y en la zona del proyecto representada por: Andesitas basálticas (Tom-ata), toba pumicítica, depósitos lacustres y tobas arenosas riolíticas (Tm-1).
- Y una última, del Plio-cuaternario (de hecho, la más desarrollada y con una dirección Este-Oeste a diferencia de las fases anteriores con una orientación NW-SE).

Del Cretácico medio al Eoceno, que corresponde a una fase de quietud, siguió una época de intensa actividad ígnea de tipo andesítica a lo largo de la margen del Pacífico durante el Oligoceno. De estudios realizados se observa que el Eje Neovolcánico en el Oligoceno-Mioceno tenía una orientación más o menos paralela al actual Golfo de California. Durante este mismo tiempo, comenzó una actividad piroclástica muy extensa que continuó hasta el Mioceno Medio.

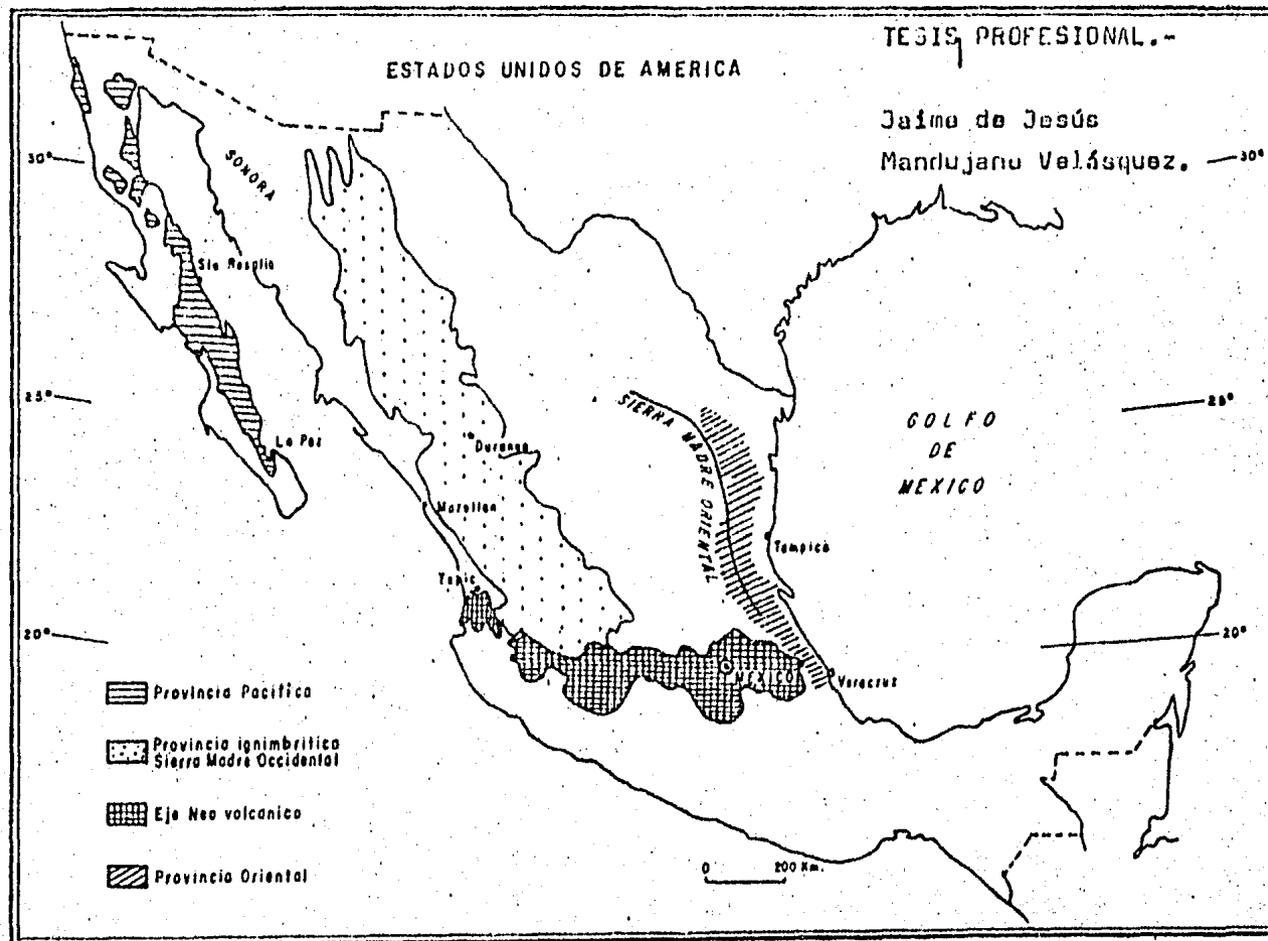


Figura 5-a.- Las provincias Magmáticas en México.

Por sus características químicas, este vulcanismo calco-alkalino, se asocia a una margen continental activa (A. Demant 1975).

Desde el punto de vista geodinámico, este vulcanismo se puede ligar a una fase compresiva a lo largo de la costa del Pacífico, como resultado de la subducción de la Placa Farallón bajo la Placa Americana (T. Atwater, 1970 A. Demant, 1975).

A partir del Mioceno Superior se originó un cambio radical del vulcanismo en México. La actividad calco-alkalina termina en toda la parte noroccidental del país y es remplazado por un magmatismo de tipo alkalino, en general basáltico. Este vulcanismo se relaciona con un régimen tectónico distensivo que se puede asociar con los movimientos neotectónicos del Golfo de California y al sistema de la Falla de San Andres. Se trató de un movimiento transcurrente que separó la Península de Baja California del Continente, dando lugar asimismo, que se creara una zona de acreción ("Rift") así como al Mar de Cortés.

La actividad ígnea que formó al Eje Neovolcánico se manifiesta con una orientación Este-Oeste, totalmente distinta a la anterior (en vez de NW-SE), y con características químicas más bien calco-alkalinas, aspecto que se explica por un ambiente geodinámico diferente, en la parte meridional de México. En efecto, en la trinchera de Acapulco, se enfrentan la Placa de Cocos y la Placa Americana, originando la subducción de la primera bajo la segunda.

Dentro de las características del vulcanismo Plio-cuaternario del Eje Neovolcánico se tiene:

- Una secuencia de andesitas-riolitas-basaltos de tipo calco-alkalino. Gunn y Mooser, 1970, interpretan este vulcanismo como resultado de la fusión de material del manto superior en una zona de subducción, mientras que Negendank, 1972, piensa que la generación de estos magmas es por fusión de la corteza.
- Gran abundancia de material ácido en la parte septentrional, bajo la forma de emisiones ignimbríticas o domos riolíticos.
- Lavas de composición que varía desde basáltica hasta andesítico-basáltica.

En la parte occidental del Eje Neovolcánico existe un sistema de fracturas a nivel regional, con orientación NW-SE. Por su orientación, estas parecen poder relacionarse con los fenómenos distensivos que desde el Mioceno Superior se presentan al nivel del Golfo de California.

Desde el Lago de Chapala hasta Querétaro aparece al nivel del Bajío y al norte de Michoacán un gran número de fracturas con orientación Este-Oeste, que se relacionan con el vulcanismo Plio-cuaternario del Eje Neovolcánico. En los alrededores del Lago de Chapala esta dirección se sobrepone a la otra orientación (NW-SE).

IV.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El eje del Proyecto de Agua Prieta donde quedará desplantada la cortina, se localiza en la parte Norte de una fuente de emisión ígnea, a la cual se le ha denominado Cerro Tatepozco.

Esta fuente de emisión ígnea originó planos de fluidez de composición riolítica bien definidos, cuyos rumbos varían en todas direcciones en forma anular en torno a la misma, y sus echados varían de 45° a 90° de intensidad. Se observó también un conjunto de fracturas con rumbo NW 80° SE; 80° NE en la margen derecha de la boquilla, y que forma parte del fracturamiento regional antes mencionado.

Las discontinuidades son muy importantes, ya que pueden ocasionar serios problemas geotécnicos, como deslizamientos de taludes rocosos, sobre todo si están saturados de agua. Estas discontinuidades disminuyen la resistencia de la roca y les induce permeabilidad secundaria, además se altera más rápidamente a medida que se percola el agua.

En la zona de la boquilla, las discontinuidades que se presentan son principalmente fracturas, planos de fluidez y planos de pseudoestratificación. De acuerdo a Goodman (1980, p. 23) las fracturas disminuyen la resistencia a la tensión a casi cero, es decir en dirección perpendicular al plano de la fractura; y por lo tanto, es muy importante definir los sistemas predominantes, así como su orientación e inclinación. Para tal efecto, se ha vaciado la información recabada en los socavones cercanos a la boquilla, sobre diagramas estereográficos (ver figuras 7, 8, 9 y 10). A continuación se describe el análisis que se realizó en diferentes sitios.

Socavón SB-1.- En el socavón SB-1 se determinó que las familias de fracturas que se presenta con mayor frecuencia son:

NE 66° SW; 60° NW.

NW 45° SE; 60° NE.

NW 74° SE; 50° NE.

NW 22° SE; 30° NE.

Figura 6.- Analisis del fracturamiento de los socavones realizados en el Proyecto Hidroeléctrico Picos de Guadalajara.

SOCAVON	FRACTURAS POR METRO	TIPO DE FRACTURA	ORIENTACION PREFERENTE DE FRACTURAMIENTO.	LITOLOGIA
SCSE	11 a 20	cerrada abierta	caótico	basalto andesita
SB-1	12 a 20	rellena cerrada	NE 66 SW;60 NW NW 45 SE;60 NE NW 74 SE;50 NE NW 22 SE;30 NE	riolita
SB-2	11 a 20	cerrada	NE 60 SW;60 NW NE 50 SW;35 SW NW 75 SE;90 NW 68 SE;90	riolita
SB-3	0 a 5	rellena cerrada	SW 44 NE;75 NW E 0 W;25 N E 0 W;50 S SE 20 NW;65 NE	
SB-4	0 a 20	zona de diaclasas	SW 41 NE;0-20 SE y NW	
SC-1	0 a 5	rellenas		fanglomerado
SC-2	0 a 5	rellena abierta	caótico	riolita
SR-1	11 a 15	relleno	caótico	andesita
SR-2	0 a 10	rellena	NE 31-45 SW;75-90 SE NE 61-75 SW;70-86 SE NW 46-60 SE;75-85 NE NE 0-45 SW;75-85 NW NE 40-60 SW;75-90 NW	andesita

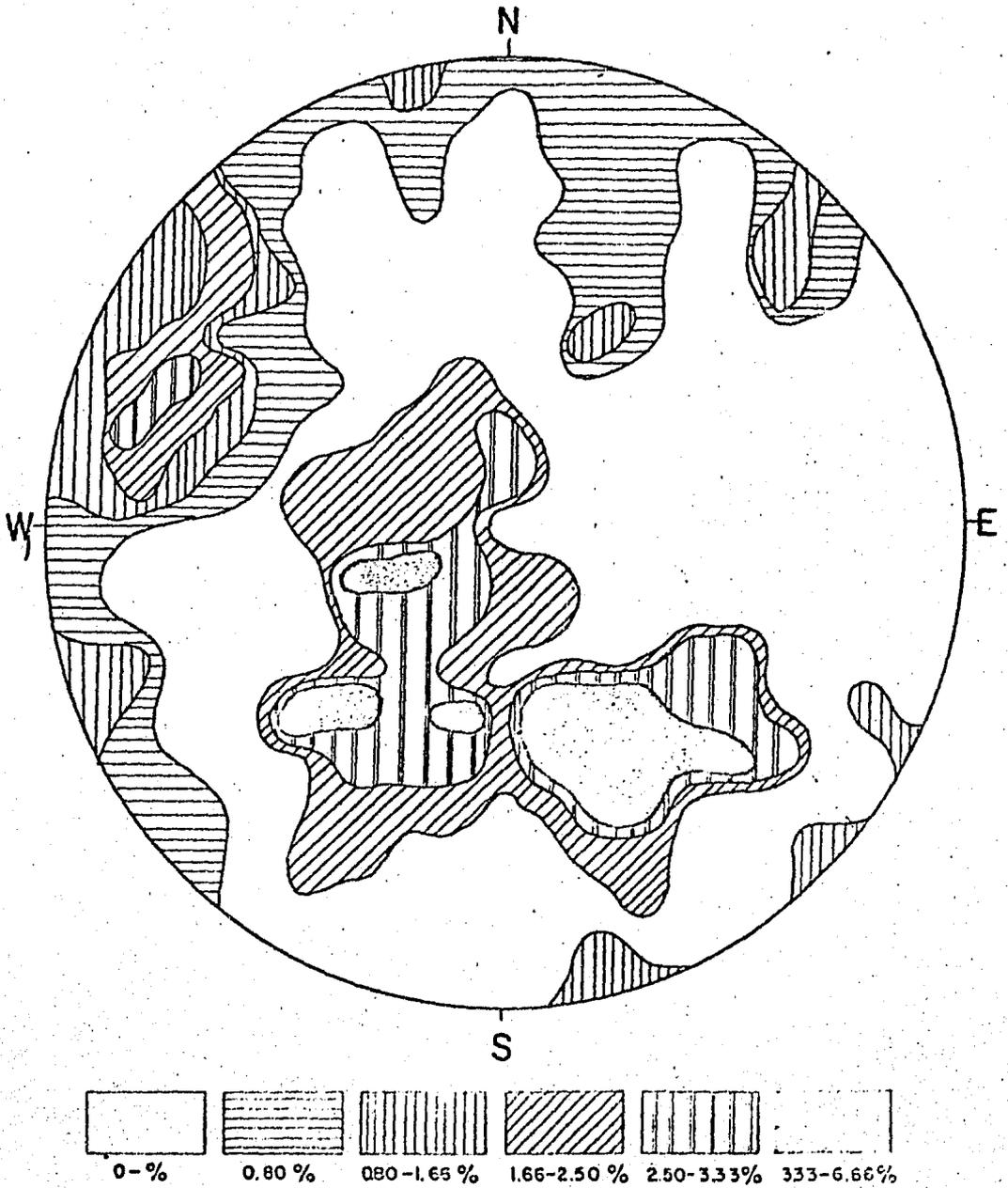


Figura.- 7 Diagrama de frecuencias del fracturamiento del socavón-SB-1 localizado 400 m. aguas abajo de la boquilla Agua-Prieta sobre la margen derecha.

Tesis Profesional.

J. de J. Mandujano Velásquez.

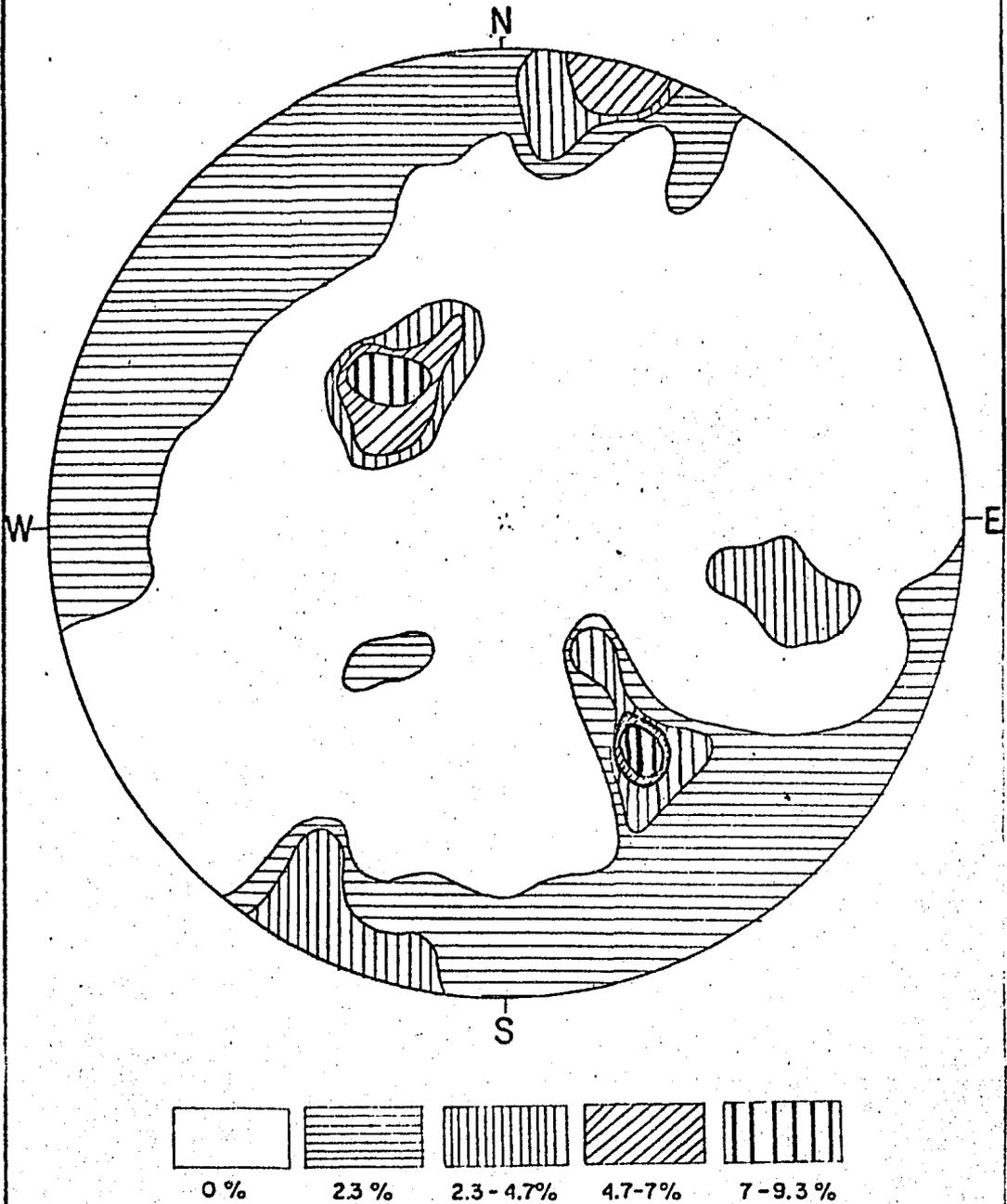


Figura.-8 Diagrama de frecuencias del fracturamiento del socavón - SB-2 localizado 400 m. aguas abajo de la boquilla Agua - Prieta sobre la margen izquierda.

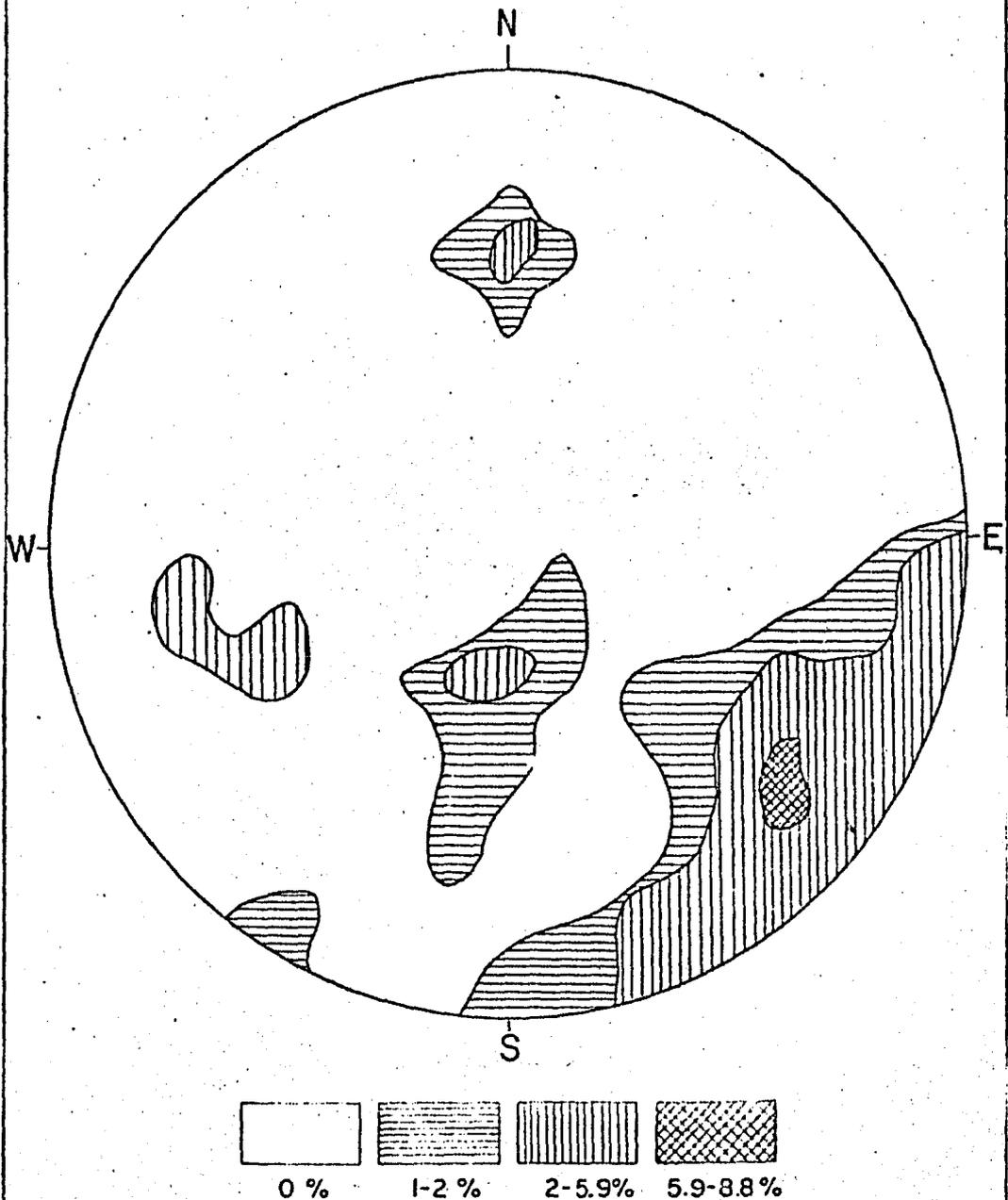


Figura.-9 Diagrama de frecuencias del fracturamiento del socavón SB-3 localizado 420 m. aguas abajo de la boquilla Agua Prieta sobre la margen izquierda

Tesis Profesional.
J. de J. Mandujano Velásquez.

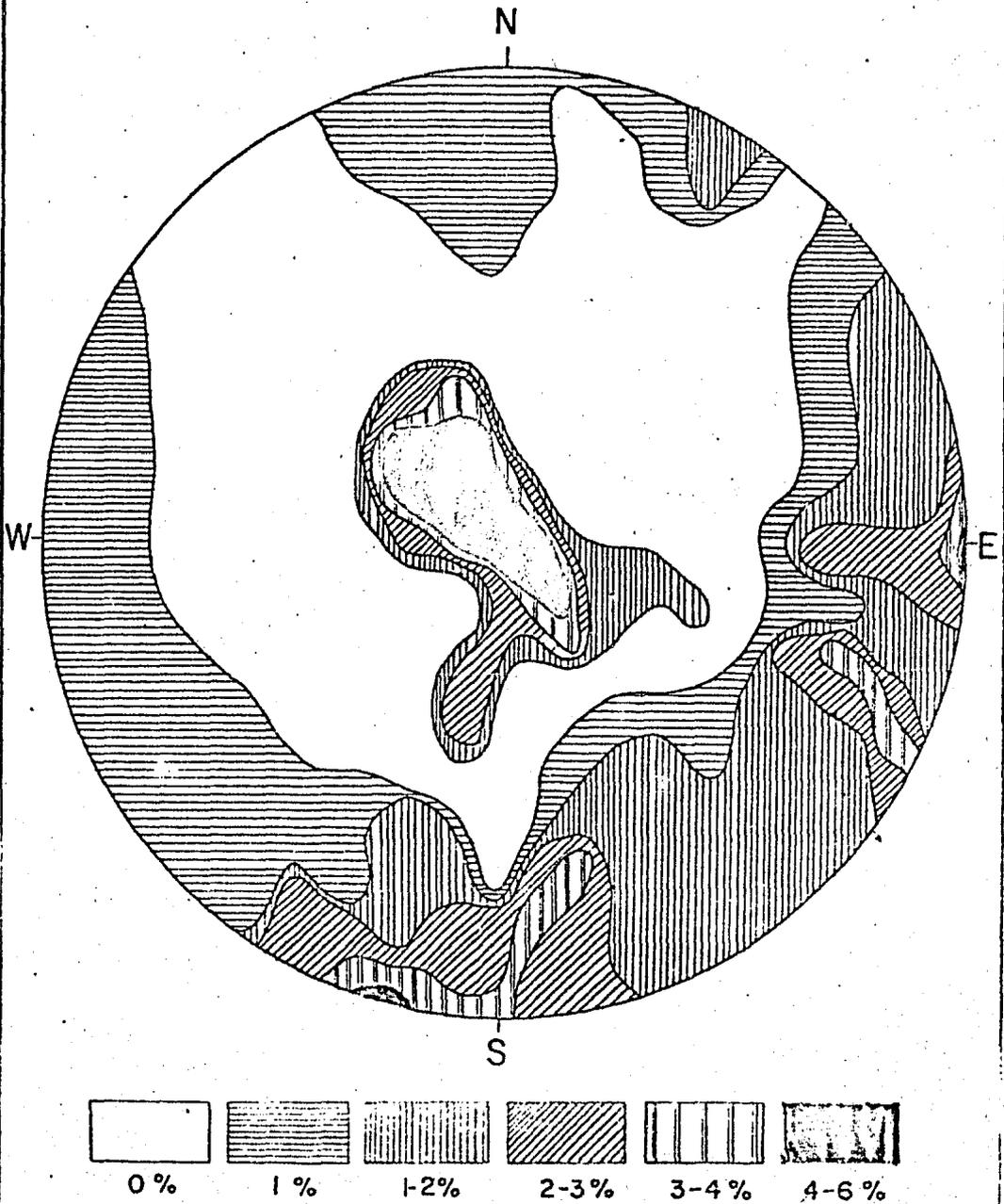


Figura.-10 Diagrama de frecuencias del fracturamiento del socavón -
SB-4 localizado 425 m. aguas abajo de la boquilla Agua -
Prieta sobre la margen derecha.

predominando aquellas que poseen rumbo NW-SE, que concuerda con la orientación del fracturamiento regional, producido por eventos tectónicos.

Otro conjunto de fracturas pero que se presenta con menor frecuencia tiene una orientación NE 18°SW; 78°SE.

Socavón SB-2.- La familia de fracturas en el socavón SB-2 posee las siguientes orientaciones;

NE 60°SW; 60°NW.

NE 50°SW; 35°SE.

Las familias de fracturas con orientación NW 75°SE; 90°NW 68°SE; 90° son de menor frecuencia que la anterior.

Socavón SB-3.- El socavón SB-3 tiene una familia de fracturas con orientación preferencial SW 44°NE; 75°NW. Le siguen en importancia la siguiente orientación;

E 0°W; 25°N.

E 0°W; 50°S.

SE 20°NW; 65°NE.

Socavón SB-4.- El conjunto de fracturas que se presenta con mayor frecuencia en este socavón tiene una orientación SW 41°NE; 0°-20°SE pudiendo tener echados también hacia el NW.

En la (figura) 6 se presenta una tabla que muestra las orientaciones preferenciales de las familias de fracturas observadas en todos los socavones realizados durante el proyecto; se ha puesto en primer lugar las familias más frecuentes y por lo tanto, las más representativas.

De los datos obtenidos y representados estadísticamente-

en diagramas estereográficos se pueden postular los siguientes sistemas de fracturamiento en la zona de la boquilla:

- Las familias que se presentan con mayor frecuencia poseen una orientación;

NW 22° - 75° SE; 30° - 60° NE.

NE 40° - 66° SW; 35° - 60° con echado hacia NW o SE.

- Aunque las familias mencionadas anteriormente tienen un rango amplio de orientación, es de notarse que la primera (NW-SE) parece relacionarse con el fracturamiento regional, producido por eventos tectónicos.

- La segunda familia de fracturas con orientación NE-SW no se puede relacionar con el fracturamiento debido a eventos tectónicos del área (límite del Eje Neovolcánico con la Sierra Madre Occidental) cuya orientación es NW-SE y E-W.

- Por lo mencionado anteriormente se asume que el segundo conjunto de fracturas ha sido causado en su mayoría por fenómenos propios del enfriamiento y la solidificación de un flujo de lava.

CAPITULO V
GEOLOGIA HISTORICA

Las emisiones andesíticas basálticas del Oligoceno-Mioceno no son las rocas más antiguas que afloran en la región y a partir de esa edad se presenta un resumen de la geología histórica. Después de las emisiones de estas rocas, siguió un periodo de quietud y erosión, hecho que se justifica al observar las rocas que sobreyacen discordantemente a las andesitas basálticas anteriormente mencionadas.

En el Mioceno Medio tuvieron lugar las primeras manifestaciones del vulcanismo ácido, con la eyección de tobas pumicíticas, que rellenan las cuencas lacustres formadas por la erosión de las andesitas; las tobas están representadas en el área por las tobas riolíticas lacustres. Este periodo fué seguido por la emisión de derrames, tobas y brechas riolíticas. Durante el Plioceno, el vulcanismo ácido continuó en actividad con las erupciones de tobas pumicíticas e ignimbritas riolíticas. Los basaltos que representan al vulcanismo del Eje Neovolcánico y conforman morfológicamente mesetas, fueron emitidos entre el Plioceno y el Pleistoceno.

CAPITULO VI

DESCRIPCION DEL PROYECTO Y ASPECTOS GEOTECNICOS DE LAS OBRAS.V.1.- INTRODUCCION

En este capítulo se incluye la descripción de las obras-civiles de acuerdo al orden de circulación del caudal residual, el cual se colecta en el Norte de la ciudad en una presa antigua denominada Rancho Nuevo o Hedionda y es donde se localiza la obra de toma del Proyecto hidroeléctrico Picos de Guadalajara circulando así el agua por todas las partes del proyecto, hasta llegar finalmente en la casa de máquinas-situada en la margen izquierda del Río Santiago e incorporarse a sus aguas.

Las obras de este proyecto son:

- 1) Obra de toma en la Presa de Rancho Nuevo, conocida también como Presa Hedionda así como también el canal y el tunel de conducción por gravedad de la Ex Presa Hedionda al Vaso Agua Prieta.
- 2) Vaso de almacenamiento Agua Prieta.
- 3) Boquilla Agua Prieta.
- 4) Obra de toma y vertedor en el Vaso Agua Prieta.
- 5) Tunel de conducción a baja presión Vaso Agua Prieta al pozo de oscilación.
- 6) Pozo de oscilación.
- 7) Tubería a presión, "rampa".
- 8) Casa de máquinas.

VI.2.- OBRA DE TOMA EN LA PRESA DE RANCHO NUEVO Y CONDUCCION DE AGUA POR GRAVEDAD EX PRESA HEDIONDA AL VASO AGUA - PRIETA.

VI.2.1.- DESCRIPCION.

La obra de toma se consideró de la actual Presa Rancho - Nuevo por ser el único sitio factible. El vaso de la Presa - Rancho Nuevo está destinado a desaparecer, debido a la cantidad de azolve por un lado, así como por la fuente de contaminación que esta representa para la ciudad.

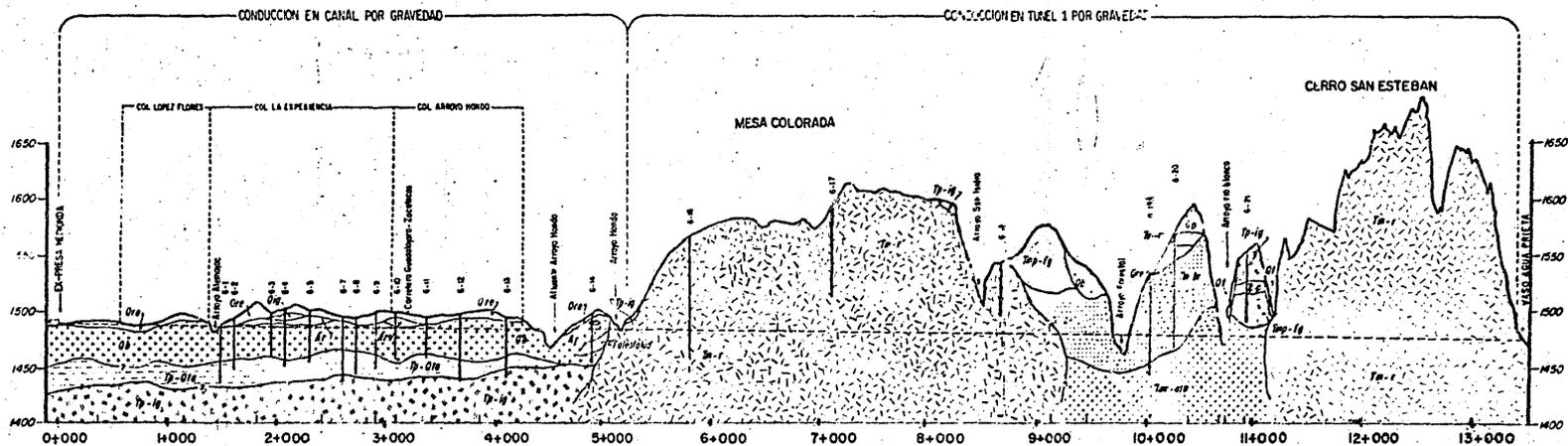
La conducción de agua por gravedad desde la ex presa - Rancho Nuevo hasta el vaso de almacenamiento Agua Prieta, - tiene las siguientes características:

CONDUCTO	LONGITUD(m.)
Canal(en zona urbana)	5300
Tunel	<u>8400</u>
Longitud total	13700

La capacidad total de la conducción es de $36 \text{ m}^3/\text{seg}$; - las velocidades en el conducto no serán nunca inferiores a - $1 \text{ m}/\text{seg}$. y de esta forma no se provoque sedimentación en los - mismos, aún cuando se presente el gasto mínimo diario de - $8 \text{ m}^3/\text{seg}$. (ver figura 11.-)

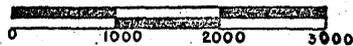
VI.2.2.- SECUENCIA LITOLOGICA.

A continuación se describe la litología y los principa - les rasgos a lo largo de las secciones de conducción y que - corresponden a los tramos del cadenamamiento (Km. 0+000-0+350)- del tunel de baja presión que atraviesa diferentes unidades - de roca. El área de desplante se llevará a cabo sobre basalto cubierto por una delgada capa de aluvión, no sobrepasa de los 2 m. de espesor. El basalto es duro, con fracturas rellenas -

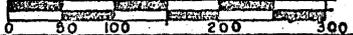


Sección Presa Hedionda al vaso Agua Prieta

ESCALA HORIZONTAL



ESCALA VERTICAL



UNAM	Facultad de Ingeniería Geología
	Tesis Profesional Sección Presa Hedionda al Vaso Agua Prieta.
Formó: Jaime Mandujano V.	Fecha Junio 1983
UBICACION: NW de Jalisco	FIGURA No. 1.

con arcilla verde, disgregable cuando está saturada.

Tramo Km. 0+350-0+500.- A medida que el trazo del canal, se aleja del arroyo de San Juan de Dios, el aluvión cambia a suelo, formado por la denudación de la toba pumicítica, riolita y obsidiana. El espesor aproximado al final del tramo, es de 3 m. y se encuentra encima del basalto. El desplante sobre la arena pumicítica requiere pruebas de capacidad de carga.

Tramo Km. 0+500-0+900.- Como se puede observar en el corte de una antigua cantera de roca basáltica, en este tramo el espesor del suelo aumenta aproximadamente medio metro, dando un total de 3.5 m. Aunque existen cortes verticales sobre el suelo, esto no dá una garantía sobre la resistencia al flujo y peso del agua, por lo que se recomienda poner especial atención en el método de construcción para aquellos tramos del canal, que atraviesen materiales de dudosa o débil consolidación.

En el tramo, comprendido entre Km. 0+500 y el 0+800 se construye un fraccionamiento, por lo que se recomienda, si se construye el canal hacerlo antes de que se urbanice y edifique, con el objeto de abatir los costos de indemnización.

Tramo Km. 0+900-1+1680.- El espesor del suelo disminuye bruscamente a cero metros, antes de llegar al Arroyo Atemajac.

A partir del cadenamamiento Km. 0+900 el canal por gravedad queda asentado sobre roca basáltica (sondeo G-1 y G-2).

Aproximadamente 25 m. después de atravesar al Arroyo Atemajac (Km. 1+480) da principio una delgada cubierta de suelo, la cual incrementa gradualmente su espesor, hasta 8 m. al Km. 1+850.

En el Km. 2+000 el suelo sobreyace a la ignimbrita riolítica. El contacto entre la ignimbrita y el basalto se encuentra aproximadamente entre la parte media del tramo comprendido entre el Arroyo Atemajac y el cadenamamiento 2+000, se hace la aclaración de que no fué posible observar este contacto, debido a la capa de suelo que lo cubre. En el cadenamamiento 2+000, se explota la ignimbrita riolítica como cantera y como dato interesante, se extraen bloques para la construcción de muchos edificios coloniales y modernos de la Ciudad de Guadalajara. Los cortes dejados por esta explotación han permitido calcular con cierta aproximación los espesores de suelo en esta porción.

Tramo 1+680-3+240.- El canal de conducción en este tramo cruzará la colonia la Experiencia, en donde se encuentran suelos de 6 m. de espesor. En el tramo 1+950-2+250 se encuentra ignimbrita traquítica dura, que presenta fracturamiento.

Las cimentaciones del canal por gravedad se apoyarán en basaltos de buena calidad poco interperizados a diferentes profundidades, es decir, que en ocasiones será necesario excavar roca para alcanzar la nivelación y en otras será necesario remover 2 o 3 m. de suelo para encontrar estos basaltos y garantizar un buen desplante. (ejemplo tramo 3+000-3+240).

Por otra parte, la topografía es un poco ondulada provocando que los cortes máximos sean de 17 m. en suelos o materiales poco consolidados (sondeos G-3 al G-5 y G-7 al G-10).

Tramo Km. 3+240-4+270.- La mayor parte del canal en este tramo quedará desplantado en basaltos, con una ligera cubierta de suelos parcialmente consolidados de poco espesor (sondeos G-11, G-12 y G-13).

Tramo Km. 4+270-5+350.- Debido a la topografía irregular en esta porción se tiene que instalar construcción de puentes desplazados en basaltos de regular y buena calidad (sondeo G-14), el basalto está poco fracturado con textura vesicular en donde se pueden apoyar los cimientos del canal de conducción.

Tramo Km. 5+350-9+000.- En el tramo, la roca encajonante será riolita vítrea, de mala calidad y riolita fluidal silisificada de buena calidad. En los barrenos G-16, G-17 y G-18 se observaron definitivamente dos sistemas de fracturas con alta inclinación.

En el tramo próximo al cadenamamiento 8+500, el tunel de gravedad a lo largo de la riolita, pierde techo considerablemente; puesto que el comportamiento excavatorio de esta roca no se conoce a la perfección, se recomienda que las voladuras sean calculadas para evitar derrumbes en el área de poco techo. Por otra parte, en esta zona se puede diseñar una lumbrera para excavar el tunel por dos frentes de ataque.

Para este sitio, y para la calidad de esta roca, será necesario el uso de anclas y concreto lanzado para revestir y poder utilizar este como ademe temporal o definitivo.

Tramo Km. 9+000-10+500.- Esta sección será excavada en brecha riolítica muy argilizada de mala calidad, como se pudo observar en el sondeo G-19A. Sin embargo, en el tramo del sondeo G-20 la calidad es buena. Se recomienda para la excavación de esta porción usar escudo o ademado conforme se avance. Este tipo de ademe puede ser temporal o parte del definitivo, según sean las necesidades a profundidad. En el cadenamamiento 9+900 se tendrá que construir un sifón o un puente desplanta-

do en brecha riolítica.

Tramo Km. 10+500-11+260.- Esta zona se encontrará bajo dos - condiciones de construcción muy diferentes; el primer tramo - será excavado en tobas andesíticas de excelente calidad, y el - segundo un sifón en el Arroyo Río Blanco.

El primer tramo es considerado como una zona de inesta- - bilitad donde se requerirá de ademe en toda la sección duran- - te su excavación (sondeo G-21).

Tramo Km. 11+260-13+700.- El tramo final será excavado en - riolita porfirítica de buena calidad. El inconveniente exis- - tente es la presencia de zonas inestables a lo largo del tu- - nel, producidos por bloques de rocas delimitados por fractu- - ras o diaclasas; estos bloques podrán sujetarse con anclas.

VI.3.- VASO DE ALMACENAMIENTO AGUA PRIETA

VI.3.1.- DESCRIPCION.

El vaso de almacenamiento se ubica sobre el Arroyo Agua- - Prieta y es el que le da nombre a la obra. Se encuentra a un- - lado del camino que vá de la carretera Guadalajara-Zacatecas- - al poblado de Copala; a unos 2 Km. adelante del poblado de - San Miguel Tatepozco (ver figura 1.-). Para la construcción, - aparentemente, el vaso de almacenamiento Agua Prieta, no pre- - senta dificultades de caracter socio-político, ya que se en- - cuentra a unos 10 Km. en línea recta del límite norte actual- - de la zona metropolitana de Guadalajara. El vaso está en una-

zona, a donde nunca llegará la zona urbana de Guadalajara, - ya que se encuentra después de la Sierra de San Esteban, que alcanza una altura del orden de los 1,800 m.s.n.m., esta zona es abrupta y de muy difícil urbanización.

Las características fundamentales de la presa Agua Prieta son las siguientes:

El vaso de almacenamiento posee una capacidad de 4.6 millones de m^3 a la elevación del NAMO, (1,473 m.). El nivel mínimo de operación es de 1,468 m., con una capacidad de 3.1 millones de m^3 . Así pues, la capacidad de almacenamiento del vaso es de 1.5 millones de m^3 , suficiente para almacenar el caudal que sale de la ciudad de Guadalajara en un día.

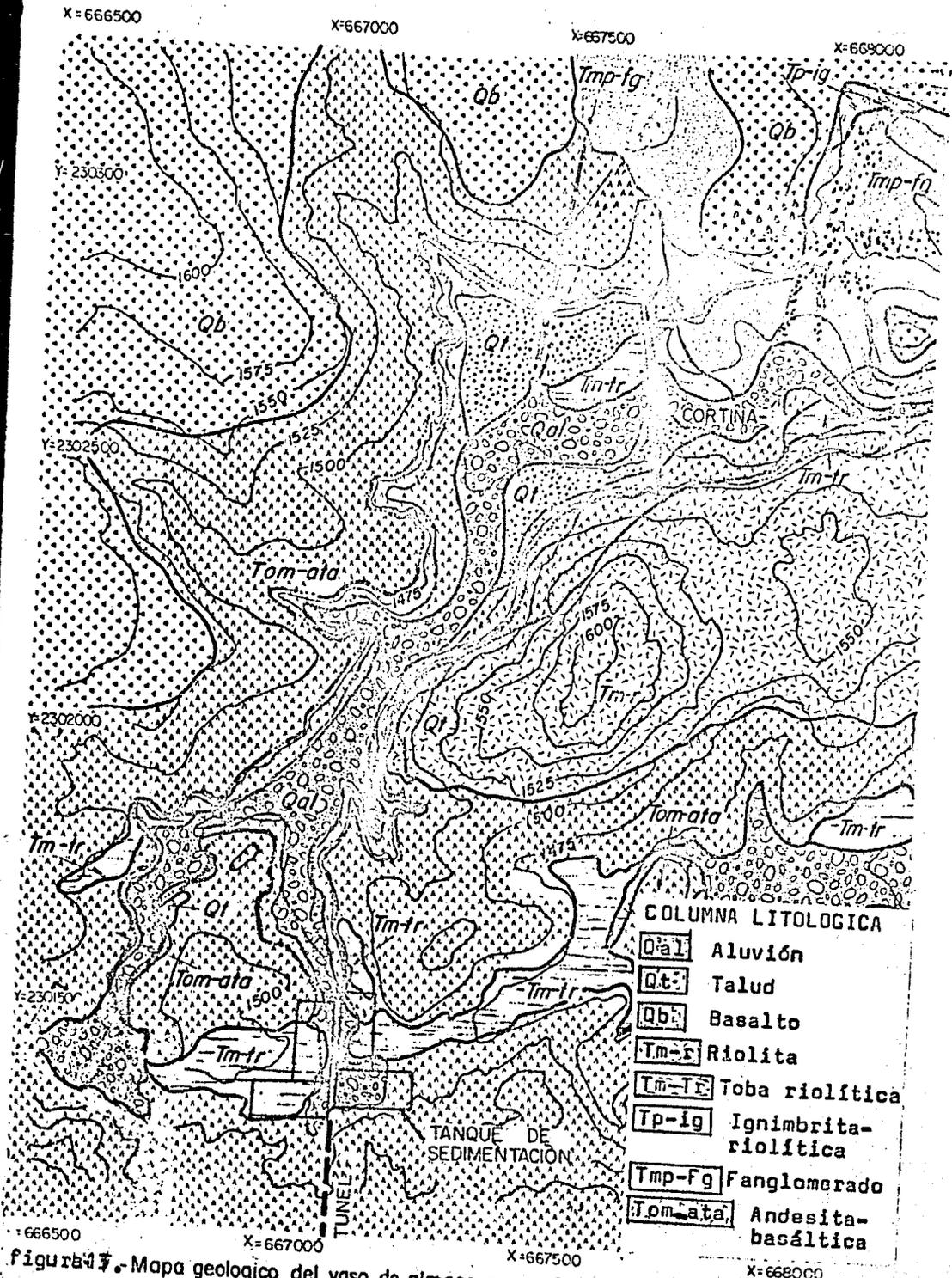
La cortina tendrá una altura aproximada de 60 m.; la corona - estará a la elevación 1,480 m. y tendrá una longitud de 375 m.

La obra de exedencias deberá proyectarse para las avenidas - máximas y esta consistirá de un vertedor de cresta libre.

Los tanques de sedimentación están localizados en la cola del vaso (Ver figura 12.-).

VI.3.2.- SECUENCIA LITOLÓGICA.

En el vaso aflora casi toda la columna estratigráfica. - La andesita basáltica se presenta en las partes bajas de la - margen derecha y están cubiertas por la toba andesítica, la - riolita y la toba riolítica. La toba andesítica aflora en toda la margen derecha del vaso. (ver figura 13.-). Esta roca - conforma lomeríos de pendientes suaves que se encuentran en - esta localidad y contrastan con los escarpes abruptos de la - riolita del Cerro San Esteban. La toba andesítica es de color



COLUMNA LITOLÓGICA

Qal	Aluvión
Qt	Talud
Qb	Basalto
Tm-tr	Riolita
Tm-tr	Toba riolítica
Tp-ig	Ignimbrita-riolítica
Tmp-fg	Fanglomerado
Tom-ata	Andesita-basáltica

Figura 17. Mapa geológico del vaso de almacenamiento Agua Prieta.

pardo violáceo, con fragmentos brechoides en una matriz arenosa-arcillosa.

La riolita ocupa las porciones altas de la margen derecha.

Por otra parte, la margen izquierda del vaso está constituida en mayor proporción por rocas básicas e intermedias.

En el área de la obra de toma, que se localiza en la margen izquierda, hay basaltos cubiertos por el suelo residual. Los basaltos sobreyacen a las andesitas y riolitas.

En la porción media del vaso, en la margen izquierda, algunas partes bajas suelen estar cubiertas por depósitos de talud.

En resumen, se levantó la geología y se encontró que las condiciones geológicas del vaso están determinadas por la presencia de varios tipos de roca; tal como, riolita y andesita-basáltica en la margen derecha y andesita basáltica, toba riolítica y basalto en la margen izquierda. Estas rocas están cubiertas por depósitos de talud, aluvión y suelo residual.

V I.3.3.- PERMEABILIDAD.

Al realizar la cartografía en el vaso, se observó que la base está formada por roca compacta de tipo riolítico. La riolita puede tener fracturas abiertas por donde podría filtrarse el agua, sin embargo, como se ha observado, las fracturas están rellenas por gruesos espesores de arcilla impermeable.

Una observación de campo, es que en épocas de lluvias -

no existen filtraciones o al menos la velocidad de ésta es muy lenta, ya que el agua proveniente de las lluvias permanece estancada. Desde luego, las presiones a que va a estar sujeta la base de la presa al estar llena, será muy grande, pero al menos estas características nos darán una idea en primera instancia, de la permeabilidad de la roca, además de tener como información adicional, las pruebas de permeabilidad-tipo Lugeón realizadas en la boquilla, y en las cuales esta unidad resultó ser impermeable en la margen derecha.

Con las exploraciones realizadas anteriormente se concluye que el cierre del vaso se puede llevar a cabo sin ningún problema, pero al mismo tiempo, se recomiendan por los aspectos técnicos y económicos exploraciones más detalladas por medio de sondeos de exploración complementado con pruebas de permeabilidad. En el caso de que estas exploraciones de detalle se llevaran a cabo, es susceptible que las condiciones iniciales varíen.

V I.3.4.- ESTABILIDAD DE LADERAS.

En la margen derecha 100 m. aguas arriba de la boquilla, se localiza un área con depósitos de talud. La posibilidad de derrumbe de estos materiales por efecto de saturación con el embalse a la elevación 1,465 no es remota, por lo que requerirá análisis de los mismos.

En la margen izquierda, las áreas potencialmente inestables corresponden a depósitos de talud y se localizan desde la cortina hasta 100 m. aguas arriba de la obra de toma. El posible deslizamiento de estos depósitos ocurriría en forma de flujo al saturarse y perder cohesión.

VI.4.- BOQUILLA AGUA PRIETA.

VI.4.1.- DESCRIPCION.

En este sitio se diseñó una cortina de materiales gradados la cual se desplantará sobre rocas ígneas .

VI.4.2.- SECUENCIA LITOLÓGICA.

En la sección de la boquilla tenemos la siguiente secuencia litológica.(ver figura 14).

Como roca más antigua se tiene una riolita compacta, masiva de color café rojizo con textura porfirítica, fenocristales de plagioclasas, cuarzo, feldespatos potásicos y matriz afanítica. Esta roca fué detectada por todos los barrenos realizados en la zona de la boquilla.

Sobreyaciendo a la riolita hay una limolita, cuyo espesor varía de 20 a 40 m. entre la limolita y la riolita encontramos un vitrófido muy fracturado, el cual pasa gradualmente hacia su parte superior a una toba vítrea. Es importante este horizonte, porque en el se encuentra un acuífero. Este se detectó por el artesianismo presentado en los barrenos AN-1 y AN-2, el gasto fué de 1 litro/seg.. Esto dá una idea de la impermeabilidad de la roca, que confina el acuífero, tanto en la parte inferior la riolita, como de la parte superior la limolita.

Sobreyaciendo a la limolita tenemos en la margen izquierda a la andesita; también encontramos a 300 m. de distancia de este punto, pero en la margen derecha, una toba andesítica. Estas dos unidades sobreyacen a la limolita que se acuñan

25 m. antes de llegar a la margen izquierda.

Sobreyaciendo a la toba, en la margen derecha, se tiene a otra limolita, con espesor promedio de 15 m.; finalmente - sobre ésta última, se tiene una andesita, de color gris oscuro, compacta, con textura porfirítica y fenocristales de plagioclasas.

A lo largo de la boquilla se han realizado cortes con tractor, lo que ha permitido observar y dar una idea del espesor del talud (5 m. en la margen izquierda), así como del suelo vegetal arcilloso, al cual no es mayor de 3 m. Además, se pudo verificar, que dicho suelo, proviene directamente de la alteración de las tobas subyacentes.

En terminos generales, en ambas márgenes, la andesita - presenta buena calidad. El espesor máximo de esta es de 50 m.

La toba y limolita que subyacen a la andesita, son rocas a las que hay que tratar para que de esta forma se logre la impermeabilidad. Estas no se encuentran muy compactas y presentan una resistencia mínima, pudiendo disgregarse manualmente al estar en contacto con el aire (principalmente la limolita).

En la zona del eje de la boquilla, la pseudoestratificación y los planos de fluidez poseen un echado de 30° aproximadamente hacia aguas arriba, por lo que favorece las condiciones de permeabilidad de la misma.

V I.4.3.- PERMEABILIDAD.

Es requisito fundamental para el desplante de construcciones, el conocimiento a fondo de los terrenos, sobre el cual se llevarán a cabo. Una de las condiciones que deben reunir es el de la impermeabilidad. Por esta razón se efectuaron pruebas de permeabilidad tipo Lugeón (Figura 15.-) a través de los sondeos AN-2, AN-3 y AN-4. Se realizó un total de 116-m. de prueba. Los ensayos se llevaron a cabo sobre el trazo del eje de la cortina y por lo tanto permite conocer e interpretar la permeabilidad en este sitio. Las pruebas tuvieron las siguientes especificaciones:

1.- Para la realización de la prueba, se siguieron las instrucciones sobre operación de campo de pruebas tipo Lugeon y LeFranc que propone el manual de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

2.- Las pruebas se efectuaron en tramos de 3 m. comenzando del fondo del barrano.

3.- La interpretación se efectuó por medio de las gráficas resultantes donde se estudiaron las trayectorias de las curvas obtenidas graficando el gasto(Q) y presión(P). Esto permitió que se pudiera relacionar con la litología en cada prueba.

4.- Para definir las zonas de permeabilidad, se utilizaron los siguientes rangos:

- 0 a 3 Unidades Lugeon (U.L.) - Impermeable
- 3 a 11 Unidades Lugeon (U.L.) - Poco permeable
- 11 a 23 Unidades Lugeon (U.L.) - Permeable

De los valores obtenidos a través de las unidades estudiadas se logró definir un zoneamiento (Figura 16 y 17).

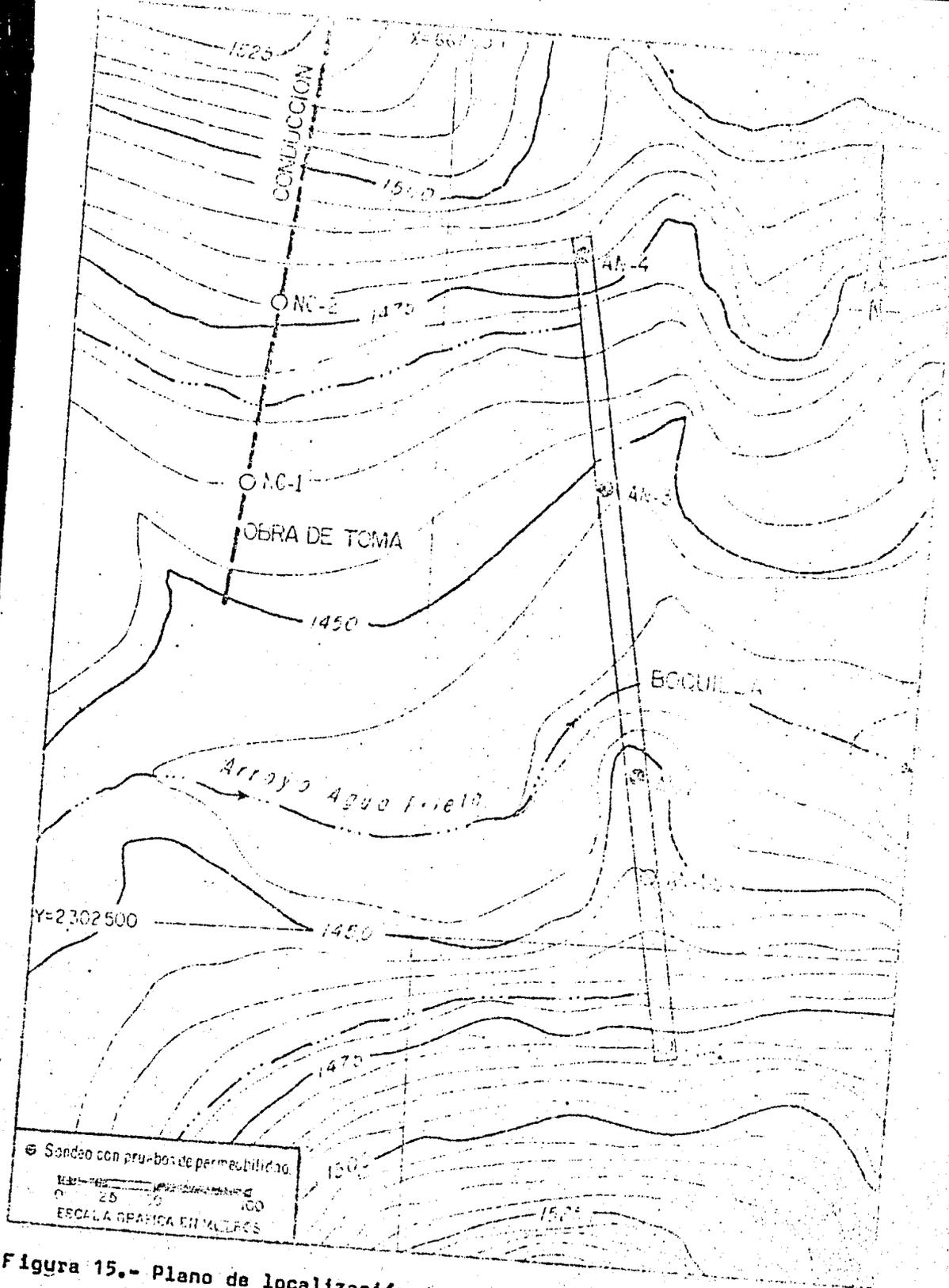


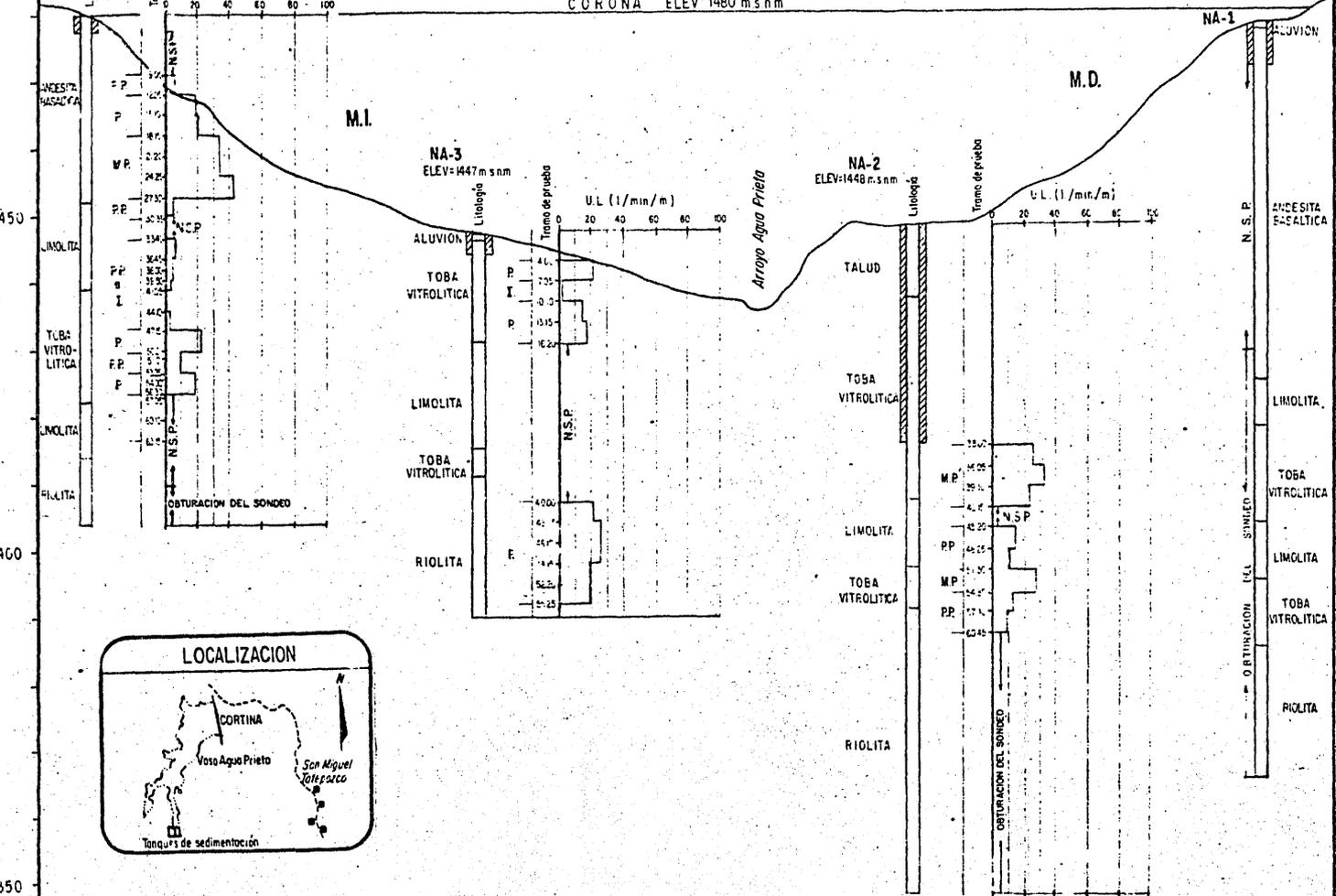
Figura 15.- Plano de localización de los sondeos con pruebas de permeabilidad en el eje de la boquilla del Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta.

NA-4
ELEV: 1450 m.s.n.m

SECCION DE LA NUEVA BOQUILLA AGUA PRIETA

S 8° E

GRAFICA DE GASTO EN PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON U.L. (l./min/m)
C O R O N A ELEV 1480 m.s.n.m



LEYENDA

- Sondeo
- Ademe
- I. Zona impermeable
- PP. Zona poco permeable
- P. Zona permeable
- MP. Zona muy permeable

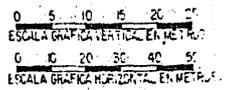
PARAMETROS

- 0-3 UL Impermeable (I)
- 3-11 UL Poco permeable (PP)
- 11-23 UL Permeable (P)
- 23-40 UL Muy permeable (MP)
- 40 UL Altamente permeable (AP)

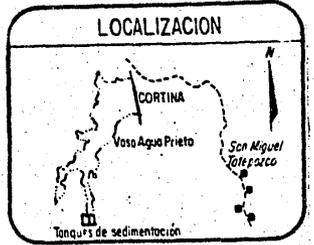
N S P. No se le el permeámetro

LITOLOGIA

- Aluvion
- Talud
- Andesita Basáltico
- Toba vitrolítica con alternancia de limolita.
- Riolita



LOCALIZACION



UNAM Facultad de Ingeniería

Gráfico de gasto en pruebas de permeabilidad (Lugeon) en la boquilla.

FORMO Jaime Mandujano V.

FECHA Jun 93 ELEGUM 16

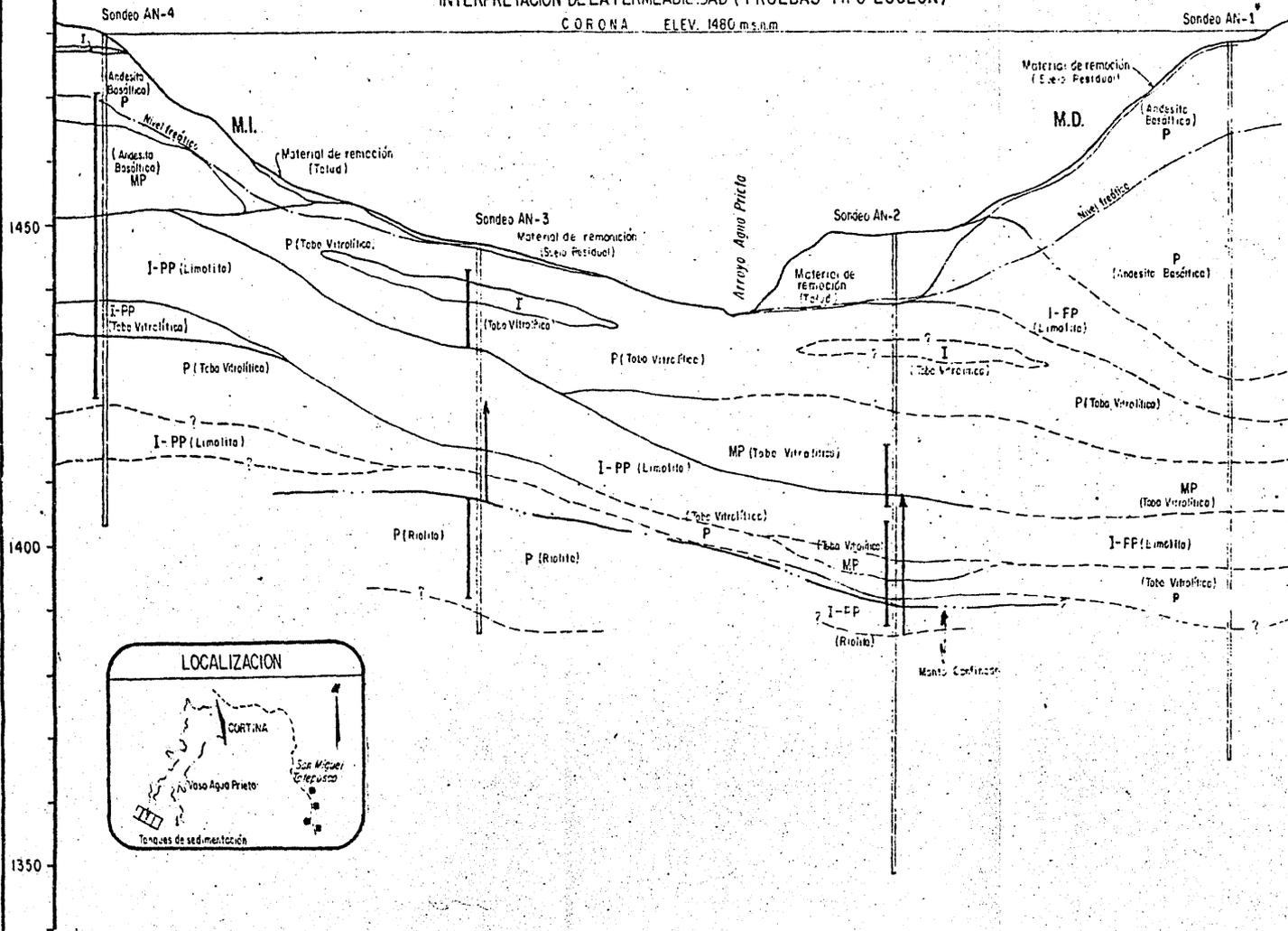
N 8°W

NUEVA BOQUILLA AGUA PRIETA

S 8°E

INTERPRETACION DE LA PERMEABILIDAD (PRUEBAS TIPO LUGION)

CORONA ELEV. 1480 m.s.n.m.



LEYENDA

- Zona permeable
- Zona impermeable
- Zona poco permeable
- Zona muy permeable
- Nivel freático
- Manto confinado
- Sonda artesiana
- Manto de agua confinada
- Profundidad total del sondeo

PARAMETROS

- 0-3 UL Impermeable
- 3-11 UL Poco permeable
- 11-23 UL Permeable
- 23-40 UL Muy permeable
- >40 UL Alto grado permeable

0 5 10 15 20 25
ESCALA GRAFICA VERTICAL EN METROS

0 10 20 30 40 50
ESCALA GRAFICA HORIZONTAL EN METROS

UNAM Facultad de Ingeniería

Interpretación de la permeabilidad (Pruebas tipo Lugeon) en la boquilla.

FORMO Jaime Mandujano V.

FECHA Junio 93 FIEUR No 17

NOTA - En los intervalos donde no se hicieron pruebas de permeabilidad la interpretación se hizo a cabo por correlación con intervalos cercanos en base a los intervalos probados.

Nota: Nivel freático promedio de los meses Octubre a Diciembre de 1982.

- Basalto.-** Zona permeable en la parte media y superficial.
Zona permeable de la parte media hacia su contacto inferior.
- Toba vítrea.-** Zona permeable en su mayor parte.
Zonas impermeables y permeables como lentes de reducido espesor.
- Riolita.-** Zona permeable en la mayor parte.
Zona impermeable restringida a lentes, de reducido espesor.
Esta diferencia en valores de permeabilidad es atribuible a fracturamiento y zonas alteradas dentro de las formaciones rocosas.
- Limolita.-** Se considera que es de impermeable a poco permeable como consecuencia de su constitución mineral, observándose que el gasto que se tuvo en las pruebas realizadas en este material fué debido al lavado del mismo.

La boquilla se encuentra sobre pseudoestratos y lentes de diferentes permeabilidades predominando las zonas permeables, motivo por el cual se podrían presentar fallas debido a la tubificación, por efecto de erosión subterránea, como resultado de las filtraciones.

Se detectaron dos niveles freáticos; el superior se localiza en el basalto andesítico y que es favorecido por el intenso fracturamiento; es de tipo colgante y se presenta en ambas margenes. El más profundo pertenece a un manto acuífero confinado en riolita vítrea, y al que ya se ha hecho referencia.

V I.4.4.- BANCOS DE MATERIALES.

Para conocer las características de los bancos de arcillas se hicieron reconocimientos de campo en las proximidades de la boquilla de Agua Prieta. En las áreas favorables se procedió a realizar pozos para tomar muestras y observar el espesor del banco de arcilla.(ver figura 18).

El análisis de las muestras colectadas en los bancos de arcilla Copala 1, 2, 3 y 4 y los volúmenes estimados se presentan en la TABLA I.

Banco No 1.- Está ubicado al Noreste de Copala, a 3.7 Km. de la boquilla de Agua Prieta. Este banco está constituido por arcilla de tipo limo-arcilloso de baja compresibilidad; está disectado por el Arroyo de Piedras Bolas en donde se observa regolita de 0.40 m. de espesor y dos horizontes arcillosos de 1.60 m. de espesor total; el área que cubre es de aproximadamente 1,600,000 m².

Por debajo de estos horizontes continúan unas tobas pumíticas de 1.40 m. de espesor; subyaciendo se encuentra otro manto de arcillas de 1.80 m. de espesor y en la base, basaltos.

Banco No 2.- Se localiza al Sureste de Copala a 2.7 Km. de la boquilla y está compuesto por arcilla de alta plasticidad y cubre un área aproximada de 350,000 m², y un espesor promedio de 70 cm. Este material se considera como regolita que proviene de los basaltos.

Banco No 3.- Se localiza al Norte de la obra de toma y a 1 Km. de distancia de la boquilla. Los materiales son de composición limo-arcillosa de compresibilidad media a baja. El

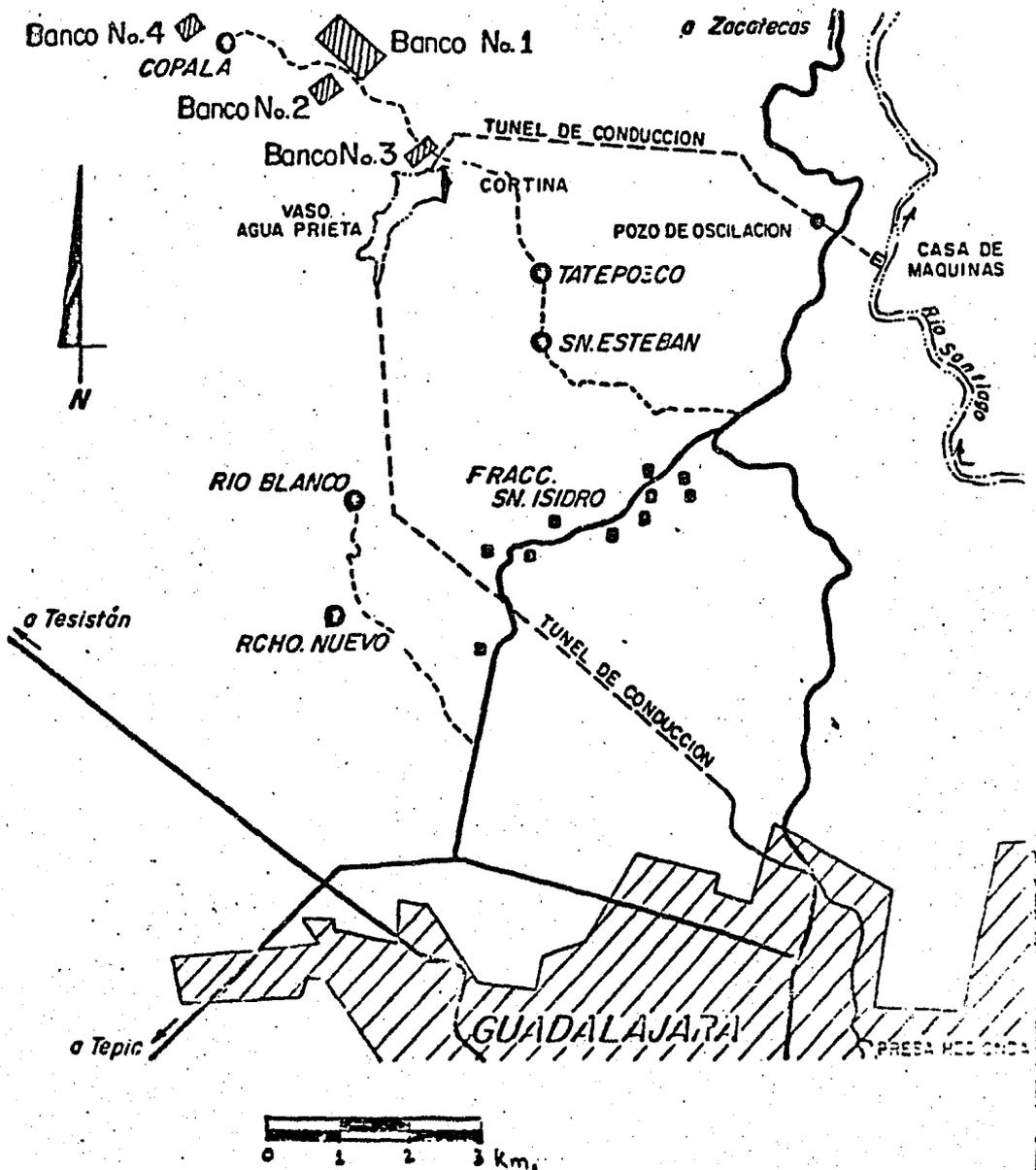


Figura 18.- Localización de los bancos de materiales para la alternativa de Agua Prieta del P.H. Picos de Guadalajara, Jal.

BANCO	1	2	3	4
AREA(m ²)	330,000	152,000	165,000	96,000
VOLUMEN(m ³)	990,000	295,000	82,500	96,000
TONELAJE (Ton/m ³)	2'643,300	769,950	360,000	248,640
DISTANCIA AL PROYECTO(km)	3.2	2.7	1	4
S. U. C. S.	SM	CH	ML	MH
DENSIDAD	2.67	2.61	2.62	2.59
ARENA(%)	59.90	18.00	42.98	36.12
FINOS(%)	41.10	82.00	57.90	63.88
LIMITE LIQUIDO	27.00	54.60	25.00	29.00
INDICE DE PLASTICIDAD	7.82	28.34	6.25	5.06
INDICE DE FLUIDEZ	10.20	8.60	9.50	9.25
INDICE DE TENACIDAD	0.76	3.29	0.83	0.55

TABLA I.- Resultados de los análisis hechos en las muestras -
colectadas en los bancos de arcilla, próximos al -
poblado de Copala, alternativa de Agua Prieta, -
P.H. Picos de Guadalajara.

banco cubre aproximadamente un área de 600,000 m² con 60 cm. de espesor; es principalmente regolita que sobreyace a los bancos en la porción oriental e ignimbritas riolíticas en la parte restante. Según los resultados de los análisis hechos en laboratorio, el banco está constituido por arenas en su mayor parte.

Banco No 4.- Está ubicado al poniente de Copala, a 4 Km. de la boquilla y consiste de azolves retenidos por una represa; y el material es de tipo limo-arcilloso de baja compresibilidad. El área es de 350,000 m² por un metro de espesor. A este banco lo subyacen intercalaciones de lentes pumicíticos e ignimbríticos de composición intermedia.

V.I.5.- OBRA DE TOMA Y VERTEDOR.

V I.5.1.- DESCRIPCION

La obra de toma y vertedor que se ubican en la margen izquierda del vaso y de la boquilla, tienen como asiento para la cimentación, materiales de alta calidad, en cuanto a resistencia y permeabilidad.

A continuación se dan las características del vertedor:

Tipo de vertedor	De cresta libre
Gasto máximo de descarga	300 m ³ /seg.
Altura máxima	3 m.
Elevación de la cresta vertedora	1,460
Longitud del vertedor	30 m.

VI.5.2.- SECUENCIA LITOLÓGICA.

El área donde se localiza la obra de toma y el vertedor, afloran andesitas que están ubicadas subyaciendo depósitos de talud y suelo residual.

VI.6.- TUNEL DE CONDUCCION A BAJA PRESION.

VI.6.1.- DESCRIPCION.

El tunel de conducción a baja presión, incluye el tramo desde la obra de toma, hasta el pozo de oscilación; tiene una longitud de 5,920 m.(ver figura 19.-).

VI.6.- SECUENCIA LITOLÓGICA.

En base a la información obtenida por los sondeos C-1, C-2, C-3 C-4 y tres socavones, se interpretó una sección geológica a lo largo del tunel de conducción de baja presión. A continuación se presentan las unidades atravesadas.

Tramo Km. 0+000-0+920.- Brecha riolítica lacustre alterada.

Tramo Km. 0+920-2+270.- Brecha riolítica lacustre compacta.

Tramo Km. 2+270-5+920.- Riolita compacta, fracturada, con alteración a diferentes profundidades que hacen a la roca porosa disgregable.

En ninguno de los sondeos efectuados, se encontró el nivel freático y durante la perforación en riolita de los sondeos C-3 y C-4, jamás se recuperó agua.

El socavón SC-1 que está en el cadenamamiento 1+1000 corta

exclusivamente a las brechas riolíticas lacustres. Durante el periodo de lluvias no se observaron filtraciones, permaneciendo el socavón seco hasta la fecha y sin derrumbes.

El socavón SC-2 cercano al sondeo C-4 fué excavado en riolita de buena calidad. La riolita que se observa en el socavón SC-2 es muy dura y con abundantes fracturas algunas de estas fracturas tienen aberturas por donde se podría filtrar el agua. La gran mayoría presenta arcilla muy plástica como relleno.

VI.7.- POZO DE OSCILACION.

VI.7.1.- DESCRIPCION.

Con la geología superficial se determinó que el pozo de oscilación quedaría ubicado sobre basaltos y riolitas. Posteriormente a este estudio, se perforaron los sondeos R-1 y R-2 uno en el centro del futuro pozo y otro a 30 m. de distancia del primero, en dirección al vaso. Con estas perforaciones, se observó que esta estructura estaría localizada sobre 18 m. de basalto y 185 m. de riolita. Dentro del basalto existen tobas basálticas interstratificadas porosas y semicompactas (ver figura 20.-).

VI.7.2.- SECUENCIA LITOLOGICA.

Lo importante del detalle geológico obtenido en el subsuelo, es que la cámara de expansión superior del pozo de oscilación quedará en su totalidad entre basalto y toba andesítica, mientras que el área de la chimenea quedará sobre riolita, menos la parte superior. La cámara de expansión inferior, y el tunel de conducción también quedarán en riolita.

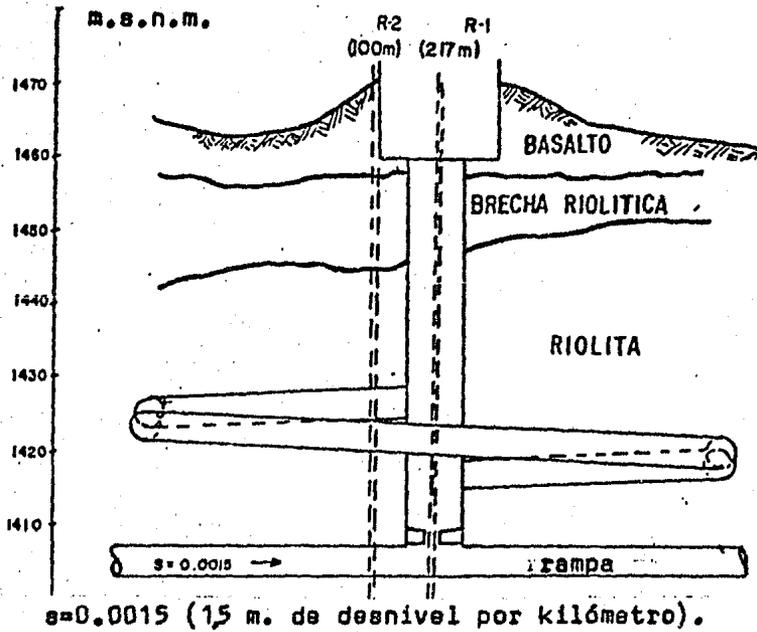


Figura 20.- Corte longitudinal del pozo de oscilación por el eje de la tubería a casa de máquinas, alternativa Agua Prieta del P.H. Picos de Guadalajara, Jal.

El nivel freático se encontró a los 206 m. de profundidad (1,266 m.s.n.m.).

V I.8.- TUBERIA DE ALTA PRESION.

V I.8.1.- DESCRIPCION.

La porción del tunel que estará sujeta a una conducción de agua a alta presión se estudió en un área, y se proponen tres alternativas. La primera consistía en dos tuberías a presión inclinadas sobre el perfil natural del terreno y con una longitud de 800 m.. La segunda sería la de una tubería en un tiro inclinado de 740 m. de longitud. Y la tercera consistiría en un tiro vertical de 470 m. de longitud (ver figura 21).

V I.8.2.- SECUENCIA LITOLOGICA.

La geología reporta en el área donde quedará alojada la tubería de alta presión los siguientes tipos de rocas: en la base hay andesitas basálticas cubiertas por una terraza aluvial e ignimbrita riolítica en las proximidades del río. Esta ladera presenta depósitos de talud con fragmentos riolíticos-parcialmente aglutinados. El espesor de estos depósitos es variable, ya que según los sondeos R-3 y R-4 cortaron en promedio 18 m.; en cambio el socavón SR-1 se excavaron 45 m. de depósito de talud y en el socavón SR-2 se encontró evidencias de un paleocanal hasta 113 m. de profundidad.

Entre las elevaciones 1,266 y 1272 aflora una toba riolítica lacustre con abundancia de pumicita y caolín. Sobre yaciendo a esta roca, se presenta la riolita que forma un escarpe de 185 m. de altura. (ver figura 22.-)

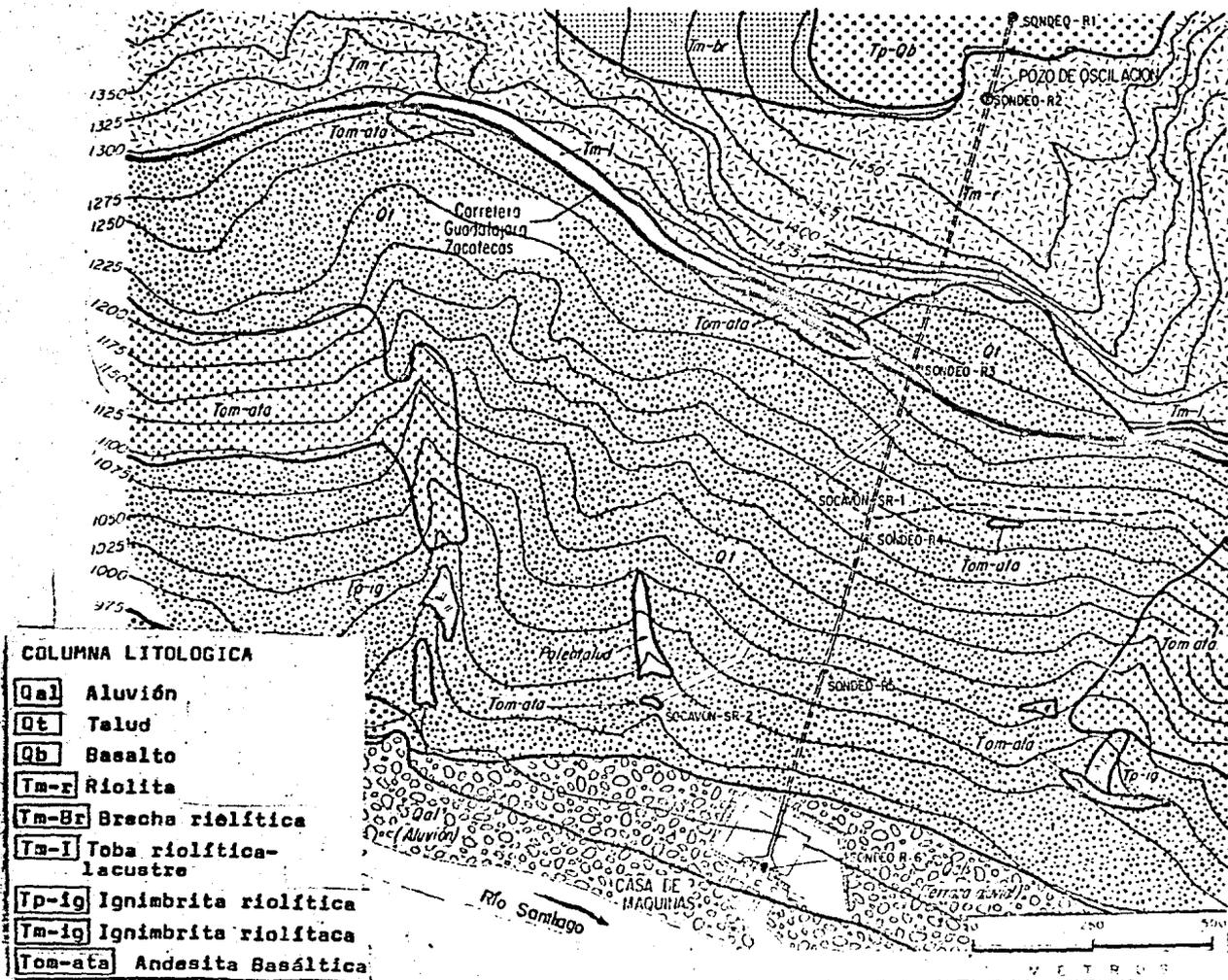


Figura-22 -Mapa geológico de detalle de la rampa Agua Prieta

Las condiciones topográficas y estructurales que presenta la riolita, así como la cubierta gruesa de depósitos de talud que cubre a las andesitas basálticas, nos permitió recomendar que se deseché la primera alternativa donde se sugería la tubería a presión superficialmente. Por otro lado la existencia de una zona gruesa de andesita interperizada y comprobada por el socavón SR-1 así como por el paleocanal encontrado por el socavón SR-2, descarta la segunda alternativa, la de una tubería en un tiro inclinado y por lo tanto, la tercera, que consiste en la de un tiro vertical, será la más adecuada.

V I.8.3.- ESTABILIDAD DE LA LADERA.

En la zona de estudio y sobre el Río Santiago, la ladera de la margen izquierda, tiene un desnivel de 500 m. que se ha formado por la erosión del río. En el área hay un cambio de pendiente en la parte superior debido a las riolitas, las andesitas y una brecha riolítica lacustre en contacto entre sí.

El diaclasamiento vertical controla la pendiente de la ladera; pero se observa el escarpe riolítico estable.

En la zona de la rampa las andesitas están cubiertas por depósitos de talud. Los sondeos R-3 y R-4 han permitido determinar la calidad de roca al nivel del diseño de tiro inclinado. Los socavones SR-1 y SR-2 fueron excavados en andesita, y en este sitio se observó a la andesita propilizada.

V I.9.- CASA DE MAQUINAS.

V I.9.1.- DESCRIPCION.

En el área correspondiente a casa de máquinas, se locali

za en la margen izquierda del Rfo Santiago. Las alternativas estudiadas fueron dos; una exterior y otra subterránea.

V I.9.2.- SECUENCIA LITOLÓGICA.

La primera alternativa diseñada para funcionar con tubería a presión inclinada (exterior o subterránea) quedaría desplantada en la ignimbrita riolítica. En este sitio se perforó el sondeo R-6 donde se pudo observar que la roca tenía una calidad regular.

La casa de máquinas subterránea sería excavada en andesita. El maciso rocoso a esta profundidad no se conoce; pero en superficie se observa de calidad regular y que inclusive a profundidad, las características físicas mejoren.

V I.10.- ALGUNAS CONSIDERACIONES GEOTECNICAS RELEVANTES.

En la TABLA III se proporcionan los R.Q.D. y la recuperación promedio de cada barrenos, pero hay que tomar en cuenta las siguientes observaciones realizadas en campo al momento de la descripción de los barrenos:

- 1) En el suelo el R.Q.D. siempre es cero y la recuperación nunca llega al 10 %, observándose un espesor que oscila entre 0 y 6 m.
- 2) El R.Q.D. y la recuperación es menor en el contacto del basalto subyaciendo a la toba que cuando la toba subyace al basalto.
- 3) El R.Q.D. disminuye en las porciones de basalto con textura amigdaloidal que se presenta hacia la cima de los derrames, y donde está argilizado y pirometamorfizado; así como en la

SONDEO	TRAMO m.	Rec%	RQD%	Descripción litológica.
C-1	0.- 3.	10	0	Suelo vegetal.
	3.- 60.	75	50	Basalto.
	60.- 70.	80	82	Ignimbrita riolítica.
	70.-100.	5	0	fanglomerada.
C-2	0.- 3.	0	0	Suelo vegetal.
	3.- 76.	40	0	Basalto.
	71.- 83.	57	47	riolita.
	83.-120.	6	0	riolita.
C-3	0.-14.	65	42	riolita.
C-4	0.- 91.	65	31	riolita.
R-1	0.- 12.	60	10	Basalto.
	12.- 20.	25	10	Brecha riolítica lacustre.
	20.- 61.	63	6	riolita.
	61.-203.	91	59	riolita.
	203.-207.	90	40	Toba pumicítica.
	207.-222.	90	45	Basalto.
R-2	0.- 16.	41	10	Basalto.
	16.- 23.	9	3	Brecha riolítica lacustre.
	23.- 47.	40	20	riolita.
	47.-102.	85	55	riolita.
R-3	0.- 38.	42	1	riolita.
	38.-110.	90	50	riolita.
R-4	0.- 25.	30	0	Basalto.
	25.-100.	97	43	Basalto.
R-5	0.- 14.	27	0	Depósito de lalud y Toba Pumicítica.
	14.-120.	90	42	Basalto y Ignimbrita riolítica.
R-6	0.- 20.	0	0	Aluvión.
	20.- 25.	0	0	Basalto.
	25.-116.	85	36	Ignimbrita riolítica.
	116.-132.	0	0	Basalto.

TABLA III.- Porcentaje de R.Q.D. y recuperación en barrenos -
realizados de la obra de toma de la boquilla Agua -
Prieta a la casa de máquinas.

riolita cuando esta presenta alteraciones tales como caolinitización y sericitación.

4) La riolita no sigue un patrón preestablecido de comportamiento, ya que podemos obtener tramos de 100 % de recuperación y R.Q.D., en contraste con otros que llegan a ser cero.- Este comportamiento también se observa en los basaltos.

CAPITULO VII
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII.1.- CONCLUSIONES GENERALES.

1.- En las proximidades de la Ciudad de Guadalajara, se tiene una caída del orden de los 500 m., que en la actualidad no se aprovechan.

2.- Se dispone en este momento de un caudal de $8 \text{ m}^3/\text{seg.}$ que se incrementará a $11 \text{ m}^3/\text{seg.}$ en 1985 y a $20.4 \text{ m}^3/\text{seg}$ en el año 2005, de acuerdo al crecimiento esperado.

3.- La Zona Metropolitana de Guadalajara constituye el segundo núcleo urbano de la República Mexicana y requiere de esa cantidad de energía para no tener problemas en las horas de máxima demanda.

4.- No se presentan inconvenientes desde el punto de vista ecológico, ya que el impacto ambiental producido por estas obras es local y no se refleja en la zona urbana de la Ciudad de Guadalajara.

5.- La construcción de estas obras es factible desde el punto de vista técnico, económico, social y político.

6.- La construcción del sistema requiere de 4 a 5 años, por lo que es muy conveniente continuar con los estudios que se están llevando a cabo.

7.- El costo del petróleo es cada día mayor, por lo que hay que emplear al máximo los recursos hidráulicos del país.

VII.2.- CONCLUSIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS.

Las condiciones geológicas están determinadas por varios tipos de roca; riolita y andesita basáltica en la margen derecha así como andesita basáltica, toba riolítica y basalto en la margen izquierda. Estas rocas están cubiertas por depósitos de talud, aluvión y suelo residual.

El cierre del vaso se puede lograr ya que la roca base en esta área es compacta y de tipo riolítico, con fracturas por donde se puede tener filtraciones; sin embargo, las fracturas tienen espesores gruesos con rellenos arcillosos que son impermeables.

En la margen izquierda las áreas potencialmente inestables corresponden a depósitos de talud que se localizan desde la cortina hasta 100 m. aguas arriba de la obra de toma.

En los barrenos AN-1 y AN-2, localizados en el eje de la boquilla, se detectó un acuífero, el cual se observó por el artesianismo que se presenta. Este se encuentra confinado en la parte inferior por la riolita y en la superior por una limolita; y por lo que nos damos una idea de la impermeabilidad de ambas unidades litológicas.

La toba y limolita que subyacen a la andesita, a lo largo del eje de la boquilla, no están muy compactas; presentan una resistencia mínima, pudiendo disgregarse manualmente al estar en contacto con el aire, principalmente la limolita.

La tabla II presenta un resumen de las condiciones geológicas y geotécnicas del túnel de gravedad.

TABLA II' .- Cuadro resumen de las condiciones geológicas y geotécnicas de la conducción a gravedad Ex-prosa Hedionda al Vaso Agua Prieta.

TRAMO	SONDEO	MATERIAL DECAVADO	MATERIAL ADYACENTE	MAXIMO ESPESOR TELA (cm)	MATERIAL DE TECHO	TIPO DE EXCAV. VOLADURA MECANICA	RQD %	REC. %	OBSERVACIONES
0+000-01450		BASALTO	REGOLITA ARENA PUMICTICA	1	REGOLITA	X			Conducción en sección de herradura.
0+450-3+900		ARENA PUMICTICA	ARENA PUMICTICA			X			
0+900-1+325		BASALTO	BASALTO	6		X			
1+325-1+590	G-1	BASALTO	BASALTO	5	BASALTO Y SUELO	X	40	0	Es necesario una obra de desvío para el crayo Atemajac.
	G-2	BASALTO	REGOLITA Y ARENA PUMICTICA			X	38	95	
	G-3	BASALTO	BASALTO	6.5	0-3.5 3.5-5 5-12.5	X X X	40	85	Arena pumictica, ignimbria, arcilla, regolita, ignimbria, arcilla.
	G-4	BASALTO	BASALTO	12.5	0-3 3-9 9-12.5	X X X	40	94	
	G-5	BASALTO	BASALTO Y AROLLA	11.5	0-5 5-11.5	X X	50	78	Arena pumictica, arcilla, regolita, basalto
	G-7	BASALTO	BASALTO	5	0-2 2-5	X X	60	90	
2+625-4+100	G-8	ARENA PUMICTICA	ARENA PUMICTICA	0	S/T	X	70	96	
	G-9	BASALTO	ARENA PUMICTICA	4	ARENA PUMICTICA	X	75	95	
	G-10	ARCILLA	ARCILLA	5	ARENA PUMICTICA	X	42	93	Efectuar corte y relleno en la arcilla para apoyar la obra en el basalto.
	G-11	ARENA PUMICTICA	ARENA PUMICTICA	0	S/T	X	47	92	Efectuar corte y relleno en la arcilla para apoyar la obra en el basalto.
	G-12	BASALTO	BASALTO INTEMPERIZADO	5	ARENA PUMICTICA	X X	57	90	
	G-13	BASALTO	ARENA PUMICTICA		S/T	X	70	90	Seg necesario construir un sifón o un puente para atravesar el afluente de Arroyo Honda.
4+100-4+900	G-14	BASALTO	BASALTO			X	10	90	Es necesario construir un sifón y un puente para atravesar el afluente del Arroyo Honda.
4+900-5+050		BASALTO	BASALTO	4	SUELO	X			
5+050-5+300		RIOLITA SILICIFICADA	RIOLITA SILICIFICADA			X			Es necesario construir un sifón o un puente para atravesar el arroyo Honda.
5+300-5+500		RIOLITA SILICIFICADA	RIOLITA SILICIFICADA	40	RIOLITA	X			Se recomienda el tipo de voladura perimetral.
5+500-6+000	G-16	RIOLITA VITREA	RIOLITA VITREA	80	RIOLITA SILIC. RIOLITA VITREA		50	70	Se recomienda el método de voladura tipo pre-corte.
6+000-9+000	G-17	RIOLITA FLUIDAL SILICIFICADA	RIOLITA SILICIFICADA	90	RIOLITA FLUIDAL SILICIFICADA				Se recomienda tipo de voladura perimetral en el tr. 0+500 presenta un techo de 5 m (A Sn Huelo).
	G-18	RIOLITA FLUIDAL SILICIFICADA	RIOLITA SILICIFICADA	47	RIOLITA FLUIDAL SILICIFICADA		47	71	Se recomienda tipo de voladura perimetral en el km. 0+500 presenta un techo de 5 m (A Sn Huelo).
9+00-10+500	G-19	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	40	0-25 BASALTO 25-40 BRECHA	X	0	20	Voladura perimetral.
	G-20A	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	35	BRECHA RIOLITICA CADA 0-25 Y ROLI.	X	36	57	Voladura perimetral.
	G-20	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	BRECHA RIOLITICA ARGILITIZADA	73			57	83	En el tramo 9+680 - 9+880 se necesita sifón o puente para atravesar el arroyo.
10+500-10+800		TOBA ANDESITICA	TOBA ANDESITICA	VRB DE 0 a 90	BRECHA RIOLITICA TOBA ANDESITICA	X			Se recomienda el método de voladuras de precorte.
10+800-11+260	G-21	BRECHA LACUPITRE ARGILITIZADA		53			75	80	Se recomienda túnel mecánico con cascado.
11+260-DESCARGA		RIOLITA PORFIRITICA	RIOLITA PORFIRITICA	193	RIOLITA PORFIRITICA				Se recomienda voladura perimetral con cascado de no quemar.

En ambas márgenes se tiene andesita de resistencia y -- elasticidad apropiada para soportar los esfuerzos a los que -- se verá sometida al desplantar la cortina, sin embargo, será -- necesario poner especial atención, a los depósitos de talud, -- toba riolítica y limolita, que subyacen a la andesita en am -- bas márgenes, y la compresibilidad de estos materiales dismi -- nuye considerablemente en comparación con la andesita.

Las excavaciones requeridas para remover los depósitos -- de talud y roca alterada en el área de la boquilla donde que -- dará desplantado el corazón de arcilla impermeable, varía de -- 6 a 20 m. de profundidad. Estas serán más profundas en la mar -- gen derecha que en la margen izquierda debido al promontorio -- de depósito de talud que posee este sitio.

El volumen necesario de arcilla para el corazón imper -- meable de la cortina, está probado en los bancos explorados -- sin embargo es conveniente corroborar la extensión del manto -- del banco No.-2 ya que parece ser la alternancia más favora -- ble. Se ha estimado un volumen de 295,000 m³. para este ban -- co. En el caso del banco No.-3 en la que se visualizó utili -- zar el banco como pedrera, se concluye que todo el manto de -- arcilla es demasiado delgado para ser utilizado y que la capa -- subyacente de basalto con un espesor de 4 a 12 m. se encuen -- tra alterada y fracturada y no conviene su extracción.

En resumen, se concluye que no se cuenta con suficientes -- arenas y gravas para ser utilizados como filtros y zonas de -- transición, por lo que, será necesario estudiar el banco No.1 -- con más detalle.

A lo largo del trazo del tunel a baja presión, los ma -- teriales por excavar son permeables, (brecha riolítica) y la -- presencia de materiales arcillosos de relleno en fracturas -- con espesores considerables (en riolitas) son las razones geo --

técnicas más importantes referentes a una conducción por túnel.

El nivel freático está por debajo del túnel de baja presión, ya que los sondeos perforados a lo largo del eje de este sistema, no penetró ningún acuífero.

La permeabilidad de la brecha riolítica es alta y se debe considerar como un comportamiento general de esta roca.

La permeabilidad en la riolita es secundaria, y que las filtraciones ocurrirán a través de ciertas fracturas.

El túnel en la porción en donde se cortará la brecha riolítica, puede que se requiera un escudo; pero el método convencional de voladuras y de ademe inmediato a medida que se avanza, proporciona suficiente seguridad.

El túnel en la zona de las riolitas no presenta mayores problemas, ya que la roca es bastante competente.

Puesto que el nivel freático está por debajo del piso del túnel, no es factible pensar en flujos de agua durante la construcción de este.

En el pozo de oscilación, la cámara de expansión superior será excavada en basalto fracturado.

El tramo superior del pozo de oscilación será excavado en brecha riolítica; este tramo es considerado como problemático, ya que, la masa de roca es deleznable y permeable.

VII.3.- RECOMENDACIONES GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS

Se recomienda realizar en los depósitos de talud, localizados 100 m. aguas arriba de la boquilla, análisis de mecánica de suelos tales como:

- a) Límites de atterberg.
- b) Compresión simple.
- c) Resistencia al esfuerzo cortante en pruebas triaxiales bajo diferentes condiciones de carga.

Estos estudios deberán de realizarse con un grado de saturación del 100 %.

La toba y la limolita que subyacen a la andesita, y que se encuentra a lo largo del eje de la boquilla, son rocas a las que hay que tratar mediante una pantalla de inyecciones para que de esta forma se logre la impermeabilización.

A lo largo del tunel, sobre todo en la zona de las riolitas, y a partir del análisis de fracturas, se anticipa el uso de anclas que servirán para sujetar algunos pequeños bloques de roca que están delimitados por las fracturas.

En el pozo de oscilación el piso de la cámara de expansión estará a escasos 3 m. del contacto con la brecha riolítica, por lo que se recomienda tratar el área de desplante, así como, de anclar las paredes verticales de la cámara y de esta forma sujetar las columnas o bloques de basalto. El resto del pozo y la cámara de expansión inferior deberán sujetarse por medio de anclas ya que algunos bloques están delimitados por los diferentes sistemas de fracturas.

En la tubería de alta presión, la excavación del tiro - inclinado no representa mayor problema, si se ejecuta con una contrapocera. Las masas de rocas por excavar son de buena calidad para soportar este método de excavación. Posterior a esta, el soporte o refuerzo de el tunel o tiro inclinado que alojará la tubería de alta presión deberá ser mejorado con anclas o inyectado. Esta recomendación se justifica en la riolita para evitar presiones externas a travez de las fracturas con gruesos rellenos arcillosos. A la elevación 1.270 se cortará la toba riolítica lacustre.

La cimentación de la casa de máquinas exterior, requerirá de la remoción de la roca de mala calidad, y que se ha observado en la superficie, y de esta forma garantizar un buen-desplante en ignimbrita riolítica.

BIBLIOGRAFIA

- Alvarez Jr. M. (1961) "Provincias Fisiográficas de la República Mexicana" Bol. Soc. Geol. Mex., 24 (2), 20 p.
- Cepeda Dávila L. (1981) "Estudio petrográfico de muestras -- provenientes del P.H. Picos de Guadalajara, Jal." Laboratorio de Geología, B.M.P., C.F.E., informe inédito, - julio de 1981.
- Demant A., Mauvois R. y Silva, (1976) "El Eje Neovolcánico - Transmexicano" III Congreso Latinoamericano de Geología, Excursión 4, México 198 p.
- Electroconsult (1980) "Planta Hidroeléctrica Picos de Guadalajara" Informe de anteproyecto para C.F.E., E.L.C. Milano, Italia, México, D.F., 71 p.
- Estudios del Noroeste (1979) "Informe geológico del estudio - realizado en el P.H. Agua Milpa (Alternativa 4 y 6) El - Sordo, Río Santiago Nayarit" e informe inédito, C.F.E., - Aguamilpa Nayarit.
- Goodman, R. E., (1980) "Introduction to Rock Mechanics", - edit. John Wiley and Sons.
- Juarez Badillo E.-Rico Zepeda (1982) "Mecánica de Suelos" - tercera edición, Tomo I editorial Limusa.
- Nieto, A. S. y Hendron, A.J. (1981-a) "Report on Agua Prieta- squeme, P.H. Picos de Guadalajara, Jal." Consulting - report to C.F.E., enero 18-24, (1981), 6 p.

C. Proyectos Intal, S. A. (1979) "Estudios de factibilidad y anteproyectos de las obras para el aprovechamiento hidroeléctrico que utilizará la descarga de las aguas negras del área metropolitana de la Ciudad de Guadalajara, Jal.", Informe inédito para C.F.E.

Ruiz Ojeda R. (1979) "Mapa geológico regional para la investigación geotérmica de la Primavera Jal." Inédito. Información privada, oficina de exploraciones geotérmicas, - C.F.E., enero 1979.

S.A.R.H. (1981) "Resultados de análisis granulométricos y Límites de Atterberg de los bancos de arcilla para la alternativa Agua Prieta". Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Informe inédito, junio 1981.

Ragan D. M. (1980) "Geología Estructural" Introducción a las técnicas geométricas. Editorial Omega, S. A. Traducido al español por; Moneserat Domingo Demró en el año de 1980.

Soto Gutierrez M. A., Vallarino Gusmán J. y Vera Roveló O. - (1979) "Estudio geológico preliminar del Proyecto Picos de Guadalajara" B.M.P., C.F.E. Informe inédito julio 1979, 2 figuras, 30 mapas 17 p.

Soto Gutierrez, M. A., Vera Roveló O. y Rojas García M. -- (1980) "Alternativa Agua Prieta del Proyecto Hidroeléctrico Picos de Guadalajara". B.M.P., C.F.E. Informe inédito, noviembre de 1980, 55 p.

ANEXOS

PLANOS GEOLOGICOS Y GEOTECNICOS.

PAG.

Figura 1.-	Hoja de localización del P.H. Picos de Guadalajara, Jalisco y sondeos y socavones realizados.	3
Figura 2.-	Localización geográfica del P.H. Picos de Guadalajara Edo. de Jalisco.	5
Figura 3.-	Mapa geológico del P.H. Picos de Guadalajara.	5
Figura 4.-	Provincias fisiográficas de la República Mexicana.	9
Figura 5.-	Columna litológica del P.H. Picos de Guadalajara.	11
Figura 5-a.-	Las provincias Magmáticas en México.	23
Figura 6.-	Análisis del fracturamiento de los socavones realizados en el P.H. Picos de Guadalajara.	26
Figura 7.-	Diagrama de frecuencias del fracturamiento - del socavón SB-1 localizado 400 m. aguas abajo de la boquilla Agua Prieta sobre la margen derecha.	26
Figura 8.-	Diagrama de frecuencias del fracturamiento - del socavón SB-2 localizado 400 m. aguas abajo de la boquilla Agua Prieta sobre la margen izquierda.	26
Figura 9.-	Diagrama de frecuencias del fracturamiento - del socavón SB-3 localizado 420 m. aguas abajo de la boquilla Agua Prieta sobre la margen izquierda.	26
Figura 10.-	Diagrama de frecuencias del fracturamiento - del socavón SB-4 localizado 425 m. aguas abajo de la boquilla Agua Prieta sobre la margen derecha.	26

	PAG.
Figura 11.- Sección Presa Hedionda al Vaso Agua Prieta.	31
Figura 12.- Geología superficial de tanques de sedimentación del Vaso Agua Prieta.	36
Figura 13.- Mapa geológico del vaso de almacenamiento - Agua Prieta.	36
Figura 14.- Sección geológica de la boquilla Agua Prieta	39
Figura 15.- Plano de localización de los sondeos con pruebas de permeabilidad en el eje de la boquilla del Proyecto Hidroeléctrico Agua Prieta.	41
Figura 16.- Gráfica de gasto en pruebas de permeabilidad- (Lugeón) en la boquilla.	41
Figura 17.- Interpretación de la permeabilidad (pruebas - tipo Lugeón) en la boquilla.	41
Figura 18.- Localización de los bancos de materiales para la alternativa de Agua Prieta del P.H. Picos de Guadalajara, Jalisco.	43
Figura 19.- Conducción tunel a baja presión entre la Presa Agua Prieta y el pozo de oscilación.	45
Figura 20.- Corte longitudinal del pozo de oscilación por el eje de la tubería a casa de máquinas, alternativa Agua Prieta del P.H. Picos de Guadalajara, Jalisco.	46
Figura 21.- Sección Geológica, conducción a alta presión-rampa.	47
Figura 22.- Mapa geológico de detalle de la Rampa Agua - Prieta.	47
Tabla I.- Resultado de los análisis hechos en las muestras colectadas en los bancos de arcilla, próximos al poblado de Copala, alternativa de - Agua Prieta, P.H. Picos de Guadalajara.	43
Tabla II.- Cuadro resumen de las condiciones geológicas- y geotécnicas de la conducción a gravedad Expresa Hedionda al Vaso Agua Prieta.	53

	PAG.
Tabla III.- Porcentaje de RQD y recuperación en barrenos realizados de la obra de toma de la boquilla Agua Prieta a la casa de máquinas	49
Plano I.- Geología superficial Vaso Agua Prieta-Rampa	15