



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESTUDIOS GEOLÓGICOS RECIENTES  
EN LA REGIÓN DE LA VILLITA,  
MICHOACÁN**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERA GEÓLOGA**

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

**OLALDE GUTIÉRREZ JULIA ANGÉLICA**

**DIRECTOR:**

**ING. LUIS ARTURO TAPIA CRESPO**



**CIUDAD UNIVERSITARIA, MEXICO D.F. ABRIL 2010**

## AGRADECIMIENTOS

A los Ings. Juan Sánchez Pérez, Luis Arturo Tapia Crespo y Miguel Ángel Ruvalcaba Sepúlveda, por guiarme en la realización de esta tesis, como en la vida estudiantil, personal y profesional.

Al Ing. Jorge Navarro, Jefe del Departamento de Geología de la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de Comisión Federal de Electricidad, por las facilidades proporcionadas para esta Tesis. Y a los Ings. Silvano Ruiz, Pablo Barriga y Zacarías Salgado, por su apoyo y experiencia en la realización de esta tesis.

A mis maestros: Juan Carlos Cruz Ocampo, Germán Arriaga, Baldomero Carrasco, Fernando Rosique, Rolando De la Llata, Gilberto Silva, Claudia Mendoza, Emiliano Campos, José Luis Arcos, Héctor Macías, JJ Medina, Ma. De La Paz Hernández, Segovia, Eli Israel, Martín Vidal, René Chávez, Oscar Figueroa, Rosa de Lima, Norma Miriam, Soberanis, por la enseñanza en la Práctica y en la Teoría.

A mis amig@s y compañer@s, por echarme porras: "Las Calizas" (Claudia Berenice, Mayra y Mariam Elisa), Gaby Griselda, Oscar, Ivonne, Lety, Rojito, Gerardo, Anita, Geovanni, Efraín, David, Juanito, Lola, Yolis, Caro, Aurora y Jorge, Thalia y Alfonso, Renecito, Manuel Topo, Betillo, Bernal, Mario Islas, Mauricio, Lilia y Armando, Elidee, Lucero Petro-Geóloga, Laura, Alejandro, Crisóforo Minero...

A Slim Santillán, Miguel Ángel Pérez G., Gaby Hernández, Eugenio Meza, Rubén Luna, Ana Cristina, , Robinson, Christopher y Los Mugrosos...

A las Sritas. Tere y Silvia, por su paciencia en los trámites. A Lupita, por el espacio en el Laboratorio.

A Hugo Alejandro, por tu apoyo Incondicional, cariño y paciencia.

A Vero y Yaneli, por ser buenas anfitrionas.

Al P. Enrique Ugalde, sin su apoyo moral no se habría hecho nada.

A la Facultad de Ingeniería, y alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México.

## DEDICATORIA

A Dios, por mi segunda oportunidad y cuidarme.

A mis padres Pablo Olalde T. y Angélica Gutiérrez A.

A mi hermanito Pablo Olalde G.

A mis Abuelas Gudelia Anaya y Catalina Torres (q.e.p.d.).

A mis compañeros “Los Chorros” (Cristian, Josué, Lilian y Héctor) y a los Ings. Leovigildo Cepeda y Benjamín Márquez en donde quiera que estén.

# CONTENIDO

---

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>I.- INTRODUCCIÓN</b>	2
I.1.- Antecedentes	2
I.2.- Localización y Vías de acceso	3
I.3.- Objetivo	3
<b>II.- GEOLOGÍA</b>	5
II.1.- Geología Regional	5
II.1.1.- Fisiografía	5
II.1.2.- Estratigrafía	6
II.1.2.1.- Mesozoico	7
II.1.2.2.- Paleógeno	12
II.1.2.3.- Cuaternario	13
II.1.3.- Geología Histórica	14
II.1.4.- Marco tectónico y sismicidad	15
II.1.4.1.- Marco Tectónico	15
II.1.4.2.- Sismicidad	17
II.2.- Geología Local	20
II.2.1.- Estratigrafía	20
II.2.2.- Geología Estructural	30
II.2.2.1.- Seudoestratificación	30
II.2.2.2.- Fallas	32
II.2.2.3.- Fracturas	35
II.2.2.4.- Diques	36
II.2.3.- Aguas Subterráneas	38
<b>III.- EXPLORACIÓN DIRECTA</b>	39
III.1.- Perforación y piezómetros	39
III.1.1.- Resultados obtenidos de la perforación	40
III.1.2.- Nivel freático	42
III.1.3.- Permeabilidad del macizo rocoso	45
III.2.- Cartografía	48
<b>IV.- EXPLORACIÓN INDIRECTA</b>	50
IV.1.- Geofísica	50
IV.1.1.- Objetivo	50
IV.1.2.- Procesamiento de datos	50
<b>V.- INTEGRACIÓN GEOLÓGICO - GEOFÍSICA</b>	51
<b>VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	53
<b>VII.- BIBLIOGRAFÍA</b>	55
<b>ANEXOS</b>	

# CONTENIDO

---

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura I.1</b>	Localización del área de estudio para la Ampliación de la C. H. La Villita, Mich.	3
<b>Figura I.2</b>	Fotografía satelital donde se observa la localización del área de estudio Geológico en la Región de la Presa La Villita, Michoacán.	4
<b>Figura II.1</b>	Ubicación de la zona de estudio dentro de la Provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur y sus Subprovincias (modificada de Raisz, 1959).	6
<b>Figura II.2</b>	Geología regional en los alrededores de la C. H. La Villita, Michoacán, (Tomada Barrios <i>et al</i> 2002).	8
<b>Figura II.3</b>	Columna Estratigráfica Regional (Modificada Barrios, 2002).	10
<b>Figura II.4</b>	Marco Tectónico Regional para La Villita, Mich.	15
<b>Figura II.5</b>	Zonas de ruptura de los sismos más importantes ocurridos en la zona de subducción (Modificada de Suárez, <i>et al.</i> 1990).	13
<b>Figura II.6</b>	Bandas de sismicidad en la costa, cercanas a Petatlán, Gro. (Araujo, 1991).	17
<b>Figura II.7</b>	Sismos registrados históricamente (1900 - 1989), en torno a la C.H. La Villita, Mich. (M 5.0)	18
<b>Figura II.8</b>	Mapa de intensidades de temblores importantes ocurridos en México, entre 1845 y 1995, la mayoría con magnitud superior a 7.	19
<b>Figura II.9</b>	Localización de las principales áreas sísmicas localizadas a lo largo de la costa del Pacífico de México, de los sismos profundos y corticales intra-placa.	19
<b>Figura II.10</b>	Localización de los epicentros de magnitud mayor a 5 en la escala de Richter en los últimos 100 años.	20
<b>Figura II.11</b>	Plano Geológico de la zona de Estudio.	21
<b>Figura II.12</b>	Columna estratigráfica observada en los alrededores de La Villita, Mich. (Samaniego <i>et al.</i> 1995; modificada por Olalde <i>et al.</i> , 2009).	22
<b>Figura II.13</b>	Estereograma que muestra la dirección y buzamiento preferencial de la seudoestratificación de la secuencia volcanosedimentaria en la zona de La Villita, Mich.	32
<b>Figura II.14</b>	Sistemas principales de fallas y fracturas presentes en las rocas de la secuencia volcanosedimentaria en la zona de La Villita, Mich.	33
<b>Figura II.15</b>	Geología regional con las principales fallas en los alrededores de la Presa José Ma. Morelos y Pavón, La Villita, Michoacán. Modificada de Barrios <i>et al.</i> (2002).	34
<b>Figura II.16</b>	Estereograma que muestra el sistema Sis1 de fallas-fracturas, donde se emplazaron los diques de diorita.	38
<b>Figura II.17</b>	Sección esquemática perpendicular al eje longitudinal de la obra, con la representación de cuñas que se formaran durante las excavaciones.	39
<b>Figura II.18</b>	Flujo de agua en la zona de interés.	40
<b>Figura III.1</b>	Niveles freáticos registrados en el mes de Abril 2009	44
<b>Figura III.2</b>	Niveles freáticos registrados en el mes de Agosto 2009	45

# CONTENIDO

---

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla II.1</b>	Sismos registrados durante el periodo de 2008-2009. SSN	18
<b>Tabla II.2</b>	Principales sistemas estructurales en la zona de Estudio.	30
<b>Tabla III.1</b>	Relación de los barrenos perforados en el área para la Ampliación.	41
<b>Tabla III.2</b>	Niveles Freáticos obtenidos de Noviembre del 2008 a Agosto del 2009.	45
<b>Tabla III.3a</b>	Litología, calidad de la roca y permeabilidad obtenida en los Barrenos probados.	49
<b>Tabla III.3b</b>	Litología, calidad de la roca y permeabilidad obtenida en los Barrenos probados.	50
<b>Tabla III.4</b>	Tabla de ubicación y descripción de los pozos realizados en la zona de estudio.	52
<b>Tabla V.1</b>	Correlación Geológica –Geofísica y características geomecánicas de las unidades.	56

# CONTENIDO

---

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía II.1</b>	Depósitos volcano-sedimentarios inclinados y muy fracturados. Afloran extensamente desde la zona de la C. H. El Infiernillo, hasta la costa del Océano Pacífico.	9
<b>Fotografía II.2</b>	Afloramiento de las brechas andesíticas masivas, con abundante fracturamiento y fallamiento, ubicadas a ambos lados de la C.H. J. Ma. Morelos y Pavón en La Villita, Mich.	9
<b>Fotografía II.3</b>	Afloramiento del cuerpo intrusivo de diorita, ubicado aguas debajo del vertedor de la C.H. José Ma. Morelos y Pavón, La Villita, Mich.	13
<b>Fotografía II.4</b>	Depósitos aluviales, destaca el conglomerado polimíctico. Se localiza en la Carretera Federal 200, entre los poblados Guacamayas-La Villita, Mich.	14
<b>Fotografía II.5</b>	Derrames y brechas tobáceas andesíticas de estructura masiva, con fracturamiento intenso.	22
<b>Fotografía II.6</b>	Detalle de la brecha tobacea andesítica con sus fragmentos de roca y algunas vesículas rellenas por minerales metálicos.	23
<b>Fotografía II.7</b>	Detalle de la brecha tobacea andesítica, con líticos de color mas oscuro y tamaño promedio de 1 cm de lado, así como vesículas rellenas de mineralización de hierro (especularita) y epidota.	23
<b>Fotografía II.8</b>	Andesitas porfídicas, masivas y fracturadas, de color gris oscuro con tonos verdes y morados cuando están sanas; intemperizadas, tienen color gris claro con matices azules, blancos y pardos.	24
<b>Fotografía II.9</b>	Secuencia volcanosedimentaria de tobas andesíticas-dacíticas, con una estratificación bien definida y con espesores no mayores de 30 cm. Afloramientos ubicado aguas abajo en zona de Vertedores.	24
<b>Fotografía II.10</b>	Detalle de la secuencia volcanosedimentaria de tobas piroclásticas, que muestra vesículas paralelas a la estratificación y rellenas de epidota de coloración amarillo-verdosa.	25
<b>Fotografía II.11</b>	Detalle de las rocas dioríticas que muestran intemperismo esferoidal y un fracturamiento moderado. Afloramiento ubicado aguas abajo del Vertedor de demasías.	26
<b>Fotografía II.12</b>	Bloques caídos del afloramiento de dioritas de hornblenda muy fracturadas, en la carretera Petacalco, Gro.-Lázaro Cárdenas, Mich. a un costado del poblado La Villita, Mich. margen derecha del río Balsas, cerca de la Zona del Vertedor.	26
<b>Fotografía II.13</b>	Afloramiento de un dique de diorita, ubicado al norte del Bno. B-3, en el extremo SW del proyecto.	27
<b>Fotografía II.14</b>	Conglomerado polimíctico, con una ligera estratificación horizontal y con bloques de hasta 30 cm. De largo. Corte de la carretera que comunica los poblados de La Villita y Guacamayas, Mich.	28
<b>Fotografía II.15</b>	Muestra de un depósito reciente, compuesto por materiales de origen aluvial y rezaga; están revueltos y acumulados en diferentes proporciones.	29
<b>Fotografía II.16</b>	Detalle de la seudoestratificación masiva (líneas negras) en las rocas brechoides de la secuencias volcanosedimentaria y el sistemas de fallamiento Sis2 (líneas rojas).	31

## CONTENIDO

---

<b>Fotografía II.17</b>	Panorámica de la margen izquierda en la salida del Vertedor; muestra la seudoestratificación delgada, bien definida (líneas rojas). Como escala de referencia se tiene el Poste para cableado eléctrico, localizado en el ovalo con línea color negro que mide 8 m de altura, cerca del camino de acceso.	32
<b>Fotografía II.18</b>	Detalle de un plano de falla con estrías inclinadas que indican un movimiento con componente lateral (líneas negras).	34
<b>Fotografía II.19</b>	Detalle de una muestra de núcleo del Bno. S8 (perforado verticalmente), que contiene un plano de falla con estrías inclinadas que indican un movimiento con componente lateral (líneas negras).	35
<b>Fotografía II.20</b>	Panorámica de la secuencia volcanosedimentaria tobácea donde se tienen fallas paralelas a la seudoestratificación (movimiento capa-capa), con zonas de cizalla de hasta 10 cm de espesor. Afloramiento ubicado en la margen izquierda de la salida del Vertedor.	35
<b>Fotografía II.21</b>	Detalle de un plano de falla en la superficie de un estrato de la secuencia volcanosedimentaria tobácea, con estrías inclinadas 70° al NE (línea negra), que indican movimiento de falla normal con componente lateral.	36
<b>Fotografía II.22</b>	Muestra los sistemas de fracturamiento preferenciales Sis1 y Sis2 que afectan principalmente a las rocas de la secuencia volcanosedimentaria.	37
<b>Fotografía II.23</b>	Detalle que muestra los dos sistemas de fracturamiento preferentes en el cuerpo intrusivo de diorita.	37
<b>Fotografía II.24</b>	Dique de diorita emplazado en el sistema de fallas-fracturas Sis1 (líneas rojas).	38
<b>Fotografía III.1</b>	Equipo para realizar las pruebas de permeabilidad.	46
<b>Fotografía III.2</b>	Pozo a cielo abierto.	49



# CONTENIDO

---

## RESUMEN

La región estudiada en esta tesis se encuentra en el municipio de Lázaro Cárdenas, Mich. La Presa José María Morelos y Pavón, se localiza en el río Balsas, en el límite de los estados de Michoacán y Guerrero, a 185 kilómetros de Morelia, Mich. y a 95 kilómetros de Zihuatanejo, Guerrero.

Se ubica en la zona de influencia de la subducción de las placas de Cocos y Norteamericana, por lo que continuamente ocurre sismicidad de magnitud moderada a fuerte, entre 5 y 6 grados Richter.

En la región afloran rocas de una secuencia volcanosedimentaria mineralizada (derrames, brechas y tobas andesítica), que fueron afectadas por un intrusivo diorítico; se encuentran cubiertas parcialmente por materiales de relleno como rezaga, suelo residual, depósitos aluviales y de talud. Los derrames y brechas volcánicas están inclinados hacia el SE y tienen una porción pseudoestratificada gruesa a masiva y las tobas presentan una pseudoestratificación delgada. La secuencia tiene alteración hidrotermal ocasionada por el intrusivo diorítico. El principal mineral en la zona estudiada es la especularita pero no alcanzó valores económicos.

Las principales discontinuidades que afectan a las rocas volcanosedimentarias de la zona de interés, son la pseudoestratificación (Sis0) y dos sistemas de fallas normales con componente lateral izquierdo y fracturamiento (Sis1 y Sis2) con direcciones preferenciales: Sis0 = NE67° SW /65°SE; Sis1 = NE 30° SW /46°NW y Sis2 = NW 42 ° SE /60° NE. Las tobas con pseudoestratificación delgada, tienen fallamiento normal con componente lateral capa-capa (paralelo a Sis0). El cuerpo intrusivo está afectado por dos sistemas de fracturas y fallas, el Sis4 = NE 50°-80° SW /75°-80° SE y Sis5 = NW 11° SE /75° SW.

Se analizaron 10 barrenos y se realizaron 39 pruebas de permeabilidad, con las que se determinó una capa permeable semiparalela a la superficie y hasta los 15 de profundidad, de 15 a 35 m de profundidad el terreno es poco permeable a permeable. A profundidades mayores de los 35 m, la roca es poco permeable a impermeable. El nivel freático también se comporta paralelo a la superficie, entre las elevaciones de 50 m en el embalse hasta 5 msnm en la planicie al sur del desfogue, con una pendiente suave y de flujo normal, lo cual indica que el macizo rocoso se comporta de manera uniforme en cuanto a permeabilidad.

Las mediciones del RQD (Designación de calidad de roca, sus siglas en ingles) en los núcleos de los barrenos resultaron en su mayor parte menores al 75 %, este valor corresponde con las velocidades sísmicas menores a 3300 m/s, y 540 a 950  $\Omega$ m de resistividad por lo que se confirmó que los primeros 35 m del macizo rocoso se encuentran fracturados y alterados en la zona de interés.

## CONTENIDO

---

Para conocer el comportamiento del flujo del agua subterránea en el área, se contó con una red piezométrica formada por 15 piezómetros, cuyos brocales están referidos topográficamente al nivel del mar, en cada uno de estas obras se mide en forma mensual la posición del nivel freático. Cuando se realice la excavación para la construcción puede presentar flujo de agua debido a la carga hidráulica producida por el embalse, de manera que los cortes y el túnel podría servir como vías de drenaje y así realizar las obras de drenaje necesarias.

Con la información geológica y geofísica, se estableció una sucesión de capas sub-horizontales y otras inclinadas. La más superficial es la Unidad  $U_1$  y se correlacionó con los materiales de relleno (rezaga, suelo residual, depósitos de talud y aluviales). La  $U_2$  corresponde con la roca superficial descomprimida, muy intemperizada, deleznable y alterada, definida como de Muy Mala calidad. Las unidades  $U_2$  a  $U_6$  se correlacionaron con roca que varía gradualmente de muy fracturada y alterada hasta compacta y dura, con calidad que varía de Muy Mala en la  $U_2$  a Buena calidad para la  $U_6$ , de acuerdo a los valores de RQD.

Las obras de infraestructura como las presas El Infiernillo o José Ma. Morelos y Pavón, así como el Puerto de Altura y las instalaciones industriales localizadas en la región estudiada (cerca de la costa y continente adentro) están en un área tectónicamente activa y se han comportado favorablemente para resistir los eventos sísmicos (con magnitud hasta de 8.1), por lo cual se recomienda continuar realizando obras de infraestructura en la zona. A la par de los estudios técnicos se deberán hacer estudios de Impacto Ambiental y Socioeconómico (como los realizados por la paraestatal **CFE**) para futuros proyectos, con el propósito de darles viabilidad y que, con ello, se contribuya al progreso de la región donde he vivido.

### I. INTRODUCCIÓN

La importancia regional de esta zona es por que se encuentra en el límite de la placa norteamericana y la de cocos, la cual genera una falla geológica sísmicamente activa, como un ejemplo reciente el epicentro del sismo de 1985 se generó en esta zona, dañando un 80% de la infraestructura de vivienda, hospitales, hotelería e industrial solo en la Ciudad de Lázaro Cárdenas, Mich., por tal motivo es de gran relevancia los estudios geológicos en la región para conocer el comportamiento de las estructuras geológicas.

A pesar de ser una zona de importancia minera por la explotación del fierro en la región de La Mira, aun se conoce poco detalle de las variaciones litológicas de los productos volcánicos depositados en la zona y con los estudios realizados se aportan datos importantes para su interpretación.

La información geológica obtenida se aplicó al análisis de algunas posibles obras en el suroeste del estado y en este trabajo se enfatiza el estudio geológico realizado en las inmediaciones de La Villita al sur del estado de Michoacán, en el Río Balsas que es limite geográfico natural con el estado de Guerrero, donde se pretende realizar la construcción de una segunda casa de máquinas para aprovechar el gasto adicional de aproximadamente 400 m<sup>3</sup>/s, durante el periodo de lluvias. Las obras actuales sirven para regar alrededor de 18 000 ha, generación de energía eléctrica (300 MW) para abastecer a los complejos industriales de la zona y la corona de la cortina sirve como vía carretera (Carretera Federal 200). Los trabajos de infraestructura en la zona son importantes para el control de grandes avenidas y su aprovechamiento, ya que protegen a las poblaciones y sembradíos localizados aguas abajo.

#### I.1 ANTECEDENTES

En esta zona se han realizado estudios relacionados con yacimientos de fierro, desde 1905 por Minas de Fierro del Pacifico, después en 1956 por el Instituto Nacional para la Investigación de Recursos Minerales, los del Consejo de Recursos Minerales (Servicio Geológico Mexicano) en 1959 (Álvarez, 1990) y a partir de 1972 por SICARTSA (hoy Arcelor Mittal).

La SRH realizó la presa en el período de 1964-1968 la construcción de la Presa fue a cargo de la compañía ICA.S.A y para ello se realizaron los primeros estudios geológicos, sin embargo existen pocos antecedentes al respecto, sin embargo es importante mencionar q para la construcción de la presa se removieron mas de 80 m de espesor de aluvión del cauce del rio; posteriormente la Comisión Federal de Electricidad construyó la obra de generación, para ello realizó cortes importantes de roca, para la cimentación de una casa de máquinas superficial con 4 unidades de generación, para ello, se realizaron algunos estudios geológicos como los que se consignan en las memorias Presas de México de la Comisión Nacional del Agua.

Con anterioridad no se había explotado ningún arreglo específico de obras; pues, en el Informe para la ampliación editado en agosto de 1995, sólo se cubre en forma general la zona de interés. En la campaña exploratoria 2005 se realizó perforación con recuperación de núcleos de roca y exploración geofísica, que sirvieron para conocer la geología del subsuelo en la zona de las obras propuestas.

## I.2 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

### Localización

La Central Hidroeléctrica La Villita se localiza a 15 kilómetros de Ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán y a 95 km de Ixtapa Zihuatanejo, Guerrero, sobre el río Balsas, a 55 Km de la Presa Infiernillo y 13 Km aguas arriba de la desembocadura del río Balsas en el Océano Pacífico, que sirve como límite entre los estados de Guerrero y Michoacán (Figura I.1).



Figura I.1 – Localización del área de estudio para la propuesta de Ampliación de la Presa La Villita, Mich.

### Vías de acceso

Para llegar a la C H La Villita, se puede llegar por medio de la Carretera Federal 200, desde Ciudad Lázaro Cárdenas, Michoacán e Ixtapa-Zihuatanejo, Guerrero, que cuentan con aeropuertos que dan servicio a aviones comerciales y particulares, también por la autopista que conecta Morelia con Lázaro Cárdenas y Zihuatanejo.

## I.3 OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo es incluir la información geológica, y de perforación obtenida durante la exploración de campo realizada en el año de 2009, con el fin de realizar un proyecto de ampliación de la Presa José María Morelos y Pavón La Villita.



**Figura I.2** – Fotografía satelital donde se observa la localización del área de estudio Geológico en Región de Presa José María Morelos y Pavón, La Villita, Michoacán.

## II. GEOLOGÍA

### II.1 Geología Regional

Los primeros estudios de carácter regional en esta parte del país los realizaron en 1905 con fines mineros para la exploración de yacimientos de fierro por la compañía Minas de Fierro del Pacífico. La zona de estudios se encuentra en el Terreno Guerrero, definido por Campa y Coney (1983) y estudiado más recientemente por Vidal (1986) y Centeno *et al.* (2003) entre otros. El Terreno Guerrero se debe a la acreción en la era Mesozoica de edad del Titoniano a Cenomaniano, que dio origen a parte de la de la República Mexicana en el periodo de separación de la Pangea. Consta de un basamento de rocas metasedimentarias intrusionadas por granitos durante el Paleógeno. Los rasgos estructurales más importantes en la región son los bloques que forman las fallas

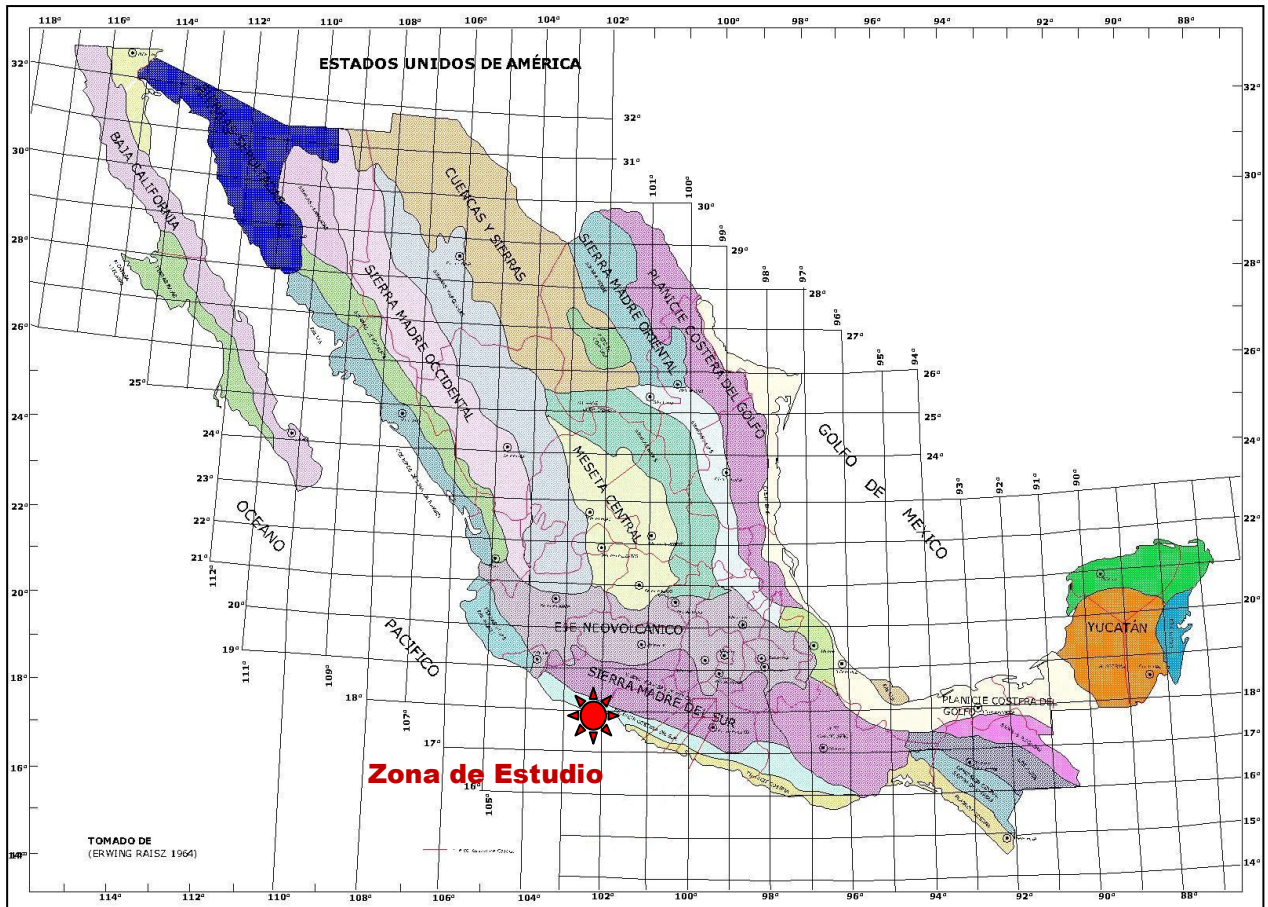
Los estudios de geología regional realizados en 1994 para posibles obras de infraestructura cubrieron unos 118 km<sup>2</sup> (Samaniego *et al.*, 1995). En este trabajo de tesis se complementan parcialmente los trabajos realizados por el Consejo de Recursos Minerales para la carta geológica-minera Lázaro Cárdenas **E-13-6-9**, escala 1: 250 000 de la región (Barrios *et al.* 2002). Cabe destacar que es importante conocer los principales rasgos geológico-estructurales regionales para buscar las mejores localizaciones de diferentes obras de infraestructura y, con ello, ayudar a que se construyan en zonas con menores riesgos geológicos.

#### II.1.1 Fisiografía

El área de estudio se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, en el límite NW de sus subprovincias Vertiente del Sur o Meridional y Planicie Costera y al sur de la subprovincia Cuenca Balsas-Mexcala.

La provincia fisiográfica Sierra Madre del Sur está considerada como la más compleja y menos conocida del país, pues muchos de sus rasgos geológico-estructurales se deben a su relación con la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa de Norteamérica (Figura II.1). Esta provincia limita al norte con el Eje Neo volcánico, al sur con el Océano Pacífico, al este con el Altiplano de Oaxaca y con la Llanura Costera del Golfo y al oeste con el Altiplano del Norte.

Los principales elementos geomorfológicos de la región, los forman las montañas complejas de la Sierra Madre del Sur (constituidas por rocas sedimentarias marinas y continentales), así como por potentes espesores de rocas volcánicas, afectadas por intrusivos batolíticos. En el área del proyecto y sus inmediaciones se tienen las siguientes geoformas: cañones y cañadas, sierras con lomeríos, montañas con pendientes abruptas, valles inter-montañosos, cordilleras costeras y línea de costa.



**Figura II.1** - Ubicación de la zona de estudio dentro de la Provincia Fisiográfica Sierra Madre del Sur y sus Subprovincias (modificada de Raisz, 1959).

### II.1.2 Estratigrafía

Se tienen rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas intrusivas y extrusivas que pertenecen al Terreno Guerrero, con edades que varían desde el Triásico-Jurásico hasta el Terciario y Cuaternario (Figura II.2). Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia de rocas metamórficas del Complejo Arteaga, las cuales se encuentran cubiertas por una secuencia volcanosedimentaria del Cretácico Inferior y una secuencia calcárea de posible edad Cretácico Inferior-Superior. Las rocas anteriores se encuentran cortadas por cuerpos intrusivos de composición granodiorítica-diorítica del Cretácico Tardío-Eoceno y posteriormente fueron cubiertas parcialmente por tobas y derrames riolíticos de posible edad Oligoceno. Por último, se tienen depósitos de conglomerados polimícticos del Pleistoceno y suelos residuales y aluviales recientes que cubren parcialmente a todas las rocas más antiguas.

Las descripciones estratigráficas de la región se han enriquecido notablemente en los últimos años; sin embargo para fines prácticos en este informe se retoma y modifica la descripción realizada por Samaniego *et al* (1995). A continuación se describen las secuencias litológicas que afloran en los alrededores de la cortina y del embalse de esta presa, de las más antiguas a las más recientes, así como su posible correlación formacional.

### **II.1.2.1 Mesozoico**

#### **Gneis, Esquistos, Filitas**

Como rocas más antiguas se tiene a la secuencia metamórfica del Complejo Arteaga, que ha sido propuesto como basamento del Terreno Guerrero para esta región (Centeno, 1994). Este complejo se compone principalmente de intercalaciones de gneises, esquistos y filitas, de estructura compacta, textura granoblástica bandeada, con cuarzo de segregación en bandas delgadas y lenticulares, así como feldespatos y micas. Estas rocas, de posible edad Triásico Inferior, afloran al norte-noroeste del embalse (se ilustran de color morado en la esquina superior izquierda de la Figura II.2). Sobre yaciendo de manera concordante y más al noroeste aflora la Formación Jaltomate, compuesta por metareniscas, cuarcitas, pizarras y cuarzo de segregación; esta formación también es considerada de edad Triásico inferior.

#### **Secuencia Volcanosedimentaria**

Constituida por productos volcánicos, depositados algunos de ellos en un medio acuoso. Son de composición andesítico-dacítica, de color pardo rosáceo a verde oscuro, con tonos blancos. Las porciones brechoides o aglomeráticas tienen clastos sub-angulosos a sub-redondeados con tamaño que varía de 1 hasta 10 centímetros de lado, contenidos en una matriz arenosa tobácea (de origen piroclástico) o además con un cementante cristalino de textura porfídica o afanítica de origen ígneo.

En algunas porciones, tienen estratificación cruzada con una predominante textura arenosa. Estas rocas están epidotizadas y parcialmente silicificadas. Regionalmente se encuentran en forma discordante por debajo de las rocas de la secuencia calcárea Cretácica. Son el producto de las manifestaciones volcánicas previas a los derrames andesíticos de potente espesor que se tuvieron dentro del vulcanismo del arco insular del Cretácico. La mejor exposición de estas rocas se tiene en la zona de la C.H. El Infiernillo (Fotografía II.1) y en menor proporción en las inmediaciones de la C. H. José María Morelos y Pavón (Fotografía II.2) donde sus características físicas presentan variaciones notables.



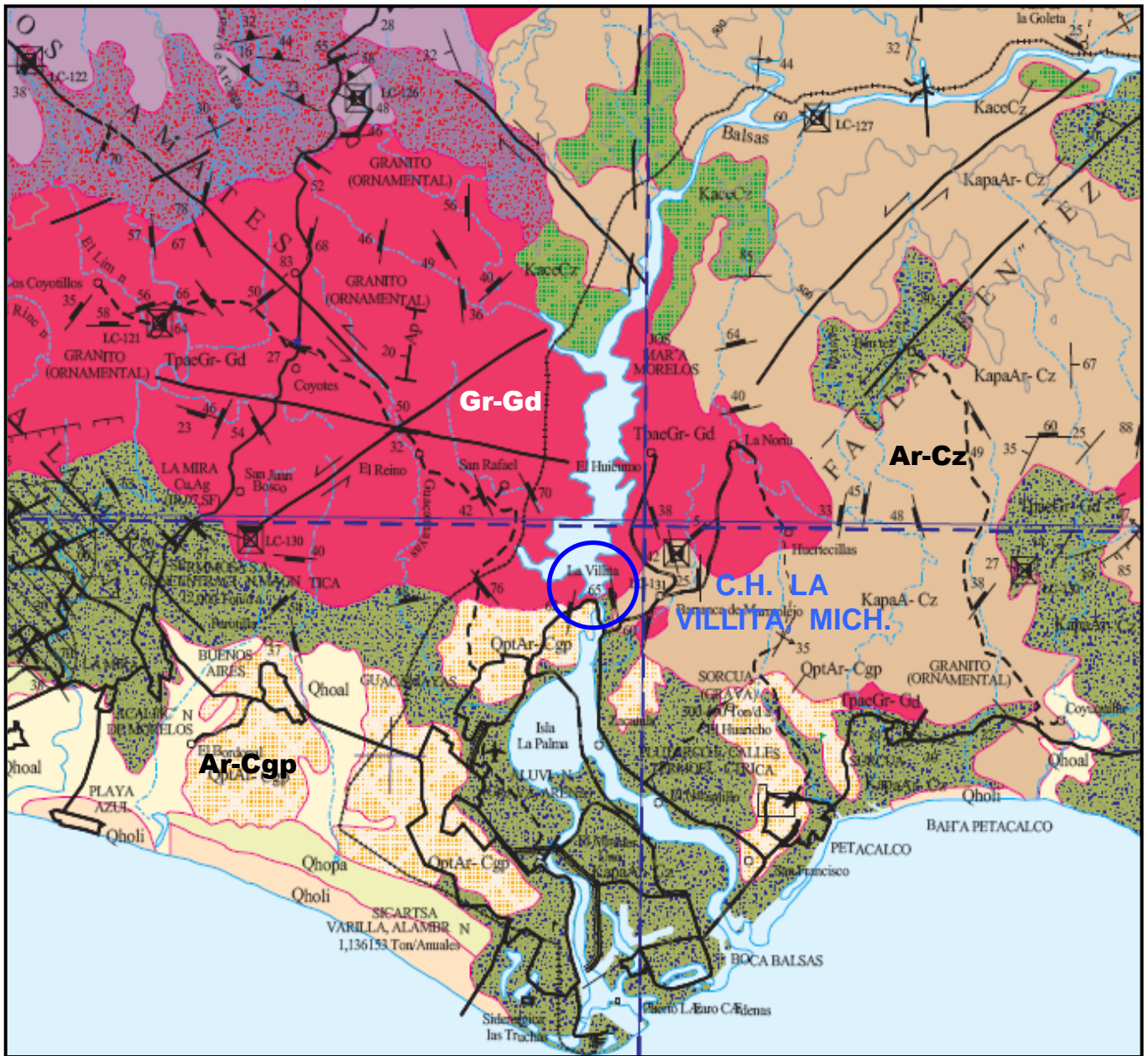


Figura II.2 - Geología regional en los alrededores de la C.H. La Villita, Mich. (Tomada de Barrios *et al.* 2002).



**Fotografía II.1** - Depósitos volcanosedimentarios masivos y muy fracturados. Afloran extensamente, en forma discontinua, desde la zona de la C. H. El Infiernillo, hasta la costa del Océano Pacífico.



**Fotografía II.2** - Afloramiento de las brechas andesíticas masivas, con abundante fracturamiento y fallamiento, ubicadas a ambos lados de la C H J. M. Morelos y Pavón en La Villita, Mich.

## COLUMNA ESTRATIGRAFICA REGIONAL

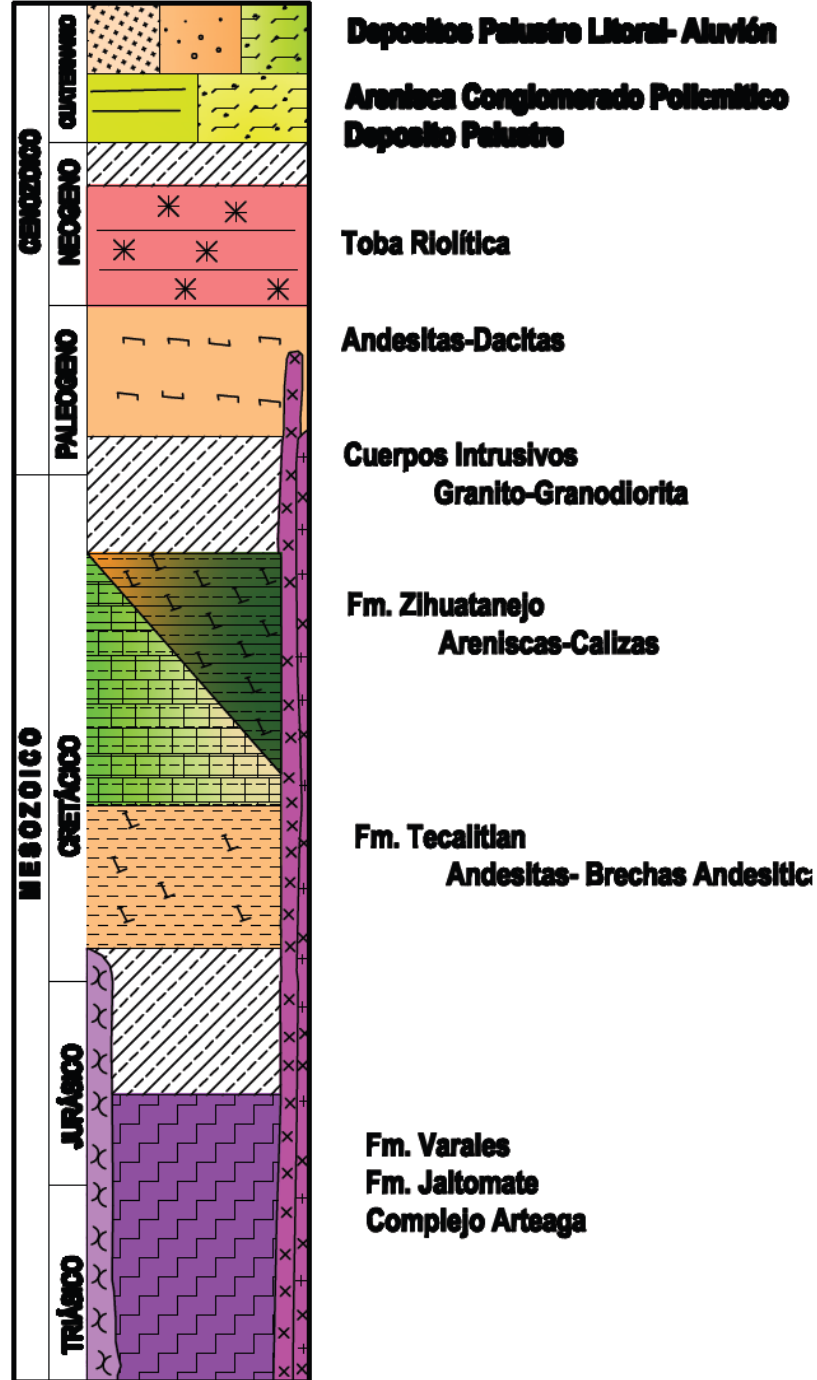


Fig. II.3 – Columna Estratigráfica Regional (Modificada Barrios, 2002).

Esta secuencia volcanosedimentaria cubre discordantemente a las rocas del Complejo Arteaga y puede corresponder a una parte de o a las formaciones: Tecalitlán, Vallecitos, Tepalcatepec o Zihuatanejo, las cuales se describen a continuación:

**Formación Tecalitlán:** Propuesta informalmente por Rodríguez (1980), para una secuencia volcanosedimentaria de composición intermedia, constituida por tobas, volcanoclásticos (cenizas arenosas, aglomerados, brechas y tobas líticas), derrames andesíticos, intercalaciones aisladas de "limolitas" y brechas de edad Barremiano-Aptiano, de la cuenca sedimentaria de Colima-Jalisco, que tienen como localidad tipo, los afloramientos del tramo entre la Ciudad de Tecalitlán y la rancharía Carrizalillo, sobre la Carretera Federal 110, en el estado de Jalisco. Cota (1984) reportó esta secuencia en algunas localidades cercanas a la zona de estudio, motivo por el cual las rocas volcánicas y volcanosedimentarias encontradas en el área se correlacionan, de manera general con la Formación Tecalitlán. Vázquez (1985) considera que esta formación fue generada en un ambiente de arco insular, cercano a la costa. Las relaciones cronológicas de sus diferentes componentes no han sido establecidas.

**Formación Vallecitos:** La localidad tipo la sitúan en los alrededores de la rancharía de Vallecitos, Jalisco; La sección tipo en la barranca del Arroyo de La Navidad (Pantoja-Alor y Estrada-Barraza, 1986). Quienes la definen como una secuencia de derrames, toba ignimbrítica, caliza arrecifal y rocas volcanoclásticas de ambiente marino; de manera particular, el miembro tobáceo consiste principalmente de tobas verdes epiclásticas, de estratificación masiva, tobas cineríticas blancas, derrames tobáceos de composición riolítica, derrames dacíticos y traquiandesíticos y conglomerados de rocas volcánicas; el color verde de la toba se debe al mineral de celadonita producto de la descomposición de la monmorillonita, es cubierto por la caliza arrecifal del miembro calcáreo y el miembro calcáreo consiste de dos o más lentes o paquetes de caliza y dolomita arrecifal separadas por intercalaciones de bancos gruesos de tobas epiclásticas verdes, derrames piroclásticos y volcanoclásticos. La caliza es de grano grueso (calcarenita) a fina (calcilutita), de color gris claro, con abundantes moluscos, principalmente *Coalcomana ramosa*, *Chondrodonta* sp. y *Toucasia* sp.; en algunas áreas la caliza se presenta completamente dolomitizada mostrando un aspecto sacaroide y su color se torna café amarillento, formando capas gruesas a masivas. Munguía-Rojas (1988) menciona que esta formación consiste de una secuencia volcánica y volcanoclástica constituida por andesita e ignimbrita violácea pseudoestratificada, derrames basáltico andesítico, tobas líticas con fragmentos de andesita, lutita, riolita y caliza color violáceo y conglomerados rojos formados por fragmentos subredondeados de andesita, pórfido andesítico y dacita de 1 a 3 cm, de textura epiclásticas, psefítica, piroclástica bien estratificados; dentro de la secuencia volcánica, se presentan cuerpos lenticulares de caliza y dolomía masivas de color gris claro a crema, arrecifales, en estratos de 0.50 a 1.50 m de espesor.

**Formación Tepalcatepec:** Definida informalmente por Pimentel (1980) para los depósitos ubicados en el área de Tepalcatepec, en el estado de Michoacán. Tiempo después, Corona-Esquivel (1993) retoma el estudio de esta unidad y la divide en dos facies: facies de banco y facies volcano-sedimentaria. Posteriormente, Corona-Esquivel y Alencáster (1995) esta unidad comprende tres unidades litológicas que de la base a la cima corresponden a: 1) caliza, 2) tobas y microbrechas y, 3) conglomerado. Estos autores señalan que los horizontes fosilíferos se encuentran principalmente en las calizas y en menor abundancia en los lentes de caliza intercalados en la Unidad 2. La base de esta formación está constituida por margas, pelitas carbonáceas, limolitas, areniscas, niveles evaporíticos y esporádicos arrecifes carbonatados con abundantes bivalvos y rudistas. La parte media consiste en carbonatos marinos micríticos, con intercalaciones de limolitas, que pasan verticalmente a una serie de intercalaciones de niveles carbonatados con tobas andesíticas calcoalcalinas (Lapierre *et al.*, 1992; Ortiz-

Hernández, 1992; Centeno-García *et al.*, 1993; Zürcher *et al.*, 2001; Sánchez, *et al.* 2005). La parte superior de la formación consiste de flujos de andesita subaéreos que no se encuentran en el área de Peña Colorada (Zürcher *et al.*, 2001). En la región de Zihuatanejo, esta formación está definida como una secuencia transicional entre el arco y la cuenca, constituida en la base por brechas andesíticas, tobas, derrames dacíticos, areniscas y limolitas y hacia la cima lutitas, calizas subarrecifales y esporádicamente derrames andesíticos.

**La Formación Zihuatanejo:** Dividido en dos miembros, Ixtapa y La Unión, el primero y más antiguo con una edad de Albiano-Cenomaniano (Boneau, 1972, 1976; Campa y Ramírez, 1979; Vidal, 1980 y 1991), consiste de una intercalación o alternancia de derrames, aglomerados, brechas y tobas andesíticas intercalados con lentes de calizas y calizas arcillosas, con desarrollos arrecifales a la cima. El segundo considerado como un cambio lateral de facies de Ixtapa, constituido de una alternancia de volcanoclásticos (tobas, brechas dacíticas), limolitas, areniscas, conglomerados calcáreos intercalados esporádicos lentes de caliza (Vidal, 1991).

### **Secuencia Calcárea**

Representada por rocas calizas de facies arrecifal y de plataforma ampliamente distribuidas en la región; está compuesta en su totalidad o en su mayor parte por carbonato de calcio. Presenta texturas de tipo grainstone, packstone y wackstone, con colores gris a pardo. En algunas porciones es cárstica, de estructura masiva o en capas con estratos de hasta 10 metros. Contiene orbitolinas y fauna asociada de rudistas que permiten datar a la unidad como de edad Aptiano-Albiano. Cubren en forma discordante a las rocas andesíticas y volcano-clásticas del Cretácico. En la región afloran hacia el **N-NE** y oriente de la presa José María Morelos y Pavón (La Villita).

Esta secuencia calcárea cubre discordantemente a las rocas volcanosedimentarias y puede corresponder a algún miembro de las formaciones Tepalcatepec o Zihuatanejo, descritas anteriormente. Así también, en forma general, se pueden correlacionar con la Formación Morelos descritas en los estados de Guerrero y Morelos, aunque es más probable que sean del Miembro la Unión de la Formación Zihuatanejo según Barrios *et al* (2002).

### **II.1.2.2 Paleógeno**

#### **Cuerpos Intrusivos**

Para finales del Cretácico y principios del Paleógeno, en toda la región del sur y suroeste de México se emplazaron cuerpos plutónicos de diferente composición, predominando las graníticas-granodioríticas, con variación composicional a monzonitas, tonalitas y dioritas en sus márgenes; estas últimas, se aprecian muy cerca de la Central Hidroeléctrica La Villita, Mich. (Fotografía II.3). Estos cuerpos intrusivos constituyen el Batolito Michoacán-Guerrero, que aflora interrumpidamente a través de varios troncos y apófisis como son los de Arteaga, San José de Chila, Ostula, Aquila, Los Pozos, Tizupán, Petlatan-San Luis y La Mira con edades que varían de 84 a 38 ma (Barrios *et al*, 2002). Este último cuerpo es el que aflora en la región de estudio (rojo en la parte central de la Figura II.2), el cual por análisis radiométrico en hornblenda, reportó una edad de 84 +/- 6 ma; determinando su emplazamiento en el Cretácico Tardío (Samaniego-Martínez, *et al.* 1995).



**Fotografía II.3** - Afloramiento del cuerpo intrusivo de diorita, ubicado aguas abajo del Vertedor de la C. H. José María Morelos y Pavón, La Villita, Mich.

### II.1.2.3 Cuaternario

Cubriendo a las rocas anteriores se tienen depósitos cuaternarios ampliamente distribuidos en la región, entre ellos destacan los potentes aluviones antiguos y recientes del delta del Río Balsas, así como los depósitos de talud y suelos residuales.

#### **Conglomerado Polimíctico**

Es de tipo polimíctico, mal clasificado, de regular a poco consolidado. Está constituido principalmente por clastos redondeados a subredondeados, de rocas volcánicas e intrusivas, cuarzo y caliza, con tamaño de fragmentos que varía de 2 milímetros a 50 centímetros; se encuentran empacados en una matriz areno-arcillosa con lentes de limolitas y areniscas (Fotografía II.4). El espesor de estos conglomerados varía entre 50 y más de 80 metros. Se encuentra ampliamente distribuido en la zona del proyecto y porciones adyacentes. Los depósitos más prominentes se encuentran hacia el norte-noroeste del poblado Guacamayas, hasta el sur de la Colonia San Francisco y hasta las inmediaciones del Rancho Badén. Estos depósitos se correlacionan con las rocas del Grupo La Mira, de edad Mioceno-Pleistoceno, de ambientes marinos y continentales (Cota, 1984).

#### **Aluvión**

Depósitos formados por boleas, gravas, con un grado de redondez que varía de redondeado a subredondeado, arenas, limos y escasas arcillas de origen fluvial, todos derivados de la erosión de las rocas preexistentes; se encuentra principalmente en el cauce de los ríos y arroyos. Su espesor varía de unos cuantos centímetros a más de 80 metros, como el excavado en la zona de la cortina durante la construcción de la Presa José M. Morelos y Pavón.



**Fotografía II.4** – Depósitos aluviales, destaca el conglomerado polimíctico. Se localiza en la Carretera Federal 200, entre los poblados Guacamayas-La Villita, Mich.

### II.1.3 Geología Histórica

La historia geológica de la región tuvo varios eventos tectónicos importantes que, en conjunto, dieron como resultado los rasgos morfológicos que actualmente tienen en la porción sur-sureste de México.

La convergencia de la Placa del Pacífico con la Placa Norteamericana originó un arco insular marginal, cuya actividad dio lugar al depósito de sedimentos de origen volcánico-clásticos del terreno tectono-estratigráfico Zihuatanejo, (Campa, 1983), de edad Jurásico Tardío - Cretácico Temprano, así como a sedimentos correlacionables con las formaciones Tecalitlán (Rodríguez, 1980) y Zihuatanejo (Vidal, 1986). El proceso continuó hasta el Mesozoico superior, con el depósito de calizas arcillosas (Formación Tepalcatepec). La actividad tectónica continuó en el Cretácico Tardío - Terciario Temprano (Orogenia Laramide) con el emplazamiento de batolitos graníticos y granodioríticos, a lo largo de las costas de Guerrero, Michoacán y Colima, que afectaron a las rocas pre-existentes y produjeron intrusiones hipabisales de composición intermedia (dioritas), como resultado de la asimilación parcial de las rocas que las encajonaban. Posteriormente, en el Oligoceno, se depositaron tobas y derrames de composición intermedia a ácida, con el predominio de las primeras. Por último, sobre las rocas pre-existentes se depositaron los conglomerados fluviales del Grupo La Mira, de edad Mioceno-Pleistoceno, como parte de los abanicos deltáicos del río Balsas y sus afluentes.

Los trabajos cartográficos más recientes en la región fueron realizados para el Consejo de Recursos Minerales (Barrios *et al*, 2002). En su trabajo, los autores destacan las fallas La Mira, Parotita, Los Amates y Las Juntas con orientación NW-SE, así como la Benitez y La Noria, (orientadas NE-SW), las cuales delimitan los principales megabloques de la región. La Presa J. M. Morelos y P. se encuentra en el que denominaremos "Bloque La Villita", que está enmarcado al sureste y suroeste por las fallas Benitez y La Mira; al norte lo limita en forma diagonal la Falla

San Juan - El Rocio y al noreste por la Falla El Zorrillo (nombres informales). Aparentemente, este bloque es relativamente estable con respecto al entorno (Figura II.2).

### II.1.4 Marco Tectónico y Sismicidad

Para los trabajos de ampliación que se proyectan de C. H. José Ma. Morelos y P. y para aumentar el conocimiento de la sismicidad en la región, tomando en consideración el riesgo que representa esta zona, el Departamento de Estudios Sismotectónicos de la GEIC elaboró un estudio en 1993, en el cual se maneja la información obtenida a partir del sismo de 1985, además, ha realizado el análisis de registros telúricos en varios trabajos, mismos que se continúan hasta la actualidad. También se consideraron los trabajos realizados en esta zona por otras organizaciones como el Instituto de Ingeniería de la **UNAM** y a continuación se hace una breve descripción los resultados obtenidos.

#### II.1.4.1 Marco Tectónico

La Presa José Ma. Morelos y P. se encuentra en la margen continental de la Placa de Norteamérica, cerca de la frontera con la Placa de Cocos (Figura II.4). La subducción en esta zona se manifiesta por medio de rupturas que originan gran actividad sísmica a lo largo de la costa del Pacífico Sur de México, capaces de producir sismos de magnitud mayor de 8.0.

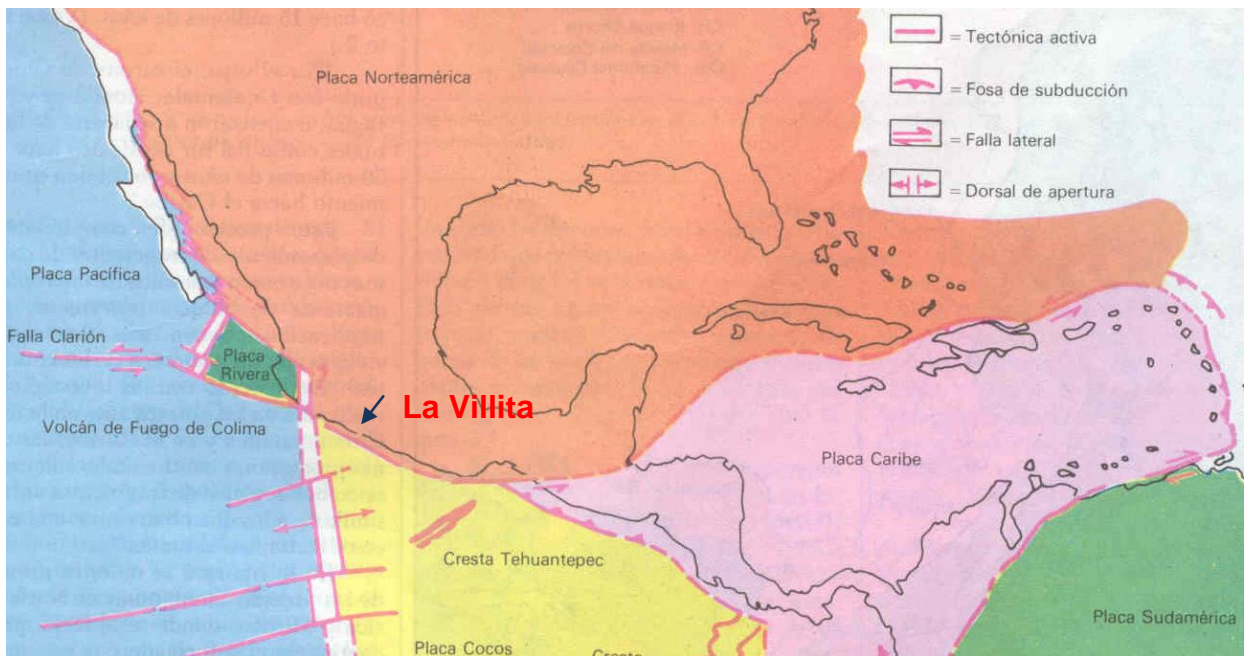
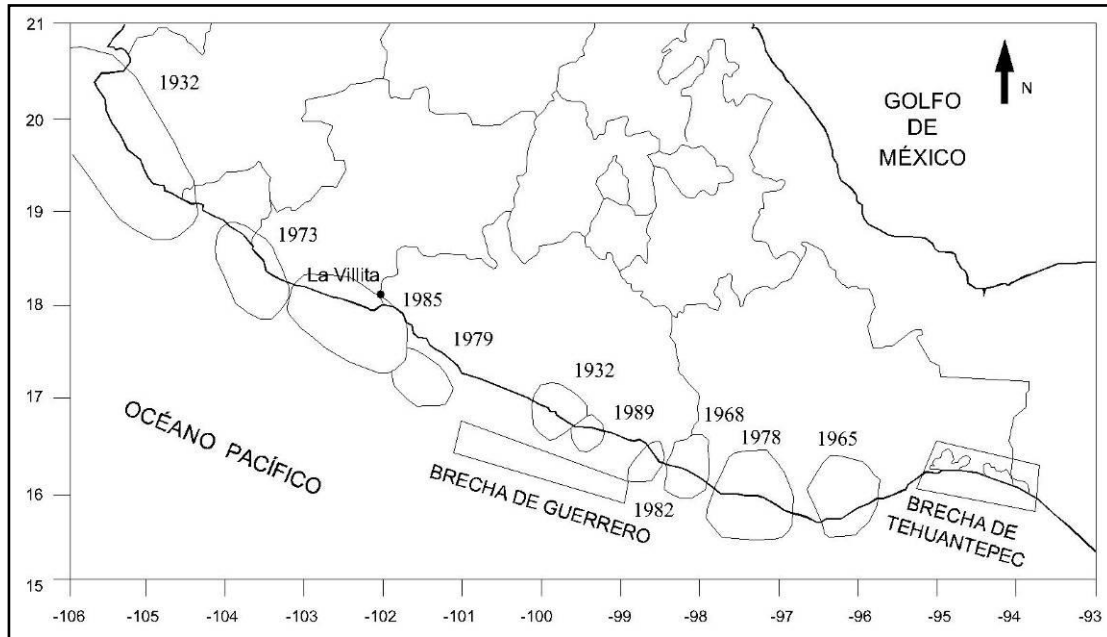


Figura II.4 - Marco Tectónico Regional para La Villita, Mich.

Diversos autores han escrito sobre el comportamiento de la Placa de Cocos (Araujo, 1991; Suárez *et al.*, 1990) la mayoría de ellos coinciden en que ésta sufre un cambio de ángulo en su trayectoria a profundidad. Mc Nally y Minster (1981) argumentan que existen dos brechas sísmicas importantes en el sur del país, que son la Brecha de Guerrero y la Brecha de Tehuantepec (Figura II.4) y sugieren que la primera es capaz de producir sismos de magnitud comprendida entre 7.9 y 8.9 (Flores, 1992).





**Figura II.5** - Zonas de ruptura de los sismos más importantes ocurridos en la zona de subducción (Modificada de Suárez, *et al.*, 1990).

Suárez *et al.* (1990) sugieren que en la zona que se encuentra al sur del área de ruptura del sismo de Petatlán de 1979 no ha ocurrido ningún temblor de magnitud  $M_s > 7.5$ , desde el año de 1908 (Figura II.5); debido a ello, se espera que la energía sísmica acumulada desde esa fecha sea liberada en un gran terremoto. Por otro lado, la zona de subducción frente a Lázaro Cárdenas era considerada asísmica hasta 1980, es decir, no se sabía de grandes eventos sísmicos en esta parte de la Trinchera de Mesoamérica; sin embargo, en ese año, el temblor de Playa Azul cambió el concepto que se tenía del área y para 1985 se comprobó que la energía se almacenó y luego fue liberada en septiembre de ese año.

Según Araujo (1991), esta zona presenta una distribución de la sismicidad a lo largo de dos bandas de actividad paralelas a la costa. La primera de ellas coincide con el litoral y tiene aproximadamente 35 kilómetros de ancho y las profundidades de los epicentros observadas son de entre 10 a 25 km, mientras que la segunda banda, que está claramente separada de la primera por una franja de 15 a 20 km, tiene sismos con profundidades locales de entre 32 y 50 km. La ausencia de actividad entre estas dos bandas es evidente en la Figura II.6, en donde se muestra la sismicidad reportada por la red telemétrica de Guerrero del Instituto de Geofísica de la UNAM, a partir de un monitoreo local.

El Delta del río Balsas se encuentra cerca de la zona de convergencia entre las placas de Cocos y de Norteamérica, en una costa de colisión continental. La región está enmarcada por la Trinchera Oceánica Mesoamericana y por la Sierra Madre del Sur; las cuales son dos rasgos tectónico estructurales muy importantes en la porción sur de México. La Placa de Cocos emerge a la superficie del fondo del Océano Pacífico, al sur-suroeste y oeste de las costas de México y se desplaza lentamente hacia éstas, hasta la zona de subducción, en donde buza con diferentes ángulos de inclinación por debajo de la Placa de Norteamérica. Debido a la interacción entre las placas mencionadas, en la región se tiene actividad sísmica intensa; en particular, en las costas de Guerrero y de Oaxaca, donde la Trinchera de Acapulco es una de las zonas más activas.

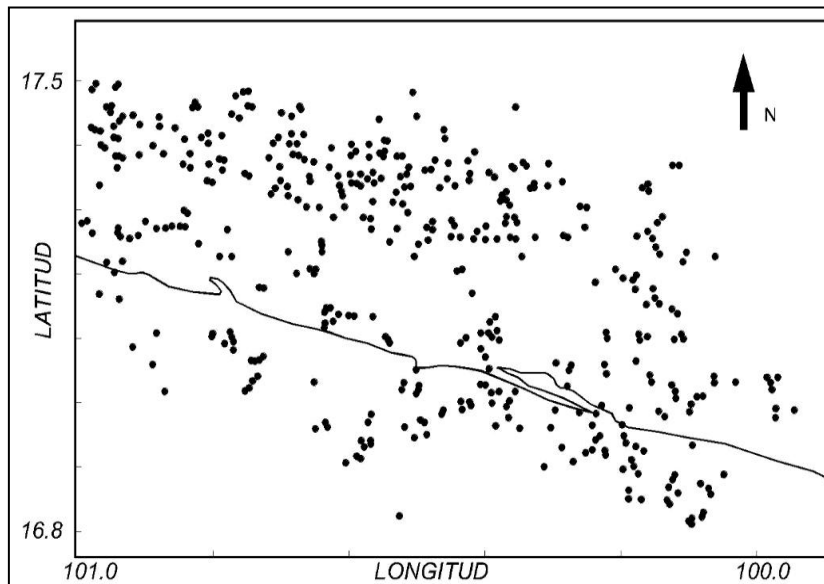


Figura II.6 - Bandas de sismicidad en la costa, cercanas a Petatlán Gro. (Araujo, 1991).

### II.1.4.2 Sismicidad

De esta recopilación se puede apreciar que el sismo mayor del que se tiene noticia es el temblor de Michoacán de 1985. Es notable que la magnitud de la mayoría de los sismos en este intervalo de tiempo fluctúe entre 5.0 y 6.0. El evento más cercano al proyecto es el temblor que se encuentra a 26 km de distancia con una magnitud de 5.90. Sin embargo, se han registrado también 19 eventos con magnitud entre 6.0 y 7.0 Y sólo 7 sismos entre 7.0 y 8.0. (Figura II.7).

El área de estudio se encuentra localizada a unos 50 km de los epicentros de septiembre de 1985. Estos sismos provocaron fisuras muy largas en la cortina de la presa, longitudinales a su eje y con casi 10 cm de ancho y de aproximadamente 20 cm de profundidad. La casa de máquinas, vertedores y subestación no sufrieron ningún daño y tampoco se observaron fisuras en la roca donde se empotra la presa (Uribe *et al*, 1985).

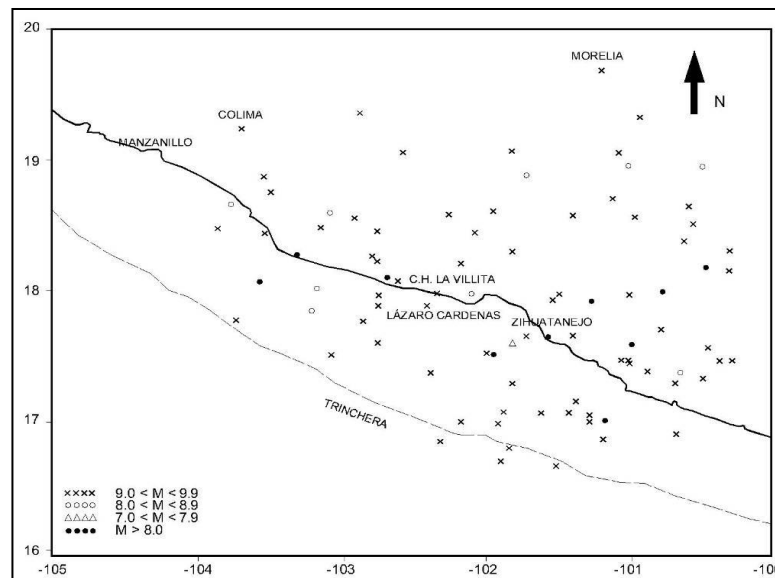


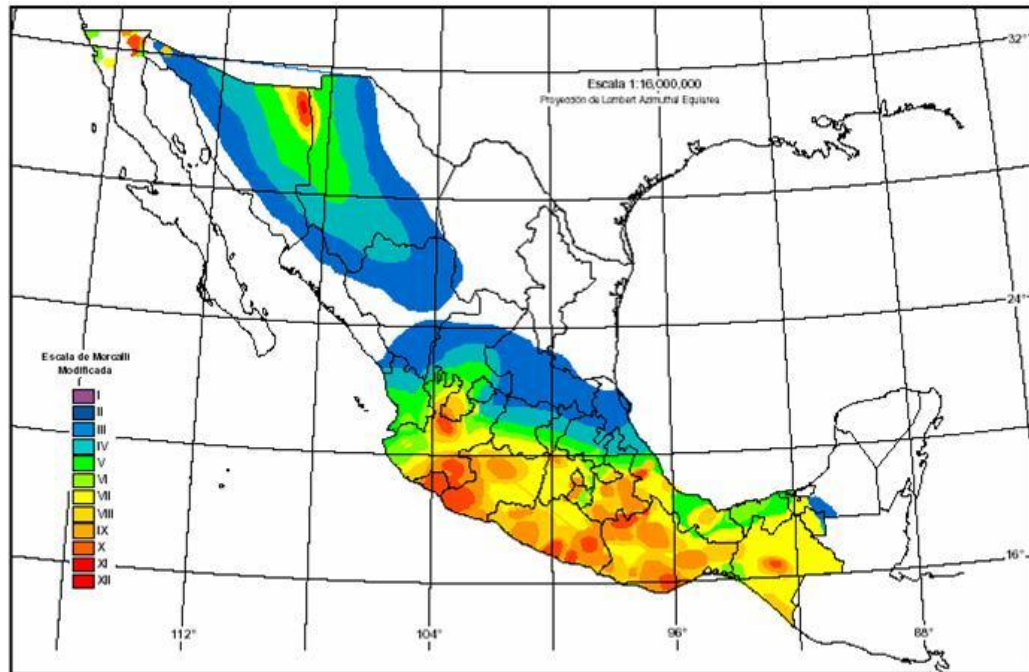
Figura II.7 - Sismos registrados históricamente (1900 - 1989), en la región cercana a la Región de La Villita, Michoacán (M 5.0)

En el último siglo, México ha experimentado 42 sismos con magnitudes mayores de los siete

grados en la escala de *Richter*, asociados al proceso de subducción de placas; lo cual, de acuerdo con Anderson *et al.* (1986), la convierten en la región de más alta sismicidad del hemisferio occidental. En la Figura II.8 se muestra el “Mapa de intensidades sísmicas del suroeste de México”, que contiene las intensidades máximas obtenidas a partir de 49 temblores importantes ocurridos entre 1845 y 1985, la mayoría con magnitud superior a 7. Aunque no se incluyen todos los temblores grandes ocurridos en ese lapso de tiempo, la distribución de los eventos considerados en este mapa es representativa de la sismicidad en México.

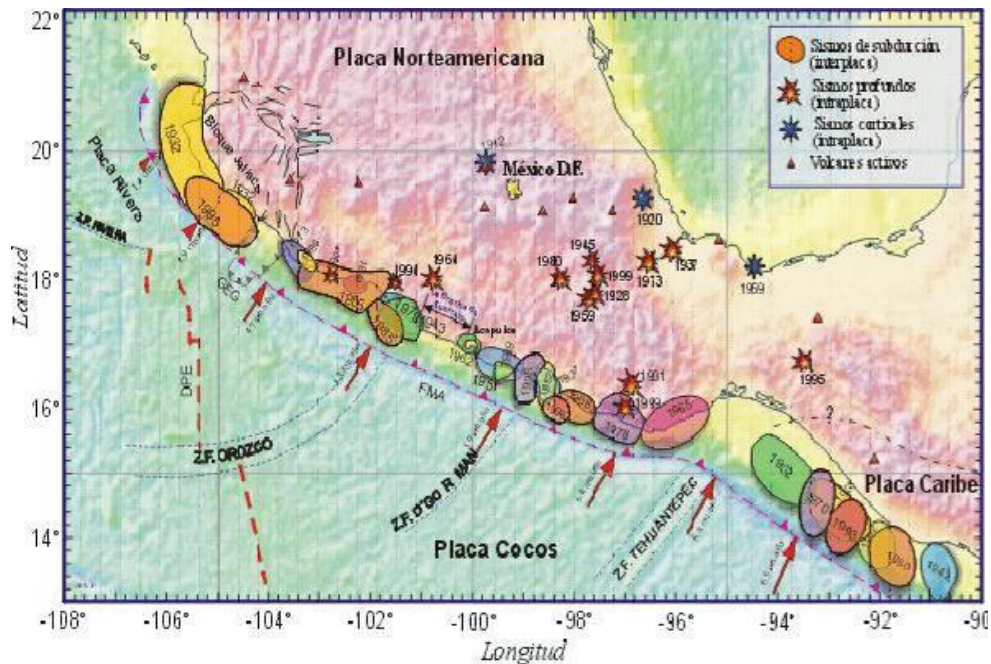
Fecha	Hora	Latitud	Longitud	Prof.(km)	Mag.	Zona
2007-04-19	05:02:09	17.21	-101.37	24	5.2	37 km al SUROESTE de PETATLAN, GRO
2008-11-08	00:27:02	18.25	-101.99	12	4.1	35 km al NORESTE de LAS GUACAMAYAS, MICH
2009-01-13	02:22:13	17.93	-102.67	11	4.1	38 km al SUROESTE de LA MIRA, MICH
2009-01-26	12:37:29	18.2	-102.69	76	4.4	43 km al NOROESTE de LA MIRA, MICH
2009-01-31	07:24:58	17.54	-101.96	25	5.3	44 km al OESTE de ZIHUATANEJO, GRO
2009-02-01	09:12:53	17.89	-101.98	30	4.0	26 km al SURESTE de CD LAZARO CARDENAS, MICH
2009-02-04	22:07:55	18.44	-102.39	80	4.2	45 km al NORTE de LA MIRA, MICH
2009-02-28	02:52:07	18.2	-101.82	10	4.0	46 km al NORESTE de LAS GUACAMAYAS, MICH
2009-04-08	11:29:34	17.94	-103.19	10	4.3	92 km al OESTE de LA MIRA, MICH
2009-04-08	11:29:36	17.92	-103.12	20	4.3	84 km al OESTE de LA MIRA, MICH
2009-04-18	21:54:33	18.12	-101.73	25	4.1	52 km al ESTE de LAS GUACAMAYAS, MICH
2009-08-15	08:22:45	18.06	-100.67	55	5.4	33 km al SUR de CD ALTAMIRANO, GRO

**Tabla II.1** - Sismos Registrados durante el periodo de 2008-2009. SSN

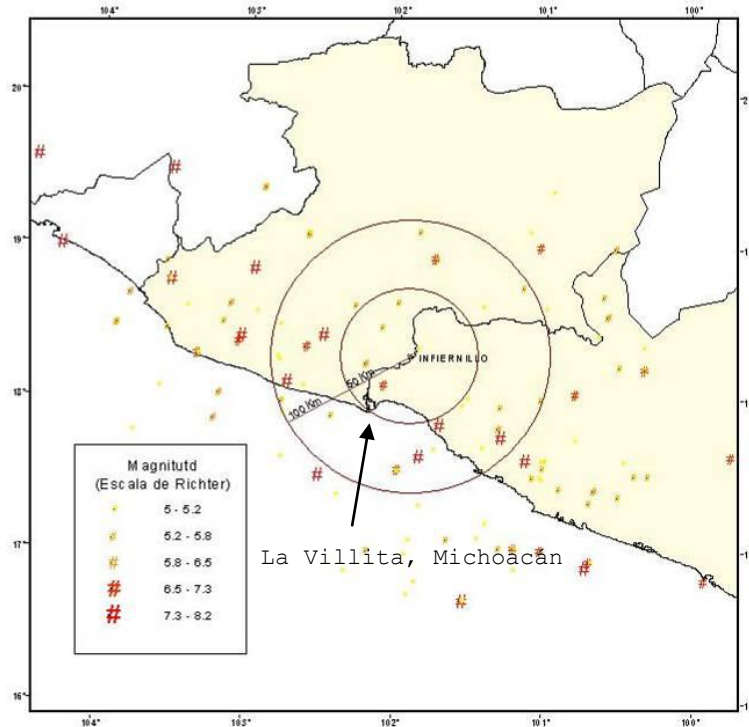


**Figura II.8** - Mapa de intensidades de los temblores más importantes ocurridos en México entre los años 1845 y 1995; la mayor parte de ellos tuvo magnitud superior a 7.

Los movimientos sísmicos registrados en el periodo 1949-1975, fueron 12250 en total (de cualquier rango o magnitud), con distancias epicentrales de hasta 200 kilómetros respecto al delta del río Balsas, lo que representa 350 sismos por año. Los sismos más fuertes, registrados en la región, fueron los de 1932, 1979 y 1985 (19 de septiembre), con magnitudes de 7,8; 7,6 y 8,1 grados en la escala de Richter; sus epicentros se localizaron a 60 y 78 kilómetros del Puerto de Lázaro Cárdenas y de la desembocadura del Balsas, hacia el mar respectivamente (Figuras II.9 y II.10).



**Figura II.9** - Localización de las principales áreas sísmicas a lo largo de la costa del Pacífico de México, de los sismos profundos y corticales intra-placa.



**Figura II.10** - Localización de los epicentros de magnitud mayor a 5 en la escala de Richter en los últimos 100 años.

## II.2 Geología Local

La mayoría de las rocas que afloran en los alrededores de La Villita, Mich., corresponden a una secuencia volcanosedimentaria Mesozoica del Terreno Guerrero (Centeno *et al.* 2003) y a un cuerpo intrusivo de composición granodiorita-diorita. Las rocas anteriores se encuentran cubiertas parcialmente por conglomerados polimícticos semicompactados y por depósitos recientes sin compactar, como se muestra en la columna estratigráfica de la Figura II.11 y en la Figura II.12.

Localmente, en la zona de obras afloran derrames de lavas, brechas y tobas líticas, de composición principalmente andesítica-dacítica, con escasas intercalaciones de lutitas y limolitas. La secuencia anterior está afectada por un cuerpo intrusivo mayor y por varios diques. Además se encuentran depósitos recientes sin consolidar que las cubren y material de rezaga (producto de la construcción de la central), como se muestra en el Plano Geológico.

### II.2.1 Estratigrafía

#### Derrames y Brechas Tobacea (KiT-A)

Esta unidad es representada por una secuencia de derrames y brechas tobáceas de composición principalmente andesítica-dacítica, en capas o pseudoestratos masivos o con espesores mayores de 5 m (Fotografía II.5). Los derrames tienen principalmente una textura porfídica con cristales de plagioclasas bien desarrollados y observables a simple vista, dentro de una matriz afanítica; en escasas ocasiones, la textura de estas rocas se observa completamente afanítica. Las brechas tobáceas andesíticas, también tienen una textura porfídica con cristales de plagioclasas dentro de una matriz afanítica; los fragmentos líticos que

contienen son de composición andesítica principalmente y colores gris oscuro, con escasos de dacita o riolacita de color gris y morado, el tamaño de ellos es de hasta 10 cm de lado, predominando los de 0.5 a 2 cm (Fotografía II.6). Las rocas mencionadas presentan vesículas con relleno de mineralización metálica de hierro (especularita) y de epidota (Fotografía II.7) y en escasas ocasiones también por calcita.

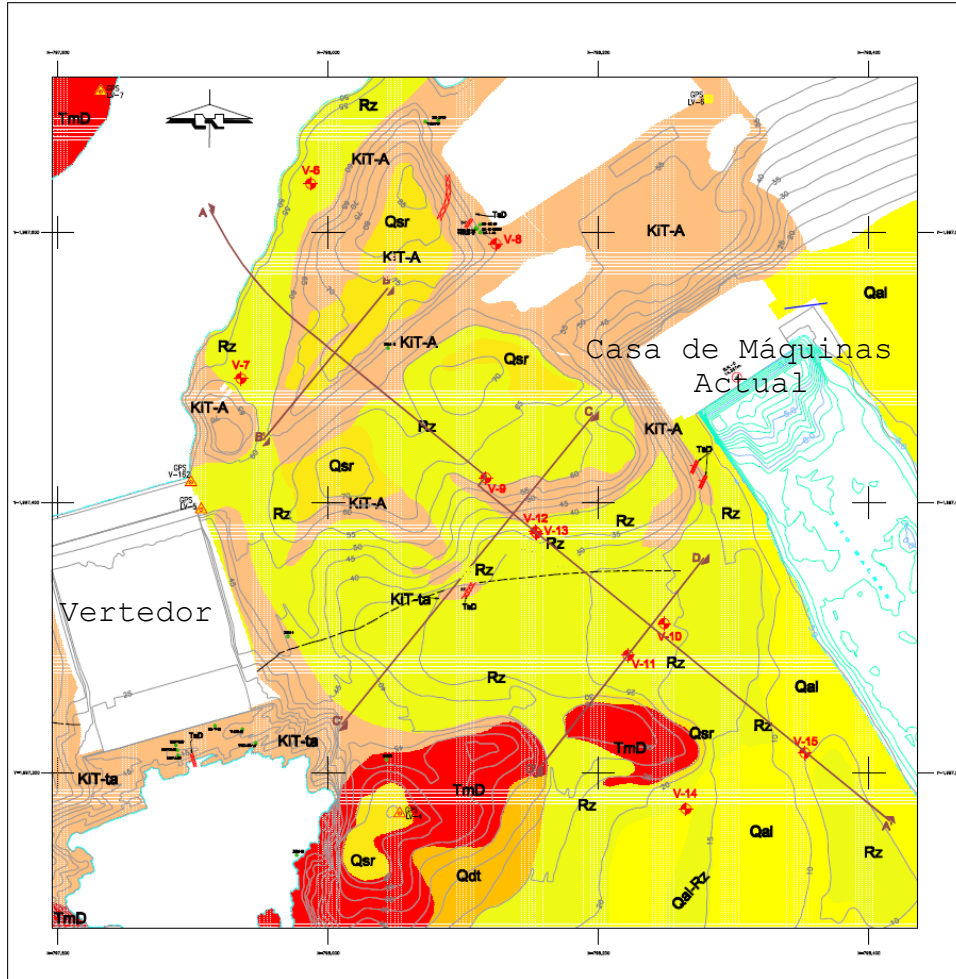
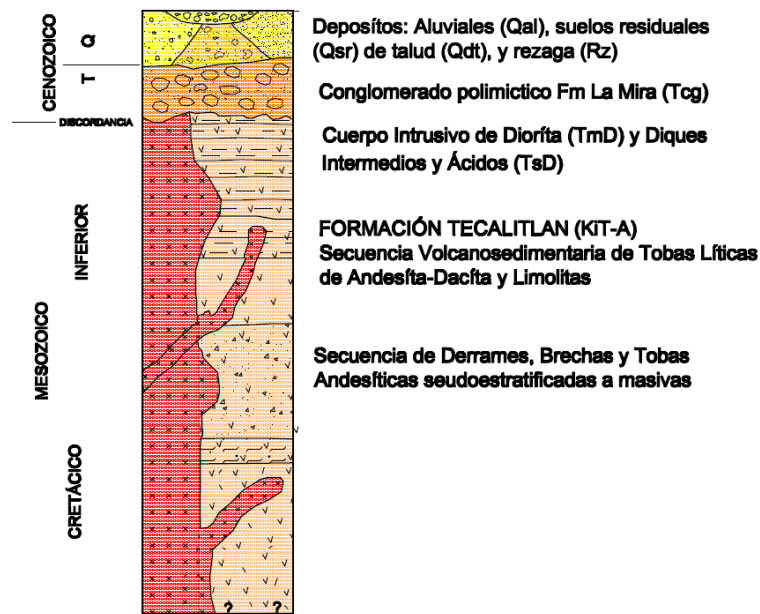


Figura II.11 – Plano Geológico de la zona de estudio.

Cuando están sanas, estas rocas se presentan muy duras y compactas con colores que varían del gris claro a gris oscuro y morado; cuando están alteradas, presentan epidota y sus coloraciones son verde-amarillentas; si están sericitizadas o propilitizadas tienen colores blanco-amarillentas o rosáceos. En la parte superficial están intemperizadas y tienen color pardo a café oscuro. Estas rocas presentan un fracturamiento y fallamiento que varía de moderado a intenso (Fotografía II.5), por lo que en superficie la roca se presenta muy fracturada y deleznable, con oxidación de hierro y manganeso en las paredes de las fracturas y de los fragmentos.

## COLUMNA LITOLÓGICA LOCAL



**Figura II.12** - Columna estratigráfica observada en los alrededores de La Villita, Mich. (Samaniego *et al.* 1995; modificada por Olalde *et al.*, 2009).



**Fotografía II.5** - Derrames y brechas tobáceas andesíticas de estructura masiva, con fracturamiento intenso.



**Fotografía II.6** - Detalle de la brecha tobacea andesítica con sus fragmentos de roca y algunas vesículas rellenas por minerales metálicos.

Se aclara que, al estar intercalada estas rocas, con paso transicional entre ellas o sin límites bien definidos, se tienen dificultad para diferenciarse, por lo que se cartografiaron como una sola unidad. Estas rocas afloran en toda la parte NW de la zona de obras y fue cortada por todos los barrenos exploratorios realizados en esta zona a diferentes profundidades.

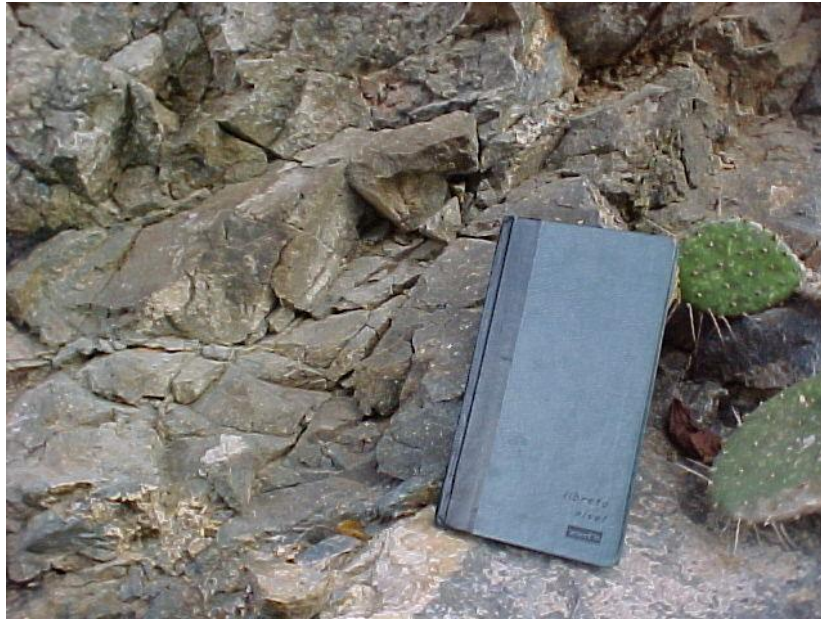
#### **Tobas volcanoclásticas y Limolitas (KiT-ta)**

Esta unidad corresponde a una secuencia volcanosedimentaria de tobas piroclásticas de composición andesítica-dacítica con algunas pequeñas intercalaciones de limolitas. Estas rocas presentan una estratificación bien definida, con espesores no mayores a 30 cm, de textura piroclástica afanítica. Su afloramiento más representativo se observa en la zona del Vertedor de la central (Fotografía II.10).



**Fotografía II.7** - Detalle de la brecha tobácea andesítica, con líticos de color más oscuro y tamaño promedio de 1 cm de lado, así como vesículas rellenas de mineralización de hierro (especularita) y epidota.





**Fotografía II.8** - Andesitas porfídicas, masivas y fracturadas, de color gris oscuro con tonos verdes y morados cuando sanas; intemperizadas, tienen color gris claro con matices azules, blancos, ocre y pardos.



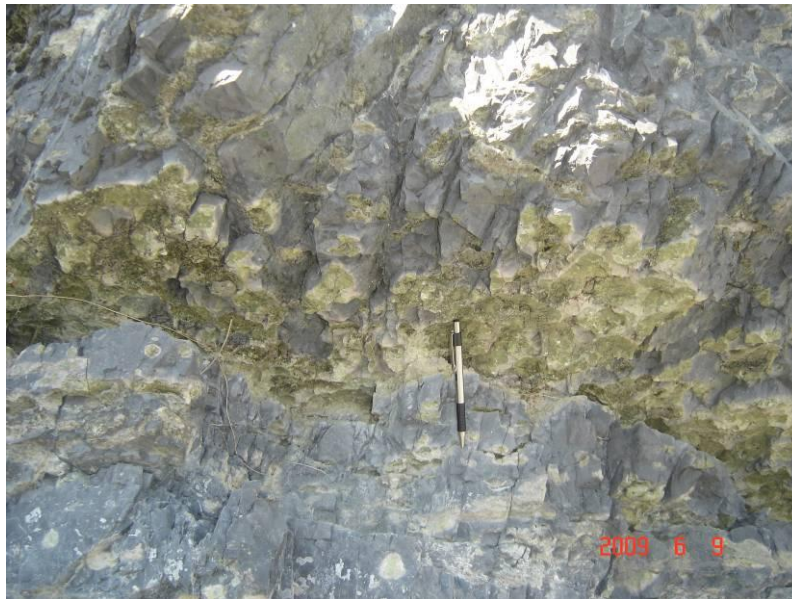
**Fotografía II.9** - Secuencia volcanosedimentaria de tobas andesítica-dacíticas, con una estratificación bien definida y con espesores no mayores de 30 cm. Afloramiento ubicado aguas abajo en zona del Vertedores.

Son de color morado a gris oscuro y gris rojizo, con tonalidades verdosas por la abundancia de epidota que se encuentra como alteración y rellenando vesículas. En algunas de sus porciones se aprecian fenocristales de plagioclasa y hornblenda, así como oquedades rellenas de epidota

o calcita, que corresponden a minerales de alteración (Fotografía II.11). En superficie por lo regular se encuentran muy alteradas y fracturadas, que las hace muy deleznable y producen suelo residual. En la margen derecha del Vertedor las tobas andesíticas se observan topográficamente abajo del cuerpo intrusivo debido a una falla normal. Estas rocas afloran en la zona del Vertedor a la altura del salto de esquí, pero se extienden hacia el este y oeste con un rumbo general NE 67° SW por debajo de los materiales de relleno tanto al oriente como al occidente del Río Balsas (Ver Plano Geológico).

### **Intrusivo de Diorita (TmD)**

En la zona de estudio, afloran rocas de composición diorítica que conforman un cuerpo intrusivo de dimensiones mayores denominado Tronco La Mira del Batolito Michoacán-Guerrero. Estas rocas son de estructura masiva y textura equigranular a ligeramente porfídica, de color pardo amarillento a verdoso, en partes con un fracturamiento y fallamiento que varía de moderado a intenso. Por el tamaño de sus componentes minerales, estas rocas se alteran e intemperizan en forma esferoidal (Fotografía II.12). Las rocas de este cuerpo intrusivo afloran y forman los pequeños lomeríos que se encuentran en la parte sur de la zona de ampliación, así como también aguas abajo y en la margen derecha del Vertedor y sobre la carretera hacia el poblado de Guacamayas (Plano Geológico). En las inmediaciones del poblado La Villita, Mich, y debido a la intersección de los taludes producidos por el corte carretero (inclinaciones de 60 a 80°) y la densidad de fracturas presentes en estos afloramientos, frecuentemente se producen deslizamientos que se manifiestan por la caída de bloques pequeños de roca (Fotografía II.13). Este cuerpo intrusivo forma parte del Batolito Michoacán-Guerrero, afecta de forma discordante a rocas de la secuencia volcanosedimentaria tobácea; se le ha determinado una edad radiométrica en hornblenda de 84 +/- 6 ma; por lo que se le ha asignado su emplazamiento en el Cretácico Superior-Terciario Inferior (*Barrios et al., 2002; Samaniego et al., 1995*).



**Fotografía II.10** - Detalle de la secuencia volcanosedimentaria de tobas piroclásticas, que muestra vesículas paralelas a la estratificación y rellenas de epidota de coloración amarillo-verdosa.



**Fotografía II.11** - Detalle de las rocas dioríticas que muestran intemperismo esferoidal y un fracturamiento moderado. Afloramiento ubicado aguas abajo del Vertedor de demasías.



**Fotografía II.12** - Bloques caídos del afloramiento de dioritas de hornblenda muy fracturadas, en la carretera Petacalco, Gro. - Lázaro Cárdenas, Mich. a un costado del poblado La Villita; margen derecha del río Balsas, cerca de la Zona del Vertedor.

### Diques (TsD)

Las rocas que afloran en la zona de estudio fueron afectadas por dos eventos magmáticos en forma de dique. El primero y considerado más importante por ser mas abundante y encontrarse dentro de la zona de obras de ampliación. Este se emplazó en las rocas de la secuencia volcanosedimentaria, posiblemente fueron contemporáneos o en la fase final del emplazamiento del cuerpo mayor descrito anteriormente; son de composición diorítica, de forma tabular y espesor que varía de 1 a 3 m o más; presentan una estructura masiva y textura granular a porfídica, con minerales observables de hornblenda (hasta 1.5 cm de lado) y plagioclasas (Fotografía II.14). En roca sana, son de coloración gris pardo a verde-amarillento, cuando están expuestos a la intemperie son muy fácil de alterar e intemperizan, dando una coloración pardo a ocre y café, además se vuelven deleznable.

Estos diques se encuentran distribuidos como por toda la zona de estudio, inclusive uno de ellos fue cortado por el barreno exploratorio S-9 a las profundidades de 46.0 a 57.3 y 95.0 a 103.0 m, respectivamente. Los diques que afloran se encuentran: En el Oeste de la zona dos diques emplazados con dirección promedio NE 45° y buzando 45°-50° al NW, con espesores que varían de 1,0 a 3,0 m. 30 m al N-NW del barreno S1-3 aflora otro dique de diorita, muy alterado e intemperizado, con orientación NE 05° a 25° y buzando 65° al NW, con un espesor de 3,5 m de ancho, aunque no se puede apreciar su longitud ya que está empotrado en el corte de talud (Fotografía II.15); al sur del Vertedor (parte final) se tiene otro dique de composición y características similares, con rumbo NW 07° y buzando 55° al SW, con longitud de 2,0 m y 1,5 m de ancho. En el corte localizado al occidente de la Casa de Máquinas, se tienen dos diques de diabasa (orientados NE 25° y buzando 66°-70° al NW, emplazados en las fracturas que afectan a las andesitas; estos últimos, fueron cubiertos por concreto lanzado, debido a la inestabilidad del talud (Ver Plano Geológico).



**Fotografía II.13** - Afloramiento de un dique de diorita, ubicado al norte del Bno. B-3, en el extremo SW del proyecto.

### **Conglomerado (Q-Cg)**

Las rocas descritas anteriormente se encuentran cubiertas parcialmente por depósitos conglomeráticos de tipo polimíctico, mal clasificados, semiconsolidados y con una incipiente estratificación en la parte base (Fotografía II.16). Estos depósitos se encuentran constituidos en su mayoría por clastos redondeados a subredondeados de rocas volcánicas e intrusivas y con escasos de cuarzo y caliza, con tamaño que varía de 0,2 hasta 50 cm, dentro de una matriz areno-arcillosa, y en partes con algunas lentes de limolitas y areniscas intercaladas.

Estos depósitos se observan en los alrededores de la Presa La Villita con un espesor de hasta 20 m, pero por información de subsuelo de los años 60's y 90's, durante la construcción de la cortina de la presa La Villita y la perforación de piezómetros en la C. T. Petacalco, respectivamente, se encontraron espesores de conglomerados hasta los 80 m de profundidad (Cervantes, et. al, 1992; Alberro, et al. 1980). Estos materiales se encuentran ampliamente distribuidos en las inmediaciones del proyecto, sobre todo en los cortes de la carretera que conduce al poblado de Guacamayas; en la zona de obras de diseño no se observaron, aunque en la parte Sur se observa asociado y revuelto con materiales mas recientes y como remanente del cribado realizado para la construcción de la presa. Estos materiales conforman el paleodelta del Río Balsas, se les asigna una edad del Cuaternario (Pleistoceno), aunque pueden ser un poco más viejos.

### **Depósitos Recientes**

Cubren de forma discordante a las unidades mencionadas. Son producto del intemperismo, erosión, transporte y acumulación en las partes planas o bajas, independientemente de su composición química, litológica y granulometría y se encuentran sin consolidar (Fotografía II.17).



**Fotografía II.14** - Conglomerado polimíctico, con una ligera estratificación horizontal y con bloques de hasta 30 cm de largo. Corte de la carretera que comunica los poblados La Villita y Guacamayas.

Dentro de estos depósitos se pueden diferenciar los materiales aluviales (**Qal**) que se encuentran en las orillas, cauces de ríos y arroyos; los de talud (**Qdt**), ubicados en los pie de monte o donde existen diferentes cambios de pendiente; los suelos residuales (**Qsr**) que se encuentran en las partes planas de los cerros o partes bajas con poca pendiente y los materiales de rezaga (**Rz**) que son materiales sobrantes y acumulados durante la construcción de la presa. A continuación se describen en forma sintetizada.

### **Depósitos Aluviales (Qal)**

Constituidos por fragmentos líticos de diferente granulometría y composición, como limos, arenas, gravas, y bloques, principalmente. Tiene amplia distribución en el cauce e inmediatamente aguas abajo de la cortina de la Presa José Ma. Morelos y Pavón, su espesor alcanza un poco más de los 40 m. Estos depósitos se originaron por el aporte continuo de sedimentos del Río Balsas.

### **Depósitos de talud (Qdt)**

Están compuestos por fragmentos líticos angulosos a sub-angulosos de diferentes tamaños, englobados en material mas fino como arenas y limos, principalmente de composición similar a las rocas ya existentes en la zona. Estos materiales se observan en un depósito al sureste del Vertedor, en la parte topográfica baja al sur del cuerpo intrusivo mayor de diorita, al cual cubren (Plano Geológico). Su espesor puede llegar a ser de hasta unos 5 m, y a veces es difícil de diferenciar del suelo residual.



**Fotografía II.15** - Muestra un depósito reciente, compuesto por materiales de origen aluvial y rezaga; están revueltos y acumulados en diferentes proporciones.

### **Suelo residual (Qsr)**

Formados por la alteración de las rocas que afloran en superficie y son atacados por los agentes del intemperismo, en la zona de estudio destacan los derivados de las rocas volcanosedimentarias y los del intrusivo diorítico. Dependiendo de la roca madre, el suelo residual puede tener en promedio un espesor máximo de 1 m, pero en el barreno exploratorio S-14 ubicado al Oeste se encontró un espesor de 22,3 m compuesto por arenas, limos y

escasos fragmentos de roca producto de la alteración del cuerpo intrusivo de dioritas. Las porciones con mayor espesor de suelo producto de las rocas volcánicas se localizan en la parte media de la zona de obras del diseño, entre la Obra de Toma y la Tubería a Presión (Plano Geológico).

**Rezaga (Rz)**

Gran parte de la zona de obras está cubierta por materiales de rezaga, que se presentan de diferente tamaño, composición y espesor que provienen de los cortes de roca que se realizaron o son desperdicios de materiales utilizados para la construcción de las obras civiles de la central hidroeléctrica. En esta tesis se generalizo la cartografía de la rezaga como depositos combinados en varias proporciones de bloques de concreto (con varilla y sin varilla), restos de mampostería, desechos de mezclas de concreto y subproductos del cribado de los materiales granulares utilizados para la construcción de la presa. La rezaga cubre gran parte de las rocas antes descritas para un total del 55% del area cartografiada.

**II.2.2 Geología Estructural**

Las rocas en la zona de La Villita, Michoacán y sus inmediaciones fueron afectadas en mayor o menor grado por una serie de esfuerzos tectónicos a lo largo de su historia geológica, que les provocaron deformación dúctil, con inclinación de sus pseudoestratos de 65° SE (Tabla II.2), además de una ruptura frágil que provocó estructuras o discontinuidades como el fallamiento y fracturamiento, con direcciones preferenciales bien definidas. En forma posterior, o al mismo tiempo de la ruptura frágil las rocas de la secuencia volcanosedimentaria sufrieron la intrusión de cuerpos de diorita, que aprovecharon en parte al primer sistema de debilidad para su emplazamiento.

Las principales estructuras o discontinuidades que afectan a las unidades litológicas que afloran, son la pseudoestratificación en las rocas volcanosedimentarias, así como fallas y fracturas en todas ellas, como se muestra en la Tabla II.2.

Discontinuidad	Sistema	Rumbo	Buzamiento	Litología
<b>Seudo-estratificación</b>	Sis0	NE 67° SW	65° SE	Secuencia Volcanosedimentaria.
<b>Fallas y Fracturas</b>	Sis1	NE 33° SW	43° NW	Secuencia Volcano-sedimentaria
	Sis2	NW 51° SE	64° NE	
<b>Fallas</b>	Sis1	NW 54° SE	62-80° NE	Secuencia Volcano-sedimentaria
	Sis2	NE 06°-38 SW	64-43° NW	
<b>Diques</b>	Sis1	NE23°-40° SW	67°-52° NW	Secuencia Volcano-sedimentaria
<b>Fallas</b>	Sis3 (paralelo a Sis0)	NE 67° SW	65° SE	Secuencia Volcanosedimentaria Tobacea
<b>Fallas y Fracturas</b>	Sis4	NE50°-80° W	75°-80° SE	Diorita Ígneo intrusivo
	Sis5	NW 11° SE	70° SW	

**Tabla II.2** – Principales sistemas estructurales en la Zona de Estudio.

### II.2.2.1 Seudoestratificación (Sistema Sis0)

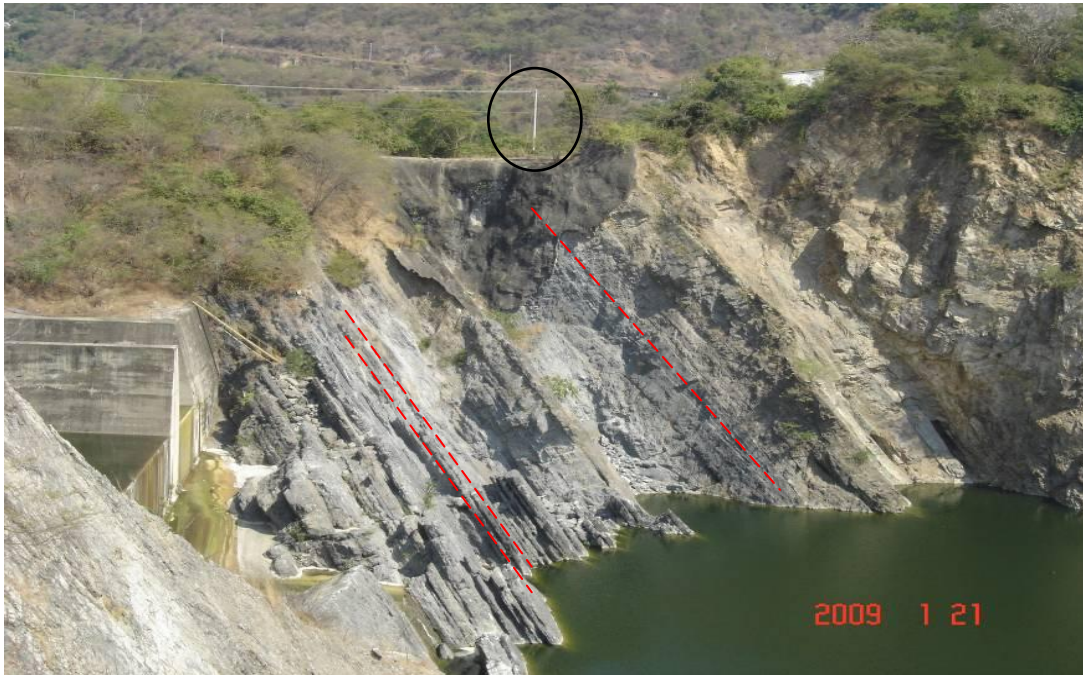
La seudoestratificación es una discontinuidad de origen primario (no tectónico), que también tiene su relevancia dentro de la geología estructural. En la zona de estudio, esta estructura se presenta en rocas que corresponden a brechas y derrames masivos de andesitas y dacitas de la secuencia volcanosedimentaria. Las rocas mencionadas se encuentran interestratificado en afloramientos pequeños (Fotografía II.18). En el Canal de Desfogue, la seudoestratificación es muy persistente, corresponde a tobas de la secuencia volcanosedimentaria (Fotografía II.19).

La seudoestratificación tienen una orientación preferencial NE 67° SW con buzamiento de 65° al SE, como se muestra en la Figura II.12, aunque su rumbo y buzamiento cambia ligeramente en la cercanía del cuerpo intrusivo mayor (diorita).

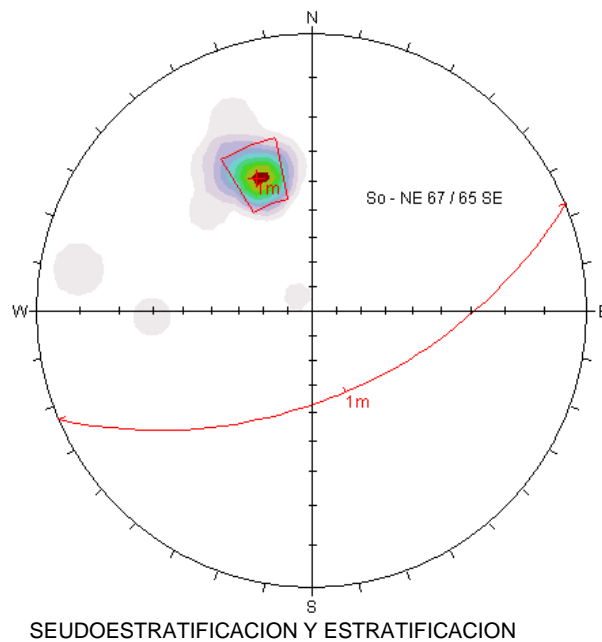


**Fotografía II.16** - Detalle de la seudoestratificación masiva (líneas negras) en las rocas brechoides de la secuencia volcanosedimentaria y el sistema de fallamiento **Sis2** (líneas rojas).





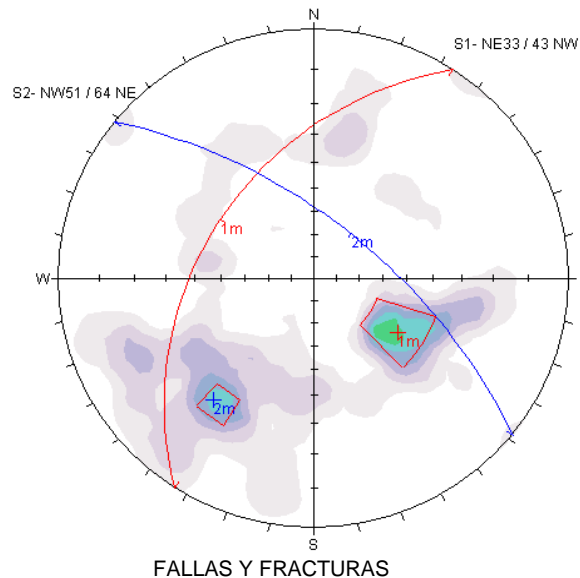
**Fotografía II.17** - Panorámica de la margen izquierda en la salida del Vertedor; muestra la pseudoestratificación delgada, bien definida (líneas rojas). Como escala de referencia se tiene el Poste para luz, localizado en el ovalo con línea color negro que mide 8 m de altura, cerca del camino de acceso.



**Figura II.13** - Estereograma que muestra la dirección y buzamiento preferencial de la pseudoestratificación de la secuencia volcanosedimentaria en la zona de La Villita, Mich.

### II.2.2.2 Fallas

En la zona se tienen cinco sistemas preferenciales de fallas (**Sis1** a **Sis5**). Tres de estas discontinuidades afectan directamente el macizo rocoso de la secuencia volcanosedimentaria. Los otros dos sistemas afectan al intrusivo diorítico mayor. Los dos primeros sistemas de discontinuidades fueron observados en su mayoría en el bloque de brechas y derrames ubicado al norte de la carretera federal y se muestra en la Figura II.13. Estos sistemas de fallamiento coinciden en dirección con el fallamiento regional reportado en diferentes trabajos de investigación, reportado también en el informe geológico de Sánchez *et al.* (2006). El tercer sistema que afecta a las rocas es paralelo a la estratificación de la secuencia tobácea que aflora en la zona del Vertedor (como se explica mas adelante).



**Figura II.14** - Sistemas principales de fallas y fracturas presentes en las rocas de la secuencia volcanosedimentaria en la zona de La Villita, Mich.

Estas estructuras se distinguen por presentar una zona de fracturamiento intenso con espesor variable mayor de 5 cm, y en algunos casos también se observa zona triturada (milonita) y estrías en su plano de falla. Las paredes de esta discontinuidad por lo general se presentan planas y lisas, o ligeramente onduladas, de continuidad variable desde 1,0 a más de 10,0 m; en superficie pueden estar cerradas o abiertas y rellenas de suelo o arcilla, a profundidad se encuentran con brecha de falla o rellenas de calcita, óxidos de Fe y/o arcilla. Algunos de los planos de falla presentan estrías inclinadas que indican desplazamiento normal con componente lateral izquierdo (Fotografías II.15 y II.16), similar a como se menciona en la bibliografía existente donde indican que esa componente lateral es de movimiento lateral izquierdo.

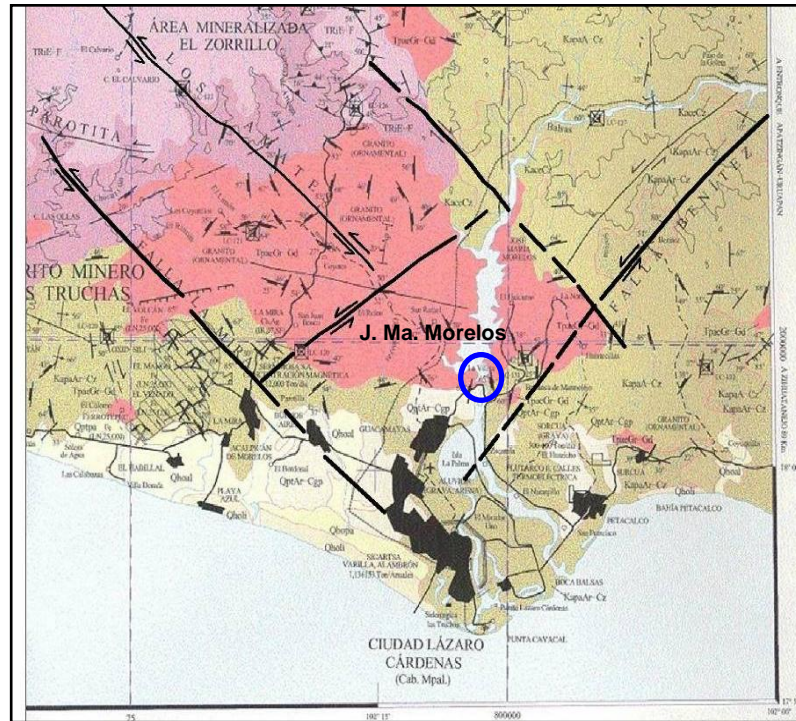


Figura II.15 - Geología regional con las principales fallas en los alrededores de la Presa José Ma. Morelos y P., La Villita, Michoacán. Modificada de Barrios *et al.* (2002).



Fotografía II.18 - Detalle de un plano de falla con estrías inclinadas que indican un movimiento con componente lateral (líneas negras).

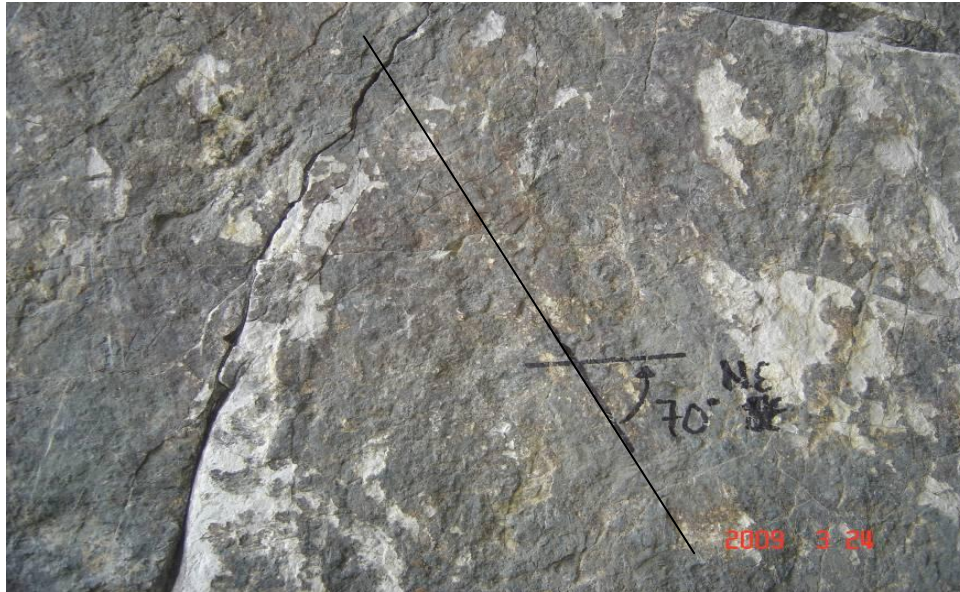


**Fotografía II.19** - Detalle de una muestra de núcleo del Bno. S8 (perforado verticalmente), que contiene un plano de falla con estrías inclinadas que indican un movimiento con componente lateral (líneas negras).

En la zona del vertedor, donde se tienen los afloramientos mas expuestos de la secuencia tobácea, se observó un sistema de fallamiento paralelo a la seudostratificación de estas rocas (sistema **Sis3**, movimiento capa-capa). En estos planos de falla se tiene una zona de cizalla con brecha y re-cristalización principalmente de epidota y calcita, también con estrías de falla que indican fallamiento normal con componente lateral (fotografías II.17 y II.18).



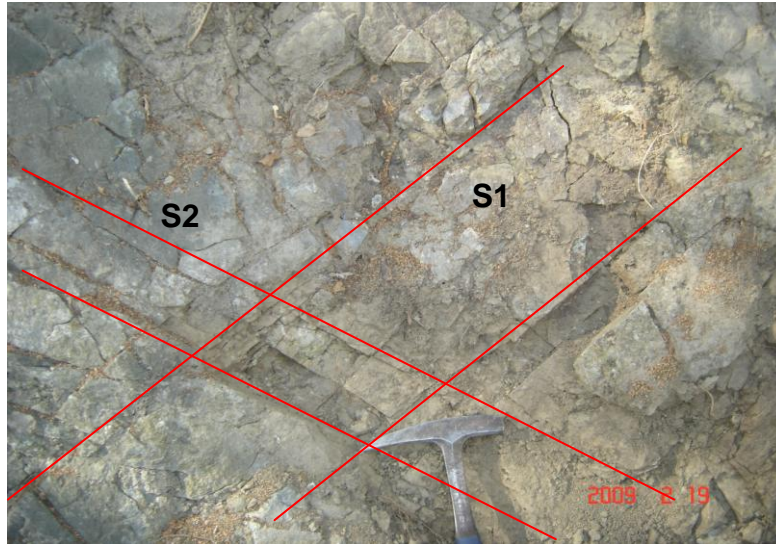
**Fotografía II.20** - Panorámica de la secuencia volcanosedimentaria tobácea donde se tienen fallas paralelas a la seudostratificación (movimiento capa-capa), con zonas de cizalla de hasta 10 cm de espesor. Afloramiento ubicado en la margen izquierda de la salida del Vertedor.



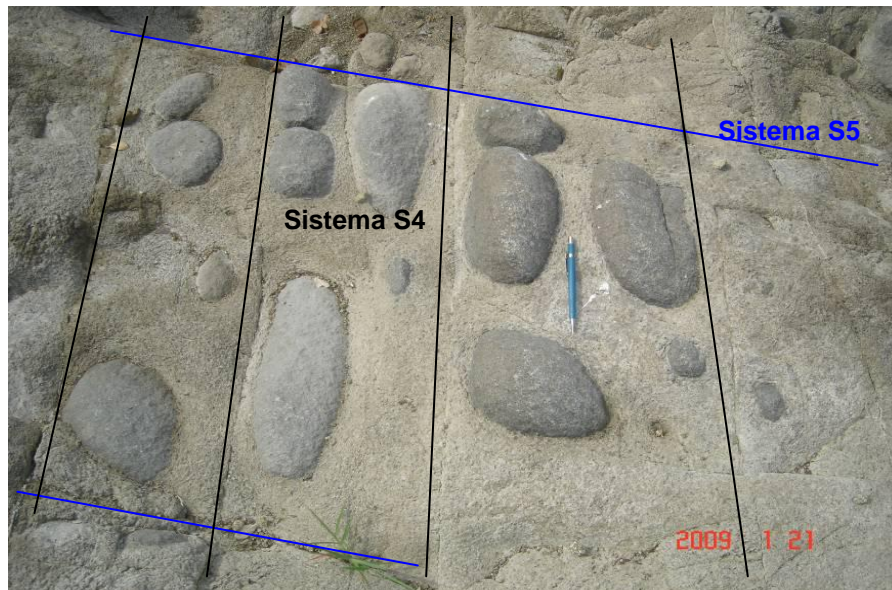
**Fotografía II.21** - Detalle de un plano de falla en la superficie de un estrato de la secuencia volcanosedimentaria tobácea, con estrías inclinadas 70° al NE (línea negra), que indican movimiento de falla normal con componente lateral.

### II.2.2.3 Fracturas

Otra de las discontinuidades que se encuentran en la zona de estudio son las fracturas. Estas, al igual que las fallas, también se presentan en cuatro sistemas preferenciales (**Sis1**, **Sis2**, **Sis4** y **Sis5**). Los dos primeros (**Sis1** y **Sis2**) afectan a la secuencia volcanosedimentaria masiva, mientras que los otros dos restantes (**Sis4** y **Sis5**) se observan en el cuerpo intrusivo de dioritas (Fotografía II.19). Superficialmente, esta estructura se presenta de forma intensa en algunas zonas, provocando que la roca se presente muy intemperizada y deleznable, mientras que en otras se muestran escasas. Las caras de esta discontinuidad por lo general se presentan planas y lisas, de continuidad variable desde 0.50 hasta 2.0 m; pueden estar superficialmente abiertas o cerradas y rellenas de suelo, arcilla o calcita. Afectan a las rocas de toda la secuencia volcanosedimentaria (andesitas, brechas y tobas andesíticas) y a las dioritas.



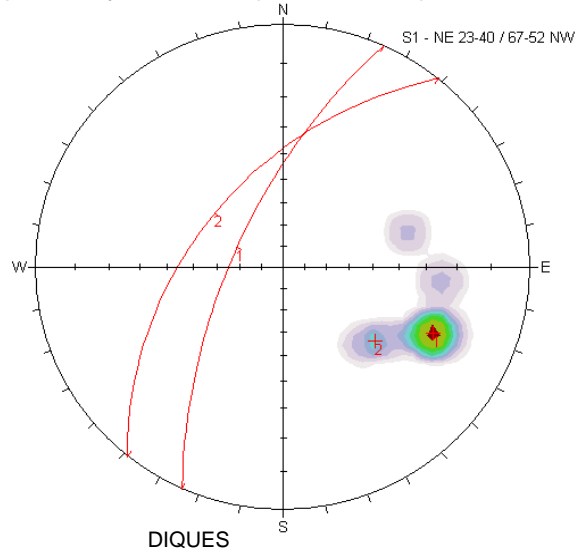
**Fotografía II.22** - Muestra los dos sistemas de fracturamiento preferenciales **Sis1** y **Sis2** que afectan principalmente a las rocas de la secuencia volcanosedimentaria.



**Fotografía II.23** - Detalle que muestra los dos sistemas de fracturamiento preferenciales en el cuerpo intrusivo de diorita.

**II.2.2.4 Diques**

Los intrusivos dioríticos forman diques, estas estructuras son importantes que deben de estar bien ubicadas e identificadas, ya que pueden causar problemas durante las excavaciones o cuando ya esté en funcionamiento la obra civil, debido a que por su composición química son muy fáciles de intemperizar y alterar cuando están en contacto continuo con el agua. En toda la zona de obras se encontraron solamente 7 cuerpos de diques. Están emplazados en el sistema de fallas-fracturas **Sis1**, lo anterior por la semejanza en la dirección de emplazamiento de ambas estructuras **NE-SW/NW** (ver Tabla II.2; Figura II.15 y Fotografía II.20). La mayoría de los diques se emplazaron en las rocas de la secuencia volcanosedimentaria y su contacto se presenta alterado en superficie y sellado a profundidad por efecto de la misma intrusión.



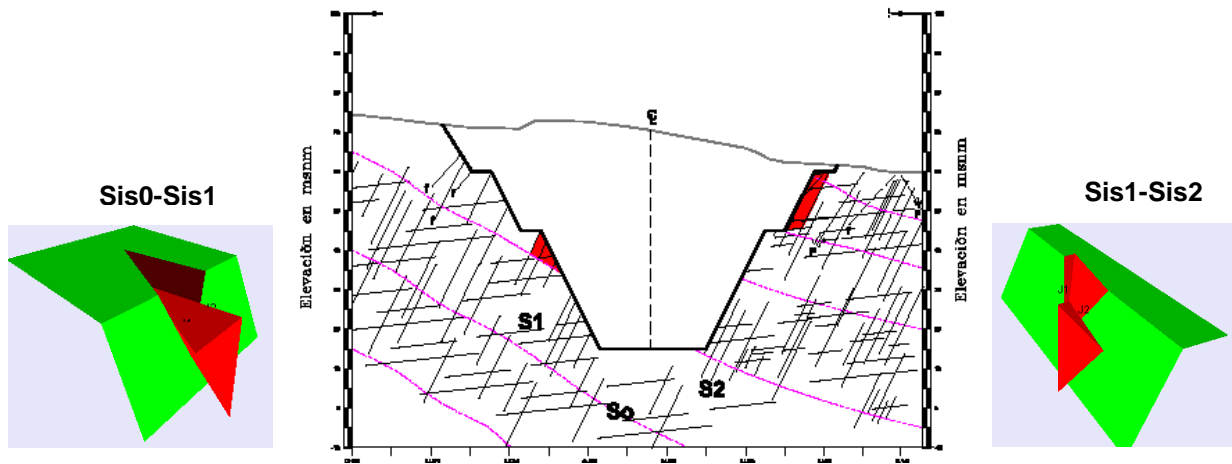
**Figura II.16** - Estereograma que muestra el sistema **Sis1** de fallas-fracturas, donde se emplazaron los diques de diorita.



**Fotografía II.24** - Dique de diorita emplazado en el sistema de fallas-fracturas **Sis1** (líneas rojas).

La importancia de tener la información de estos sistemas estructurales predominantes en la región, es para tomarlos en cuenta en algún diseño de proyecto como de corte carretero, construcción de canales, Casa de Maquinas o explotación de bancos de materiales, dando estabilidad en los taludes, evitando así la sobrexcaución o lo modificación del diseño. Por ejemplo en el corte de Taludes, se evitarían deslizamientos de cuñas formadas por los sistemas de fallas y fracturas más el ángulo del talud.

La Figura II.16 que corresponde a una parte de la sección estructural realizada de forma perpendicular al eje de la Obra, se muestran los sistemas de fracturamiento-fallamiento y la pseudoestratificación presentes, así como la representación en 3D de las cuñas que ellos formaran durante la excavación.



**Figura II.17** - Sección esquemática perpendicular al eje longitudinal de la Obra, con la representación de las cuñas que se formaran durante las excavaciones.

Al igual que en la obra anterior, para el **talud derecho** de la Obra se formarán cuñas con posibilidades de deslizamiento (inestables) al intersectar los sistemas de fracturamiento Sis1 y Sis2 con el corte de talud, con un Factor de Seguridad  $F_s$ : 1,725.

En el **talud izquierdo** de la misma obra, se conformarán cuñas inestables al intersectar la pseudoestratificación Sis0 y el sistema de fracturamiento Sis1 con el corte de talud, con un Factor de Seguridad de  $F_s$ : 3,588. Para el talud sur o frontal de la Obra de Toma, se proyectó un corte con pendiente de 0,25:1 que en la parte superior inicia en un patio de maniobras con elevación de 60,0 msnm.

### II.2.3 Aguas Subterráneas

En el macizo, además de la matriz rocosa y la fracturación, hay que considerar otro elemento: el agua que llena los huecos. Esto es positivo para su uso humano (riego, abastecimiento, etc.), para la obra civil esto es negativo pues altera las características mecánicas de los materiales y dificulta el trabajo.

Dentro de un estudio geohidrológico es necesario llevar a cabo exploraciones directas, realizar pruebas de permeabilidad (Lugeon y Lefranc), instalar piezómetros y construir pozos equipados para realizar las pruebas de hidráulicas. Las información se presenta en planos que muestran las características de permeabilidad de las unidades geológicas y la distribución de cargas en la zona de interés.



El flujo de agua en esta zona, va de NW-SE bajando de la cota 50.99 a 4.50 msnm, en forma radial, con una pendiente suave y de flujo normal, lo cual indica que el macizo rocoso se comporta de manera uniforme en cuanto a permeabilidad, la roca a profundidades mayores de los 35 m, la roca es poco permeable a impermeable (Figura II.17).

Cuando se realice la excavación para la construcción, se producirá el relajamiento parcial del macizo rocoso; al faltar el confinamiento que mantiene cerradas las discontinuidades (fallas y fracturas), puede presentar flujo de agua debido a la carga hidráulica producida por el embalse, de manera que los cortes y el túnel podría servir como vías drenaje. Durante la excavación del túnel de conducción deberá tomarse en cuenta la presencia del nivel de aguas freáticas, para realizar las obras de drenaje necesarias.

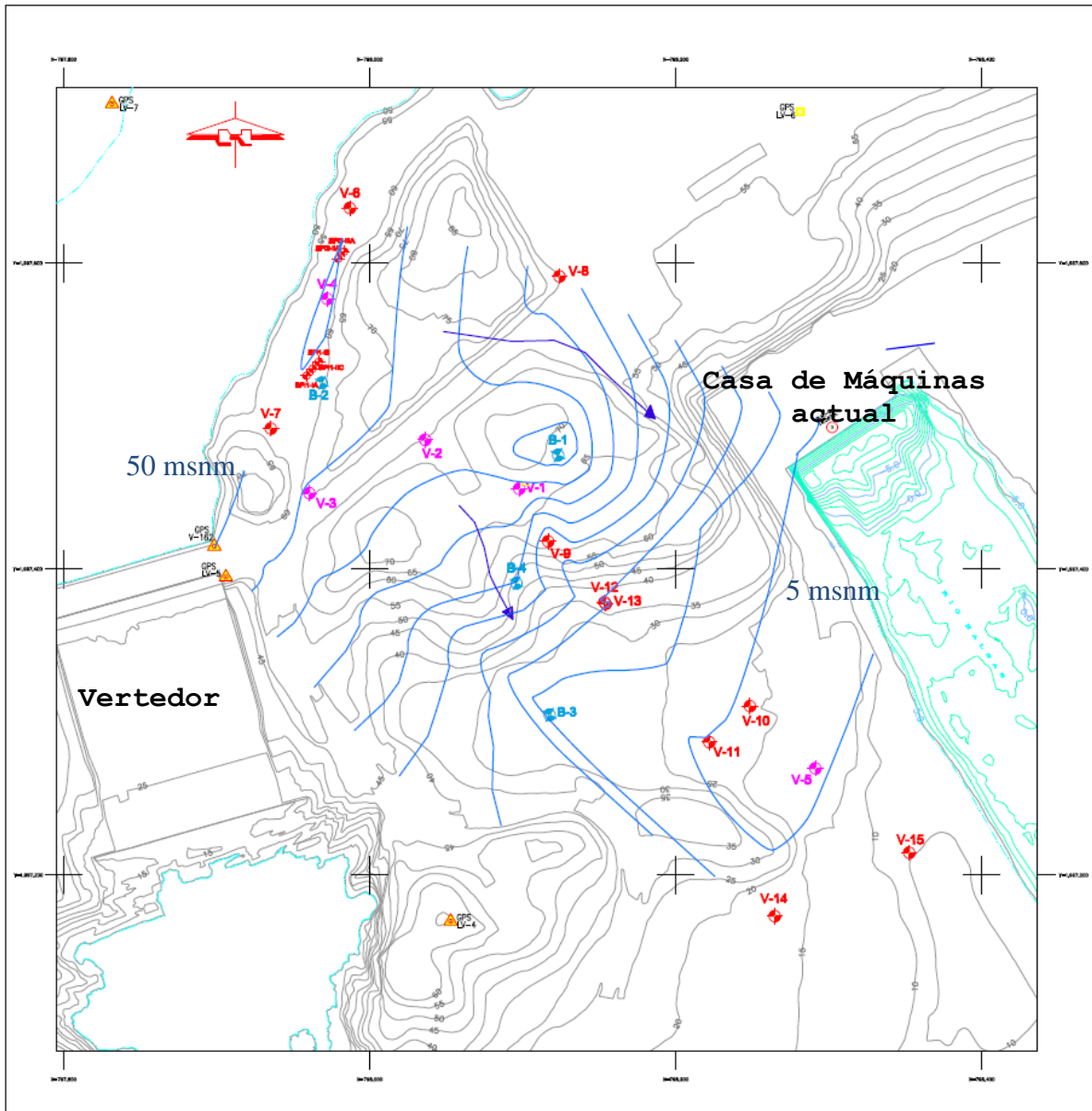


Figura II.18 – Flujo de Agua en la zona de Interés.

**III. EXPLORACION DIRECTA**

Se han realizado a lo largo de esta zona mas 800 sondeos exploratorios para minería por varias compañías desde 1905, también sondeos para construcción de la infraestructura industrial en la Isla del Cayacal ubicada aguas debajo de la zona de estudio. A pesar de ser una zona de importancia minera por la explotación del fierro en la región de La Mira, aun se conoce poco detalle de las variaciones litológicas de los productos volcánicos depositados en la zona y con los estudios realizados se aportan datos importantes para su interpretación. Por tal motivo se realizaron sondeos exploratorios en este estudio.

**III.1 Perforación y piezómetros**

Para conocer las características generales de la roca del subsuelo en el área, se perforaron 624.40 metros distribuidos en 10 barrenos exploratorios, de diámetro NQ; en ellos se registraron los valores de la recuperación total (RT) y los datos para realizar el calculo del RQD, para realizar la clasificación del macizo rocoso, en la Tabla III.1, se sintetiza la información de la exploración realizada por medio de perforación con recuperación de núcleos.

Bno.	Año	COORDENADAS			Profundidad Total (m)	OBSERVACIONES Profundidad del Nivel Freático (m)
		X	Y	Z		
<b>S6</b>	Nov-08	797987,02	1997635,92	58,21	60,00	<b>8,46</b>
<b>S7</b>	Dic-08	797935,38	1997491,83	59,65	60,00	<b>9,5</b>
<b>S8</b>	Dic-08	798124,00	1997591,34	60,45	80,00	<b>25,89</b>
<b>S9</b>	Dic-08	798116,58	1997418,12	61,89	121,00	Sin recuperación hasta los 10 m Ademe hasta 30,65 m <b>38,86</b>
<b>S10</b>	Ene-09	798248,50	1997310,40	21,26	50,50	Ademe hasta 24,50 m <b>16,39</b>
<b>S11</b>	Ene-09	798221,90	1997286,92	23,13	50,50	Ademe hasta 18,45 m <b>17,30</b>
<b>S12</b>	Feb-09	798153,43	1997378,33	35,49	64,35	Inclinado 45°, orientación N50°W Ademe hasta 21,50 m <b>20,23</b>
<b>S13</b>	Feb-09	798154,12	1997377,36	35,55	40,60	Ademe hasta 9,15 m <b>17,45</b>
<b>S14</b>	Mar-09	798264,08	1997174,82	17,20	40,55	Ademe hasta 18,30 m <b>8,66</b>
<b>S15</b>	Abr-09	798353,19	1997213,23	9,20	56,90	Ademe hasta 18,50 m <b>3,05</b>

**Tabla III.1** – Relación de los barrenos perforados en el área para la Ampliación.

**Nota:** Profundidad del Nivel Freático (NF) en negrillas.

### III.1 Resultados Obtenidos

#### Barreno S6

Brechas andesíticas (5,2 a 55,0 m) con unos horizontes de dacíticas en los tramos de 29,0 a 39,5 m; de 47,9 a 48,6 m y 55,0 a 60,0 m. De 0,0 a 5,2 m se cortaron materiales de relleno y rezaga.

De 0,0 a 5,2 m, tuvo 25% de recuperación de material. Para el siguiente tramo 5,2 a 20,4 la recuperación de material en promedio es de 85%, para el resto del barreno perforado la recuperación es en general de un 30% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 20,4 a 60,0 m, con un promedio de su RQD de 20%. De 5,2 a 20,4 m es de regular a buena calidad, con un RQD de 60%.

No se realizaron pruebas de permeabilidad, se infiere por la calidad de la roca y el porcentaje de recuperación que es poco permeable.

#### Barreno S7

Andesitas afaníticas de 8,2 a 15,6 m, con un horizontes de brechas andesíticas (en los tramos de 15,6 a 18,8 m y, de 22,2 a 25,0 m) y andesitas-dacitas, en los tramos de 18,8 a 22,2 m y 25,0 a 60,0 m. De 0,0 a 8,2 m se cortaron materiales de rezaga y relleno.

De 0,0 a 8,2 m, se tuvo el 20% de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 70 a 80% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 8,2 a 35,0 m, con un promedio de su RQD de 20%. De 35,0 a 60,0 m es de regular a buena calidad, con un **RQD** de 75%.

La permeabilidad para este sondeo es impermeable en el tramo de 35,0 a 60,0 m. En el tramo de 0,0 a 35,0 m de profundidad no se probó.

#### Barreno S8

Andesitas y Dacitas (de 3,0 a 14,0 m y 21,1 a 69,2 m) con andesitas brechoides (entre 14,0 y 21,1 m), así como brechas andesíticas con matriz porfídica (69,2 a 80,0 m). De 0,0 a 3,0 m.

De 0,0 a 3,0 m se cortó rezaga y se tuvo el 15% de recuperación de material. Para el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 60 a 70% en promedio. La calidad de la roca es regular en el tramo de 3,0 a 26,2 m, con un promedio de su RQD de 40%. De 26,2 a 43,6 m es de muy mala calidad, con un RQD de 5 a 10%. De 43,6 a 80,0 m se tiene un RQD muy irregular y con un promedio entre 40 y 50% considerando este tramo como de mala a regular calidad.

Las pruebas de permeabilidad se realizaron a partir de los 15 m, y dieron como resultado que la roca es Impermeable en cada tramo probado y de Buena calidad a excepción del tramo de 30.00 a 35.00 m, en el cual tiene una calidad Regular.

### **Barreno S9**

Andesitas de 14,0 a 46,0 m; de 57,3 a 96,0 m y 103,0 a 121,0 m, con diques dioríticos (de 46,0 a 56,30 m, y de 96,0 a 103,0 m). De 0,0 a 10,0 m, no hubo recuperación, se perforó con broca tricónica, de 10,0 a 14,0 m se cortaron limos, arenas y arcillas. El Nivel Freático en promedio se localiza a los 38.86 m de profundidad.

De 10,0 a 12,0 m, se tuvo el 35% de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 70 a 80% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 12,0 a 29,40 m, con un promedio de su RQD de menos del 5%. De 29,4 a 87,0 m es de mala a regular calidad, con un RQD de 50%. De 87,0 a 113,0 m se tiene un RQD con un promedio de 20% considerando este tramo como de muy mala calidad. De 113,0 a 121,0 m se tiene un RQD promedio de 25% con una calidad mala.

La permeabilidad para este sondeo es impermeable en el tramo de 35,0 a 85,0 m. De 85,0 a 95,0 m es poco permeable a impermeable y de 95,0 a 121,0 m es Impermeable. En el tramo de 14,0 a 35,0 m de profundidad no se probó.

### **Barreno S10**

La litología está representada por Andesitas de los 28,6 a 50,50 m, las cuales están cubiertas por una intercalación de bloques de andesita, arcilla y limos de 20,3 a 28,6. De 0,0 a 20,3 m se cortaron materiales de relleno y rezaga.

De 0,0 a 20,3 m, se tuvo el 50% de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 70 a 80% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 20,3 a 28,7 m, con un promedio de su RQD menor de 5%. De 28,7 a 50,5 m es de muy mala a mala calidad, con un RQD de 45%.

La permeabilidad para este sondeo es poco permeable en el tramo de 25,5 a 35,5 m. De 35,5 a 40,5 m es Impermeable; de 40,5 a 45,5 m es poco permeable y de 45,5 a 50,0 m es Impermeable. En el tramo de 20,3 a 25,5 m de profundidad no se probó.

### **Barreno S11**

Andesitas afaníticas de 21,8 a 50,5 m, las cuales están cubiertas de una intercalación de bloques de andesita y material arcillo-limoso de 20,0 a 21,8 m. De 0,0 a 20,0 m se cortaron materiales rezaga.

De 0,0 a 20,0 m, la recuperación de material fue de 30 a 40%. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 50 a 60% en promedio. La calidad de la roca es mala en el tramo de 39,5 a 50,5 m, con un promedio de su RQD de 10 a 25%.

La permeabilidad para este sondeo es poco permeable en el tramo de 25,5 a 35,5 m. De 35,5 a 40,5 m es poco impermeable; de 40,5 a 50,5 m es permeable a poco permeable. En el tramo de 21,8 a 25,5 m de profundidad no se probó.

### **Barreno S12**

Andesitas de 4,0 a 25,0 m con horizontes irregulares de brechas volcánicas con espesores en promedio de un metro (entre 25,0, 32,0, 33,6, 37,1, 48,5 y 61,3 m), y andesitas de 26,0 a 32,0 m; de 33,0 a 33,6 m; de 34,6 a 37,1 m; de 38,0 a 48,5 m; de 52,0 a 61,3 m. De 0,0 a 4,0 m se cortaron materiales de relleno y rezaga.

De 0,0 a 4,0 m, se tuvo 20 % de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 50 a 60% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 4,0 a 32,0 m, con un promedio de su RQD menor del 5%. De 32,0 a 64,5 m es de mala calidad, con un RQD de 25%.

### **Barreno S13**

Andesitas de 4,5 a 38,1 m, con andesitas brechoides en los tramos de 17,0 a 19,3 m, de 2,0 m de espesor en promedio; de 34,5 a 35,8 m; y de 37,3 a 40,6 m. De 0,0 a 4,5 m se cortaron materiales de relleno y rezaga.

De 0,0 a 4,5 m, se tuvo 35% de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 50 a 60% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 4,0 a 32,0 m, con un promedio de su RQD menor del 5%. De 32,0 a 64,5 m es de mala calidad, con un RQD de 25%.

### **Barreno S14**

La litología está representada por un cuerpo intrusivo diorítico de 25,4 a 40,6 m, el cual esta cubierto por una capa de suelo residual producto del intemperismo del intrusivo de 3,0 a 25,4 m. De 0,0 a 3,0 m se cortaron materiales de arrastre formado por boleos.

De 0,0 a 3,0 m, se tuvo 50% de recuperación de material. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 80 a 90% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 25,4 a 31,50 m, con un promedio de su RQD menor del 20%. De 31,5 a 40,6 m es de mala a regular calidad, con un RQD de 50%.

### **Barreno S15**

Depósitos aluviales de 0,0 a 41,6 m, con andesitas de 41,6 a 56,9 m. De 0,0 a 41,6 m, se tuvo de 35 a 60% de recuperación de material aluvial. Para todo el siguiente tramo del barreno perforado, la recuperación es en general de un 70 a 90% en promedio. La calidad de la roca es muy mala en el tramo de 41,6 a 49,9 m, con un promedio de su RQD menor del 10%. De 49,9 a 56,9 m es de regular calidad, con un RQD de 60 a 70%.

### **III.1.2 Nivel Freático**

Para conocer el comportamiento del flujo del agua subterránea en el área, se cuenta con una red de medición formada por los piezómetros, cuyos brocales están referidos topográficamente al nivel del mar, en cada una de estas obras se mide en forma mensual la posición del nivel freático.

### CAPITULO III: EXPLORACIÓN DIRECTA

El nivel freático original, fue modificado en el subsuelo con el agua acumulada en el vaso de la presa; por lo cual, sus cambios en elevación que se registren en los piezómetros estarán directamente asociados con las fluctuaciones que ésta presente.

Durante los trabajos de exploración, la observación de los piezómetros fue de Noviembre del 2008 a Agosto de 2009, llevando un registro de los Niveles Freáticos. La toma de datos piezométricos se registro conforme se avanzaba en la perforación de los barrenos, se tomo un promedio general para cada mes, como se indica en la Tabla III.7.

En el barreno S-6 no varió mucho la profundidad del agua durante la perforación y días después. Para el barreno S-7 la roca es poco impermeable, pero hay que tomar en cuenta la cercanía con el embalse, por tal motivo no cambia mucho la profundidad del agua. En el barreno S-8, la calidad de la roca es muy buena y retiene parte del agua de perforación los primeros días dejando a una profundidad de 8,0 metros.

El flujo del agua freática de los piezómetros que se localizan cerca del embalse de la presa sus niveles no varían mucho y presentan poca pendiente hacia el SE, al llegar al piezómetro S-1, comienza una pendiente mas pronunciada con el mismo rumbo del eje propuesto para la obra. Influye el sistema general de fracturas y fallas Sis2 (NW 51°/64°NE). La configuración se realizo en base a los datos obtenidos a partir del mes de Noviembre de 2008.

Bno	Nov.	Dic.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto
S-1	41,27	40,53	40,12	39,78	39,34	39,01	38,89	38,73	39,71	40,1
S-2	44,70	43,93	43,43	43,27	42,69	42,25	42,04	41,67	45,65	44,45
S-3	47,05	45,88	45,17	40,79	45,93	44,41	44,11	44,00	46,78	46,52
S-4	<b>Piezómetro obstruido</b>									
S-5	5,30	5,10	5,12	5,59	5,22	4,77	5,68	4,97	5,47	5,35
S-6	49,96	49,60	49,75	49,64	49,78	49,79	49,69	49,95	49,97	49,84
S-7	-	50,82	50,15	50,09	50,13	49,86	49,94	49,87	50,39	50,22
S-8	-	-	34,56	33,71	30,78	32,36	34,09	33,37	42,81	40,26
S-9	-	33,66	21,36	22,41	20,64	20,63	23,10	20,68	21,32	21,39
S-10	-	-	4,52	4,68	4,37	4,62	4,47	4,82	4,46	4,36
S-11	-	-	5,30	5,28	6,29	4,65	4,56	4,65	4,44	4,34
S-12	-	-	-	14,92	15,21	-	-	-	-	-
S-13	-	-	-	-	18,15	15,24	13,42	12,89	12,67	12,61
S-14	-	-	-	-	8,54	5,20	8,04	8,05	10,13	8,11
S-15	-	-	-	-	-	6,55	6,05	6,25	5,65	4,10

**Tabla III.7-** Niveles freáticos obtenidos de Noviembre del 2008 a Agosto del 2009.  
Los valores están en elevación (msnm).

#### **Comentarios:**

En la configuración del nivel registrado en el mes de abril temporada de estiaje, como se puede ver en la figura III.4. En el área de estudio la máxima elevación del nivel estático se localiza en el piezómetro S-7 con 49,9 msnm y la mínima en el piezómetro S-15 con 4,7 msnm, localizado en el canal de desfogue del diseño propuesto para dicha obra. La dirección del flujo del agua subterránea que se presenta alrededor del S-7 es radial con descarga parcial a casa de maquinas y desfogue como se observa en la Figura III.4.

En la configuración del nivel estático del mes de Agosto del 2009, temporada de lluvia, la máxima elevación del nivel estático se presenta alrededor de S-7 con 50,3 msnm y la mínima hacia el piezómetro S-15 con 4,1 msnm, la dirección del flujo del agua subterránea se observa que es radial con descarga parcial hacia aguas debajo de casa de maquinas y canal de desfogue (Figura III.5).

La preparación de un mapa del nivel freático. El nivel freático del agua de los pozos coincide con el nivel freático. En primer lugar se sitúan en un mapa las localizaciones de los pozos y la elevación del nivel freático por encima del nivel del mar. Estos puntos se utilizan para trazar las líneas del contorno del nivel freático a intervalos regulares. Las líneas de flujo del agua subterránea pueden añadirse para mostrar el movimiento del agua en la parte superior de la zona de saturación. El agua subterránea tiende a moverse más o menos perpendicularmente a los contornos, descendiendo por la pendiente del nivel freático.

Para el mes de Abril se realizo esta configuración de los niveles freáticos, donde se muestra el flujo de NW-SE, con una pendiente ligera.

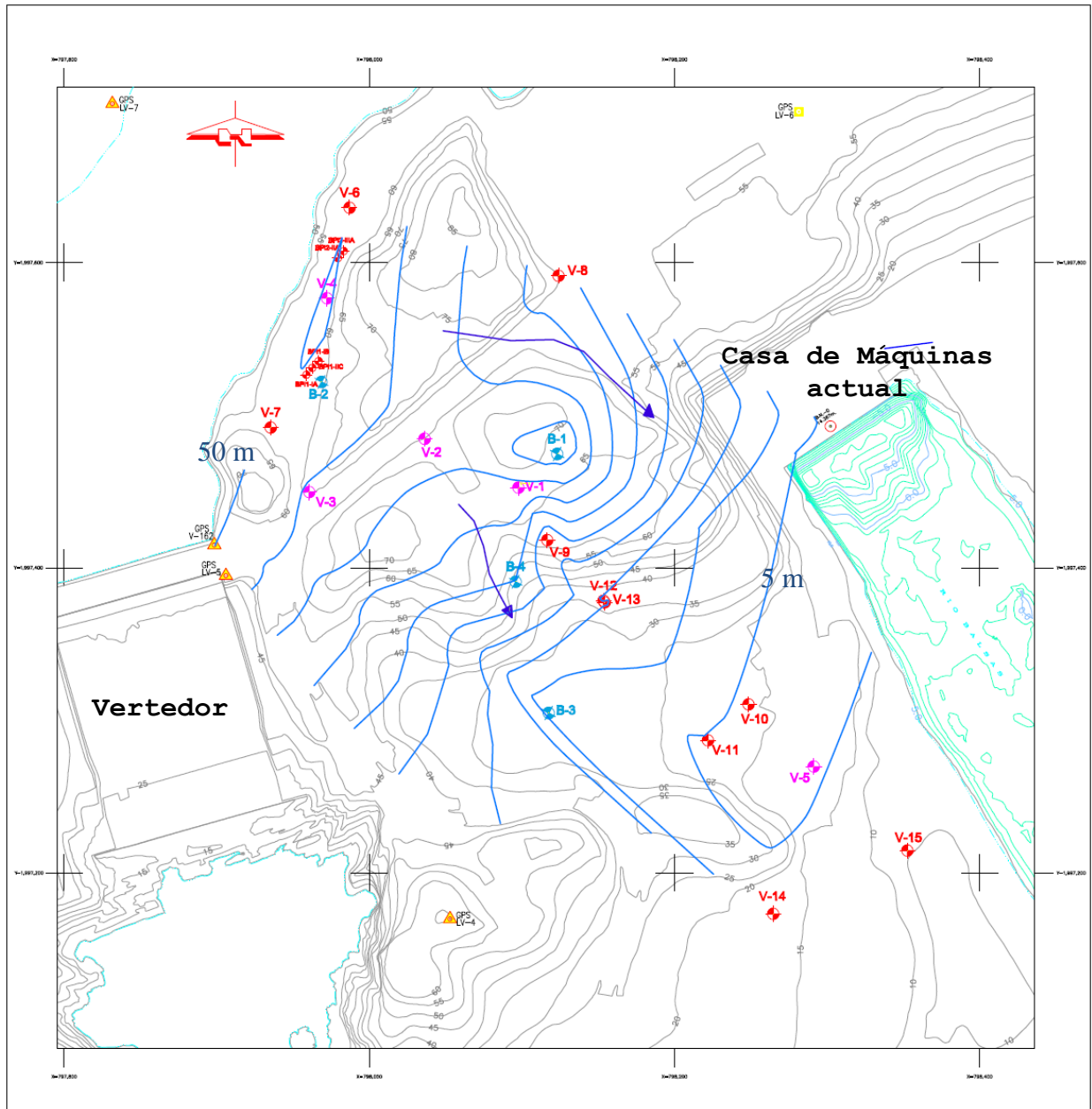


Figura III.4 - Niveles freáticos registrados en el mes de Abril 2009.



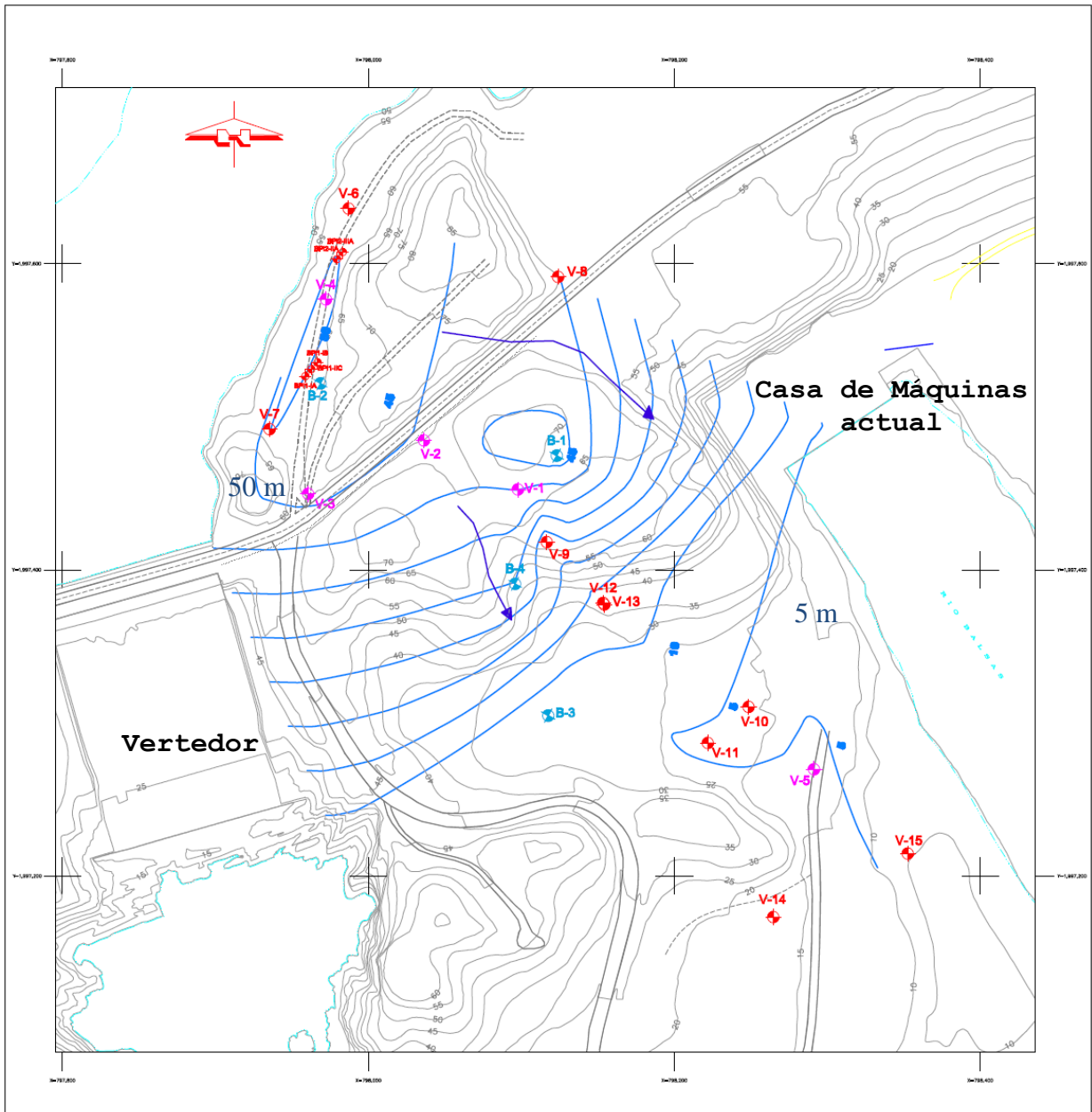


Figura III.5 - Niveles freáticos registrados en el mes de Agosto 2009.

### III.3 Permeabilidad del Macizo Rocoso

Con el propósito de conocer el posible flujo de agua en el macizo rocoso donde se construirán las obras de ampliación se realizaron varias pruebas de permeabilidad. A continuación se indican las generalidades de los trabajos realizados y los principales resultados obtenidos.



Fotografía III.1 – Equipo para realizar pruebas de permeabilidad.

#### Interpretación de las Pruebas de Permeabilidad

Se realizaron 39 pruebas de permeabilidad en 5 de los 10 barrenos perforados, los resultados obtenidos se resumen en las tablas III.2a y III.2b.

BNO	LITOLÓGÍA	Tramo Probado	Recup. Total (%)	RQD %	Calidad Roca	Nivel Freático	Absorción l/min/m	Presión MPa	PERMEABILIDAD Permeabilidad Inferida	
S7	Rezaga	0.00 - 8.20	30	0	-	-	-	-	N.P.	
	Andesita Fracturada	8.20 - 15.55	25	0	MM	-	-	-		
	Brecha Andesítica	15.55 - 18.80	90	35	M	9.70	-	-		
	Dacita	18.80 - 22.20	95	80	B	9.81	-	-		
	Brecha Andesítica	22.20 - 25.00	90	85	B	9.80	-	-		
			25.00 - 30.00	60	0	MM	9.79	-	-	N.O.
			30.00 - 35.00	55	40	M	-	-	-	
			35.00 - 40.00	100	75	B	9.80	0,09	1.13	Impermeable
	Andesita-Dacita		40.00 - 45.00	95	80	B	10.45	0,22	1.18	
			45.00 - 50.00	95	80	R-B	-	0.30	1.22	
		50.00 - 55.00	100	95	E	9.82	0,1	1.28		
		55.00 - 60.00	100	85	B	-	0,62	1.33		

Tabla III.2a. Litología, calidad de la roca y permeabilidad obtenida en los barrenos probados.

CAPITULO III: EXPLORACIÓN DIRECTA

BNO	LITOLÓGÍA	Tramo Probado	Recup. Total (%)	RQD %	Calidad Roca	Nivel Freático	Absorción l/min/m	Presión MPa	PERMEABILIDAD Permeabilidad Inferida	
S8	Rezaga	0.00 - 2.50	35	0	-	-	-	-	N.P.	
	Andesita-Dacita fracturada	2.50 - 7.00	70	25	MM - R	-	-	-		
	Andesita-Dacita	7.00 - 15.00	100	90	E	-	-	-		
	Brecha Andesítica	15.00 - 20.00	80	50	-	-	0.84	1.14	Impermeable	
	Andesita-Dacita	20.00 - 25.00	80	50	M - R	-	0.29	1.19	N.P.	
		25.00 - 30.00	85	30	-	26.50	-	-		
		30.00 - 35.00	75	10	MM	25.00	0.36	1.29	Impermeable	
		35.00 - 40.00	70	0	-	-	0.18	1.34	Poco permeable	
		40.00 - 45.00	50	30	M	-	0.14	1.18	Impermeable	
		45.00 - 50.00	90	50	R	-	-	-	N.P.	
		50.00 - 55.00	100	60	-	-	0.54	1.48	Impermeable	
		55.00 - 60.00	90	45	-	-	-	-	N.P.	
		60.00 - 65.00	80	18	M - R	-	-	-		
		65.00 - 70.00	75	25	-	-	1.25	1.63	Poco Impermeable	
		70.00 - 75.00	95	25	MM - R	-	1.16	1.68		
75.00 - 80.00		50	20	-	25.15	-	-	N.P.		
S9	Rezaga	0.00 - 14.00	0	0	-	-	-	-	N.P.	
	Andesita	14.00 - 35.00	55	15	MM	-	-	-	Impermeable	
		35.00 - 40.00	100	65	R	-	0.10	11.29		
		40.00 - 45.00	100	30	MM-M	-	0.30	11.09		
		45.00 - 50.00	100	45	M	-	0.89	12.49		
		50.00 - 55.00	100	65	R	-	0.18	13.09		
		55.00 - 60.00	100	50	M-R	-	0.26	13.59		
		60.00 - 65.00	100	30	M	-	0.46	14.06		
		65.00 - 70.00	100	30	-	-	0.50	14.59		
		70.00 - 75.00	100	20	-	-	1.95	17.13		
		75.00 - 80.00	80	0	MM	-	1.80	17.63		
		80.00 - 85.00	100	35	M	-	1.92	18.13		
		85.00 - 90.00	35	0	MM	-	2.15	18.63		Poco permeable
		90.00 - 95.00	100	40	R	-	-	-		N.P.
		95.00 - 100.00	100	50	R-B	-	0.65	19.63		Impermeable
		100.00 - 105.00	70	20	-	-	1.49	18.13		
		105.00 - 110.00	50	5	MM	-	0.68	0.69	N.P.	
110.00 - 116.00	80	10	-	-	-	-				
116.00 - 121.00	90	50	R-M	-	0.58	7.60	Impermeable			
S10	Rezaga	0.00 - 25.50	40	0	-	-	-	-	N.P.	
	Andesita Fracturada	25.50 - 30.50	75	25	MM - M	16.25	2.85	1.04	Poco permeable	
	Andesita	30.50 - 35.50	55	20	MM	-	2.04	1.14		
		35.50 - 40.50	100	50	R	-	0.75	1.34	Impermeable	
		40.50 - 45.50	75	35	M - R	-	7.71	1.19	Poco permeable	
45.50 - 50.50	55	10	MM	-	1.16	1.43	Impermeable			
S11	Rezaga	0.00 - 25.50	20	0	-	-	-	-	N.P.	
	Andesita Fracturada	25.50 - 30.50	75	0	-	-	8.42	1.24	Poco permeable	
	Andesita	30.50 - 35.50	35	0	MM	17.19	1.96	1.09		
		35.50 - 40.50	45	5	-	-	1.91	1.14	Poco Impermeable	
		40.50 - 45.50	50	15	-	17.30	8.56	1.19	Permeable a Poco permeable	
45.50 - 50.50	100	30	MM - M	-	17.45	1.24				

**Tabla III.2b.** Litología, calidad de la roca y permeabilidad obtenida en los barrenos probados.

De la anterior tabla se explica lo siguiente:

En el Barreno S7, se realizaron 5 pruebas, no se probó de 0,0 a 25,0 metros, porque la roca esta descomprimida y en el tramo de 25,0 a 35,0 m, no obturó el permeámetro. Los tramos probados en andesitas brechoides con intercalaciones de dacitas, de 35,0 a 60,0 m, se clasificaron como Impermeables.

Para el Barreno S8 se realizaron 9 pruebas, los resultados obtenidos permitieron clasificar a la parte probada como una brecha andesítica y dacita: que de 15,0 a 25,0 m como Impermeable; de 30,0 a 35,0 m a partir de este tramo la roca andesítica se clasifica como impermeable, con dos tramos poco permeables intercalados entre 35,0 a 40,0 m y 65,0 a 75,0 m de profundidad donde la roca estuvo fracturada. En los tramos de: 25,0 a 30,0; 45,0 a 50,0; 55,0 a 65,0; y 75,0 a 80,0 m, no se pudieron hacer las pruebas por falta del permeámetro.

En el Barreno S9, se realizaron 15 pruebas. De 0,0 a 14,0 metros, se tiene una zona con material de rezaga y roca andesítica fracturada. En el tramo de 14,0 a 35,0 m no se hicieron pruebas de permeabilidad. De 35,0 a 85,0 m, en general, la roca es impermeable; 85,0 a 90,0 m la roca es poco permeable. El tramo 90,0 a 95,0 m no se pudo probar, por falta de permeámetro. En los tramos de 95,0 a 110,0 y 116,0 a 121,0 m (fondo) es impermeable.

En el Barreno S10 se realizaron 5 pruebas, en el cual se tiene una zona poco permeable, de 25,5 a 35,5 m; de 35,5 a 40,5 m, en general la roca es impermeable. De 40,5 a 45,5 m es poco permeable. El tramo 45,5, a 50,5 m (fondo) es impermeable.

Para el Barreno S11 se realizaron 5 pruebas de permeabilidad, presenta una zona poco permeable de 25,5 a 35,5 m; de 35,5 a 40,5 m, es poco impermeable. De 40,5 a 50,5 m (fondo) se clasifica de permeable a poco permeable.

### III.2 Cartografía

Para esta tesis se tomo como base topográfica parte de la carta **E13B89** LA MIRA (1:50,000) de INEGI, y a detalle escala 1:1000, 6 ha de la zona de La Villita, ubicando como punto conocido MOJ1 (X=798230.36, Y=1997782.75, Z=60.01). En el cual se posicionaron principalmente datos geológicos estructurales importantes, contactos geológicos y posición de lugares donde se tomaron muestras para que se hiciera análisis petrográfico y para ensayos de laboratorio, así como la localización de sondeos. Se describieron cortes carreteros, caminos rurales y fotografías aéreas.

En forma local se cartografiaron 4 ha para conocer la geología de la zona cercana a la Presa José María Morelos y Pavón (en funcionamiento) y de la zona de interés para posibles obras de infraestructura complementaria. Se efectuaron reconocimientos geológicos regionales aprovechando las carreteras federales y la autopista Lázaro Cárdenas – Morelia, con lo cual se cubrió una superficie general de 2 km<sup>2</sup>.

Para conocer detalles de la estratigrafía del subsuelo y registrar algunas de las fallas mas importantes se realizaron 628 m de perforación con recuperación de núcleo en diámetro NQ (74.5 mm) y, como complemento, se revisaron informes de los núcleos obtenidos en campañas exploratorias anteriores.

Con el propósito de conocer más detalles en la zona de más interés se excavaron 50 m<sup>3</sup> de depósitos poco consolidados (suelos y roca alterada), repartidos en 4 pozos a cielo abierto (PCA). Cabe resaltar que, a pesar de las excavaciones realizadas, no se pudieron observar las expresiones de las fallas en la superficie del terreno y en uno de ellos se observo en forma bien definida un dique, como se ilustra en la fotografía III.2.

POZO	DESCRIPCION	UBICACIÓN
PCA1	Gravas de ½ a 1 pulgadas bien clasificado	Lado Izquierdo del Acceso
PCA2	Gravas de ½ pulgada	A 2 mts del barreno S12
PCA3	Un dique diorítico de 3 mts de ancho, N50°W/65°	64 mts hacia el SW, del barreno S12
PCA4	Contacto con el cuerpo intrusivo Dioritico con las Andesitas	Camino de Acceso
PCA5	Contacto entre intrusivo Dioritico y andesitas	Acceso

Tabla III.3 – Tabla de Ubicación y descripción de los pozos realizados en la zona de estudio.



Fotografía III.2 – Pozo a cielo abierto.

#### Equipo Empleado

- GPS, marca GARMIN, modelo eTrex H.
- Brújula Tipo Brunton.
- Flexómetro (5 m) y Cinta (50 m).
- Programa AUTOCAD 2008 con CIVIL CAD.

## **IV. EXPLORACION INDIRECTA**

### **IV.1 - GEOFÍSICA**

Se realizaron exploraciones geofísicas con el fin de enriquecer el modelo geológico en los sitios establecidos, perforación con recuperación de núcleo y pruebas de permeabilidad tipo Lugeon sobre los ejes de las obras contempladas en la ampliación de la central. Los métodos geofísicos en estos trabajos fueron el sondeo eléctrico vertical y refracción sísmica.

#### **IV.1A - Objetivos.**

La integración e interpretación de los estudios geofísicos llevados a cabo en los sitios del proyecto:

Contribuir a determinar el modelo geológico del subsuelo en el área de interés, hasta profundidades de investigación de 30 m (TRS) y 100 m (SEV).

Determinar el espesor de suelos o depósitos no consolidados, así como el espesor de alteración y fracturamiento en las rocas superficiales.

Localizar y delimitar posibles zonas de debilidad dentro del macizo rocoso.

Estimar la calidad de las rocas a partir de su velocidad longitudinal y resistividad eléctrica.

#### **IV.1B - Procesamiento de los datos.**

El procesamiento de los datos geofísicos se efectuó con la ayuda de programas de cómputo de aplicación específica.

Para la técnica de refracción sísmica se determina el modelo 2D de capas de velocidad sísmica. Para cada sección se correlacionaron los TRS realizados para formar la sección sísmica correspondiente.

En la técnica de SEV se aplicaron los programas Resix Plus e IX1D V2, que permiten determinar modelos 1D de resistividad mediante la inversión de cada curva de campo, y así obtener la distribución de resistividad bajo cada estación de SEV.

## V. INTEGRACIÓN GEOLÓGICO-GEOFÍSICA

Con toda la información recabada mediante levantamientos detallados de: Geología de superficie, geofísica de subsuelo (sísmica de refracción y resistividad eléctrica), así como la descripción de núcleos de roca, se realizaron las secciones integradas geológico-geofísicas correspondientes, con las cuales se describe y zonifica al macizo rocoso de acuerdo a sus condiciones geomecánicas y parámetros geofísicos.

El área estudiada esta constituida por una secuencia volcanosedimentaria que incluye derrames, brechas y tobas de andesitas (KiT-A) y tobas piroclásticas andesíticas-dacíticas (KiT-ta), que están afectadas por un intrusivo diorítico (TmD) y se encuentran cubiertas parcialmente por materiales no consolidados y de relleno que incluyen rezaga (Rz), suelo residual (Qsr), depósitos aluviales (Qal) y de talud (Qdt).

Al efectuar la correlación de la información geológica disponible y los parámetros geofísicos se delimitaron 6 unidades identificadas como  $U_1$  a  $U_6$ , cuyos valores de velocidad, resistividad, espesor y su correspondiente correlación geológica se presentan sintetizados en la Tabla V.1. En este estudio la descripción de las unidades se obtuvo considerando el valor de su velocidad y resistividad con su correlación geológica de la siguiente manera.

**Unidad  $U_1$ .**- Material de relleno constituido por rezaga, suelo residual, depósitos aluviales y de talud. Presenta velocidad de onda que varía de 300 a 1100 m/s; en este caso la velocidad de 1100 m/s corresponde a un material con cierto grado de compactación (la parte basal) formado por depósitos aluviales con espesor de hasta 45 m, ubicados en la parte sur sureste de la zona de estudio. Por tratarse de materiales con poca cohesión, su resistividad es muy variable y va de 11 a 3456  $\Omega$ m, además de las condiciones y características físicas en que se encuentran, como es el grado de humedad, la proporción de espacios vacíos y el volumen de arcilla entre otros.

**Unidad  $U_2$ .**- Es una roca intemperizada, descomprimida y sumamente alterada y fracturada, representada por derrames y brechas de andesita y tobas piroclásticas andesíticas, así como también por rocas de la parte superficial del cuerpo intrusivo de diorita. Esta unidad en general forma una capa con espesor que varía de 1,0 a 21,0 m, con una velocidad de onda compresional que va de 500 a 1200 m/s, mientras que su resistividad es de 76 a 375  $\Omega$ m, lo que sugiere que contiene arcilla y humedad o agua en sus espacios, se encuentra por debajo de la unidad  $U_1$ . Por las características geomecánicas y geofísicas de estas rocas, su calidad es muy mala.

**Unidad  $U_3$ .**- Se correlaciona con una roca muy fracturada y alterada, que corresponde a derrames y brechas de andesitas, y tobas piroclásticas andesíticas que subyacen a los diferentes materiales de relleno de la unidad  $U_1$  y a la roca descomprimida de la unidad  $U_2$ . La velocidad de onda compresional de esta unidad es reducida y varía de 1000 a 1200 m/s, mientras que su rango de resistividad es amplio y varía de 36 a 777  $\Omega$ m, su espesor varia de 4,0 a 27 m. Las características mencionadas anteriormente indican que esta unidad corresponde con una roca de muy mala a mala calidad, se encuentra por debajo de las unidades  $U_1$  y  $U_2$ .

**Unidad U<sub>4</sub>.**- Esta formada por rocas fracturadas y ligeramente alteradas que corresponden con derrames, brechas y tobas andesíticas de la secuencia volcánica; con una velocidad de onda compresional de 1800 a 2500 m/s y una resistividad de 27 a 540  $\Omega$ m lo que indica que en algunos sitios puede contener arcilla; su espesor varía de 3,0 a 37 m. Por las características anteriores se clasifica como roca de mala a regular calidad, por lo general se encuentra por debajo de la unidad U<sub>3</sub>.

**Unidad U<sub>5</sub>.**- Esta compuesta por derrames, brechas y tobas andesíticas sanas pero fracturadas y ligeramente compactas, con parámetros geofísicos de velocidad de onda compresional de 2700 a 3100 m/s y una resistividad eléctrica de 139 a 1972  $\Omega$ m, con un espesor de 20 a 80 m. Por las características mencionadas se considera como una roca de regular calidad, se encuentra por debajo de las unidades U<sub>3</sub> y U<sub>4</sub>.

**Unidad U<sub>6</sub>.**- Corresponde a la roca mas profunda ubicada en la parte noroeste y central de la zona de estudio, constituida por los derrames y brechas andesíticas, así como por el intrusivo diorítico que se encuentra en la parte sur del área. Presenta los parámetros geofísicos más favorables, una velocidad de onda compresional de 3300 a 4000 m/s y una resistividad de 171 a 931  $\Omega$ m, por lo anterior se considera como una roca compacta con una buena calidad, se encuentra por debajo de las unidades U<sub>4</sub> y U<sub>5</sub>.



**CAPITULO V: INTEGRACIÓN GEOLOGICA-GEOFÍSICA**

<b>UNIDAD</b>	<b>VELOCIDAD LONGITUDINAL (m/s)</b>	<b>RESISTIVIDAD (Ωm)</b>	<b>ESPESOR (m)</b>	<b>CORRELACIÓN LITOLÓGICA</b>	<b>CALIDAD DE LA ROCA</b>
<b>U<sub>1</sub></b>	300 - 1100	11 - 3456	1,0 – 45	Materiales de relleno como: rezaga (Rz), suelo residual (Qsr), depósitos aluviales (Qal) y de talud (Qdt).	Muy mala
<b>U<sub>2</sub></b>	500 - 1200	76 - 375	3,0 – 21	Derrames volcánicos, brechas y tobas andesíticas (KiT-A), tobas piroclásticas de andesita-dacita (KiT-ta) e intrusivo diorítico (TmD), roca superficial descomprimida, sumamente intemperizada, alterada y fracturada.	Muy mala
<b>U<sub>3</sub></b>	1000 - 1200	36 - 777	4,0 - 27	Derrames, brechas y tobas andesíticas (KiT-A) y tobas piroclásticas andesíticas (KiT-ta), muy fracturadas y alteradas.	Muy mala a mala
<b>U<sub>4</sub></b>	1800 - 2500	27 - 540	3,0 - 37	Derrames, brechas y tobas andesíticas (KiT-A), y tobas piroclásticas andesíticas (KiT-ta), fracturadas y ligeramente alteradas.	Mala a regular
<b>U<sub>5</sub></b>	2700 - 3100	139 - 1972	20 - 80	Derrames, brechas y tobas andesíticas (KiT-A), y tobas piroclásticas andesíticas (KiT-ta), fracturadas, sanas.	Regular
<b>U<sub>6</sub></b>	3300 - 4000	171 - 931	-----	Derrames y brechas (KiT-A) e intrusivo diorítico (TmD) sanas y compactas.	Regular a buena

**Tabla V.1** - Correlación geológico-geofísica y características geomecánicas de las unidades.

## VI.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1.- De acuerdo con el marco tectónico regional, del área de Interés, se ubica en la zona de influencia de la subducción de las placas de Cocos y Norteamericana, por lo que continuamente ocurre sismicidad de magnitud moderada a fuerte, entre 5 y 6 grados Richter, como lo indican los sismos de Agosto de 2006 y Enero de 2009. Las aceleraciones registradas en este periodo de estudio no representaron peligro para las instalaciones en operación de la Central.

2.- En la zona de estudio, afloran rocas de una secuencia volcanosedimentaria Mesozoica compuesta por derrames, brechas y tobas, todas pseudoestratificadas y de composición principalmente andesítica-dacítica. La secuencia anterior fue intrusionada por un cuerpo intrusivo diorítico y por diques pequeños, con edad del Terciario. Todas las rocas anteriores están cubiertas en forma parcial por depósitos recientes de suelo residual, aluviales, de talud y por material de rezaga.

3.- Las rocas de la secuencia volcanosedimentaria tienen una porción pseudoestratificada gruesa a masiva y con espesores mayores de 5 m, y otra con pseudoestratificación delgada y bien definida, con capas de 5 a 30 cm de espesor. En gran parte de la zona estudiada se tiene alteración hidrotermal (propilitización, caolinización, argilitización, silicificación y carbonatación), por la cercanía del cuerpo intrusivo Diorítico, además de mineralización metálica, principalmente óxidos de hierro (especularita y hematita) y sulfuros de cobre (pirita), la mayoría de estos parámetros le restan calidad al macizo rocoso.

4.- La pseudoestratificación (Sis0) de las rocas volcanosedimentarias tienen una dirección preferencial NE67°SW/65°SE. Además, están afectadas por tres sistemas de fallas y fracturas, con dirección y buzamiento preferenciales Sis1= NE30°SW/43°NW, Sis2= NW50°SE/60°NE, además de una deformación que le provocó basculamiento y desplazamiento capa-capa en sus pseudoestratos con dirección Sis3= NE65°SW/65°SE.

5.- Las dioritas del intrusivo mayor están afectadas por dos sistemas de fracturamiento con una dirección Sis4= NE50°- 80°W/75°-80°SE, y Sis5=NW11°SE/70°SW. Los diques, en su mayoría están emplazados en el primer sistema de fracturamiento Sis1.

6.- Con los resultados de las pruebas de permeabilidad realizadas en algunos de los barrenos perforados, a grandes rasgos se puede decir que dentro del macizo rocoso existen tres capas paralelas a la superficie con características de permeable hasta los 15,0 m de profundidad, poco permeable de los 15,0 a los 35,0 m de profundidad y la zona impermeable después de los 35,0 m de profundidad.

7.- Con la información de la geología superficial, de subsuelo y los datos de la exploración geofísica se determinaron 6 unidades geológico-geofísicas que caracterizan al macizo rocoso. De la integración geológica-geofísica se puede ver que a pesar de que en algunas porciones los valores de RQD obtenidos en los núcleos de los barrenos perforados son bajos, las velocidades de la onda compresional son altas (>3000 m/s); lo cual sugiere que el macizo rocoso confinado se comporta parcialmente como un medio continuo, debido a que las fracturas están cerradas o rellenas por calcita, epidota o sílice.

8.- La unidad geológico-geofísica  $U_1$  se correlaciona con los materiales de relleno y sin consolidar como la rezaga, el suelo residual, los depósitos de talud y aluviales (estos últimos semiconsolidados a profundidad); presentan un bajo valor de velocidad de onda sísmica que varía de 300 a 1100 m/s y un rango de resistividad muy variable acorde a las condiciones físicas. Su espesor promedio es de 8 a 10 m, con excepción de la zona sureste donde los depósitos aluviales tienen un espesor de hasta 42 m. Las unidades  $U_2$  a  $U_6$  corresponden con los derrames y brechas de andesitas pseudoestratificadas masivas, tobas de andesita-dacita con pseudoestratificación delgada y el intrusivo diorítico. La unidad  $U_2$  constituye la roca superficial descomprimida e intemperizada y muy alterada. La unidad  $U_3$  con velocidad de 1000 a 1200 m/s es una roca de muy mala a mala calidad. La unidad  $U_4$  corresponde a roca de mala a regular calidad con velocidad de 1800 a 2500 m/s y generalmente con un RQD promedio de 50%. La unidad  $U_5$ , representa roca de regular calidad con velocidad de 2700 a 3100 m/s; finalmente, la unidad  $U_6$ , indica la roca de buena calidad con velocidad de 3300 a 4000 m/s.

### **Recomendaciones**

- 1.- Se requiere de un estudio de exploración de los bancos de material por utilizar, por lo que será necesario ubicar y evaluarlos, para conocer las distancias al sitio de obras, la calidad, cantidad y requerimientos de explotación de los mismos.
- 2.- Se recomienda realizar un estudio de mecánica de suelos para caracterizar los materiales aluviales que se ubican en la zona sureste, donde puede quedar desplantado parte del proyecto
- 3.- Las obras de infraestructura como las presas El Infiernillo o José Ma. Morelos y Pavón, así como el Puerto de Altura y las instalaciones industriales localizadas en la región estudiada (cerca de la costa y continente adentro) están en un área tectónicamente activa y se han comportado favorablemente para resistir los eventos sísmicos (con magnitud hasta de 8.1), por lo cual se recomienda continuar realizando obras de infraestructura en la zona.
- 4.- Hacer a la par de los estudios técnicos se deberán hacer estudios de Impacto Ambiental y Socioeconómico para futuros proyectos, con el propósito de darles viabilidad y que, con ello, se contribuya al progreso de la región.

## VII.- BIBLIOGRAFÍA

**Anderson J., P. (1986).** "Strong ground motion from the Michoacan, Mexico, Earthquake", Vol. 233, *Science*, 1043-1049.

**Alberro, A. J;** José María Morelos, Comisión del Río Balsas, SRH-Comisión Federal de Electricidad. Parte 1. México, D.F. p. 128.

**Álvarez Mejía, R. (1990).** Estabilidad de Taludes de las Minas de SICARTSA, Las Truchas, Mich. Tesis Profesional – Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Araujo, C. A. (1991).** Sísmicidad y mecanismos focales de la Brecha (GAP) de Guerrero: Morfología de una placa joven. Tesis Profesional. UNAM, Instituto de Geofísica.

**Barriga Llanos, P (2006).** Interpretación de los estudios de refracción sísmica y sondeo eléctrico vertical, Ampliación C. H. La Villita, Mich.

**Barrios Rodríguez, F. (2002).** Carta Geológica Minera Lázaro Cárdenas **E13-6-9**, Michoacán, Colima, Guerrero y Jalisco. Escala 1: 250 000. Coremi, Secretaria de Economía - México. Pachuca, Hidalgo (Septiembre).

**Barton, N., Lien, R. and Lunde, J. (1974).** *Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. Rock Mechanics* 6, 189-236.

**Bieniawski, Z. T. (1984),** *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A. A. Balkema. Rotterdam, pp. 97 - 133.

**Campa, Ma. F.; Coney, P.J. (1983).** *Tectono-stratigraphic terranes and mineral resource distributions in Mexico*, Can. J. Earth Sci. **20**(6): 1040-1051.

**Campa, Ma. F.; Ramírez, J.; Flores, R. y Coney, P. (1981).** Terrenos tectonoestratigráficos de la Sierra Madre del Sur, región comprendida entre los estados de Guerrero, Michoacán, México y Morelos. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero.

**Carranza Edwards, A.; Márquez García y Morales de la G., E. A. (1986).** Estudio de sedimentos de la plataforma continental del estado de Guerrero y su importancia dentro de los recursos, UNAM, México 13 (3): 241-262.

**Centeno-García, E; Corona-Chávez, P; Talavera-Mendoza, O. e Iriondo, Alex. (2003).** *Geology and tectonic evolution of the western Guerrero Terrane - a transect from Puerto Vallarta to Zihuatanejo, Mexico. Geologic transects across Cordilleran Mexico, Guidebook for the field trips of the 99th Geological Society of America Cordilleran Section Annual Meeting, Puerto Vallarta, Jalisco, Mexico: Mexico, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Publicación Especial 1, Field trip 9, p. 201–228.*

**Centeno-García, E. 1994.** *Tectonic evolution of the Guerrero Terrane, western Mexico: Tucson, University of Arizona, Ph. D. dissertation, 220 p. (unpublished).*

**CFE (1976).** Planta Hidroeléctrica La Villita, Guerrero - Michoacán. Tríptico Informativo.

**Corona-Esquivel, R., (1993)**, Modelo de yacimientos de hierro y minerales asociados de Ag, Pb, Zn, Cu y Au en la porción suroccidental de México, *en* Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, XX Convención Nacional Memorias: México. 105-111.

**Corona-Esquivel, R., Alencáster, G., (1995)**, *Rudist from the Peñacolorada iron mine and La Minita sulfide deposit, states of Colima y Michoacán, SW México*: Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 12, 185-190.

**Cota, R. J. (1984)**. Geología Superficial de Reconocimiento - Prospecto La Mira. IMP. Informe Inédito, México.

**González de Vallejo, L.**, Ingeniería Geológica, Ed. Pearson, Madrid, 2002.

**Google earth (2009)**. Web site.

**Hoek, E.T. Brown (1985)** Excavaciones subterráneas en roca.

**INEGI (1983)**. Síntesis de la Geología de México.

**López Marinas, J. M. (2002)**. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. CIE INVERSIONES EDITORIALES

**Márquez G. A. y Morales de la Garza, E. (1984)**. Sedimentología de la Plataforma Continental del Estado de Guerrero, México. Tesis profesional UNAM

**Mc Nally, C. K. and Minster, J. B. (1981)**. *Non Uniform seismic slip rates along the Middle American trench. Journal of Geophysical Research, Vol. 86.*

**Olalde G., J.A. Salgado S. Z. (2009)** Estudio Geológico-Geofísico para las obras de Ampliación de la C.H. La Villita, Michoacán, México.

**Pantoja-Alor, J., (1974)**. Estudio Geológico-Estructural del tajo San Pascual, Pihuamo, Jalisco: Las Encinas, S. A., informe técnico. Pantoja-Alor, J., Estrada-Barraza, S., 1986, Estratigrafía de los alrededores de la mina de hierro de El Encino, Jalisco: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 1(47), 15 p.

**PRESAS DE MÉXICO (1982-1994)**, Comisión Nacional de Aguas, V. III.

**Raisz, E. (1959)**. *Landforms of México. Cambridge, Mass. Mapa escala aproximada 1:3,000,000*

**Rodríguez, F. D. (1980)**. Prospecto Tecalitlán. PEMEX. Informe inédito, México.

**Ruiz, M., González, S. (2009)**. Geología Aplicada a la Ingeniería Civil. Ed. LIMUSA México.

**Salas, G. (1976)**. Prospección geológico-minera en el Estado de Michoacán. Consejo de Recursos Minerales. Publicación Técnica. México, D. F.

**Samaniego Martínez, D; Aramburu Pérez, V; Armenta Lucero J. J., y Chacón Sotelo J. E. (1995)**. Informe de Factibilidad Geológica para la Ampliación de la C. H. La Villita, estados de Michoacán y Guerrero.

**Sánchez Pérez, J., Barriga Llanos, P (2005).** Interpretación e integración de la Información Geológica y Geofísica para Diseñar las Obras de Ampliación a la Central Hidroeléctrica La Villita, Estado de Michoacán.

**SMMS (1990).** XI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Tomo 1, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Veracruz, Ver.

**SRH – CFE - Instituto de Ingeniería, UNAM (1976).** Comportamiento de presas construidas en México. Contribución al XII Congreso Internacional de Grandes Presas, México.

**SRH - Comisión del Río Balsas (1964).** Proyecto de la Presa La Villita sobre el Río Balsas, Ahuacatlán, Morelos.

**Suárez, G.; Monfret, T.; Wittlinger, G. and Novelo C, D. (1990).** *Geometry of Subduction and depth of the seismogenic zone in the Guerrero GAP, México. Nature, Vol. 345. No. 6237.*

**Vázquez, M. M. et al. (1985).** Evaluación Geofísica, Geológica y Barrenación Paramétrica. Prospecto El Tubo - Acalpican, Michoacán. **IMP**, Informe Inédito, México. México, D. F.

**Vidal, S. R. (1986).** Tectónica de la Región de Zihuatanejo, Guerrero., Sierra Madre del Sur. Tesis Profesional – Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. Instituto Politécnico Nacional. México.

**ANEXO FOTOGRÁFICO**



**A-1 - Toma de datos Estructurales.**



**A-2 – Brigada de Perforación.**



**A-3** – Descripción de afloramientos.





**A-4 – Realización de pruebas de permeabilidad**



**A-5 – Toma de Niveles Freáticos.**

# ANEXO FOTOGRAFICO



## FORMATO DE ESTUDIO PETROGRÁFICO



### I.- DATOS DE CAMPO

**Muestra N°:** V-96-1-09 "A"

**Colector:** Ing. Zacarias Salgado Soto.

**Localidad:** Ampliación C. H. La Villita, Michoacán. Coordenadas (UTM): X=798109.06m; Y=1997603.16m; ubicación: corte de talud en lado W de Subestación Eléctrica.

**Descripción del afloramiento:** Intercalación de capa de lutitas (¿?) de color café rojizo a morado y textura afanítica, dentro de la secuencia de brechas tobáceas pseudoestratificadas, de composición andesítica de color gris claro y textura porfídica con estructura masiva. Favor de realizar dos laminas una longitudinal y otra transversal a la estratificación de la muestra de roca. Clasificación probable: Limonita o lutita tobácea.

### II.- DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA

**Color:** Gris medio oscuro (N4).

**Estructura y textura:** Compacta-amigdalóide, porfídica.

**Minerales observables:** Feldespatos, clorita, sílice y calcita en oquedades y vetillas.

### III.- DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

**Textura:** Felsítica de intercrecimiento.

**Mineralogía:**

a) **Minerales esenciales:**

Oligoclasa	57%
Ortoclasa	35%

b) **Minerales accesorios:**

Cuarzo	5%
Opacos	3%

c) **Minerales secundarios:**

Calcita
Clorita
Sílice

d) **Matriz o cementante:** Matriz de material feldespático intercrecido de grano muy fino.

e) **Caracteres especiales:** Mosaico con escasos cristales de cuarzo de forma anedral constituido por cristales de tamaño muy fino conformado por feldespatos de forma irregular formando intercrecimiento con la plagioclasa, también se presentan oquedades rellenas por clorita y/o calcita y vetillas rellenas por sílice.



### IV.- ORIGEN DE LA ROCA Ígneo extrusivo.

### V.- CLASIFICACIÓN CUARZOLATITA, SILICIFICADA, CLORITIZADA Y CARBONATADA

**Fecha:** 31 de julio de 2009

**Petrógrafo:** Ing. Miguel Ángel Rivalcaba Sepúlveda

FORMATO DE PRUEBAS DE PERMEABILIDAD TIPO LUGEON

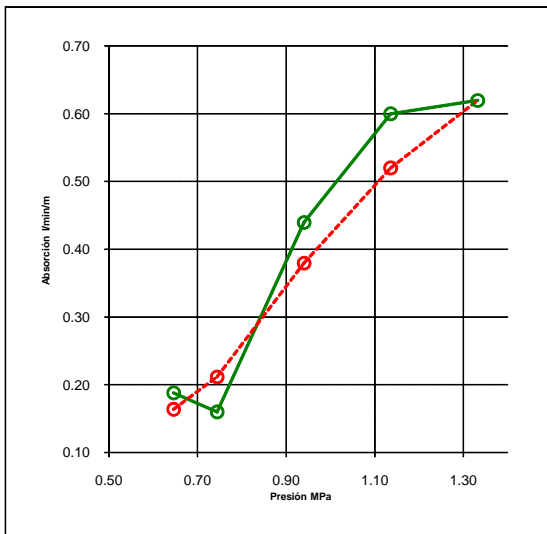
	<h2 style="margin: 0;">PRUEBAS TIPO LUGEON</h2> <h3 style="margin: 0;">HOJA DE CÁLCULO</h3>	
---	---	---

**PROYECTO:** AMPLIACION C.H. LA VILLITA, MICH. **TRAMO:**  
**BNO.:** V-7 **DE:** 55.00 **A:** 60.00 m  
**N. F.:** 9.60 m **INCL.:** 90 °  
**Alt. Manómetro:** 0.80 m **Tiempo de cada observación:** 5.00 min.

pm MPa	pm + ph MPa	pf MPa	P		V l	A l/min/m
			MPa	kg/cm <sup>2</sup>		
0.0981	0.6455	0.0000	0.6455	6.58	5	0.19
0.1962	0.7436	0.0000	0.7436	7.58	4	0.16
0.3924	0.9398	0.0000	0.9398	9.58	11	0.44
0.5886	1.1360	0.0000	1.1360	11.58	15	0.60
0.7848	1.3322	0.0000	1.3322	13.58	16	0.62
0.5886	1.1360	0.0000	1.1360	11.58	13	0.52
0.3924	0.9398	0.0000	0.9398	9.58	10	0.38
0.1962	0.7436	0.0000	0.7436	7.58	5	0.21
0.0981	0.6455	0.0000	0.6455	6.58	4	0.16

**pm** = presión manométrica  
**ph** = presión hidrostática  
**pf** = pérdidas por fricción

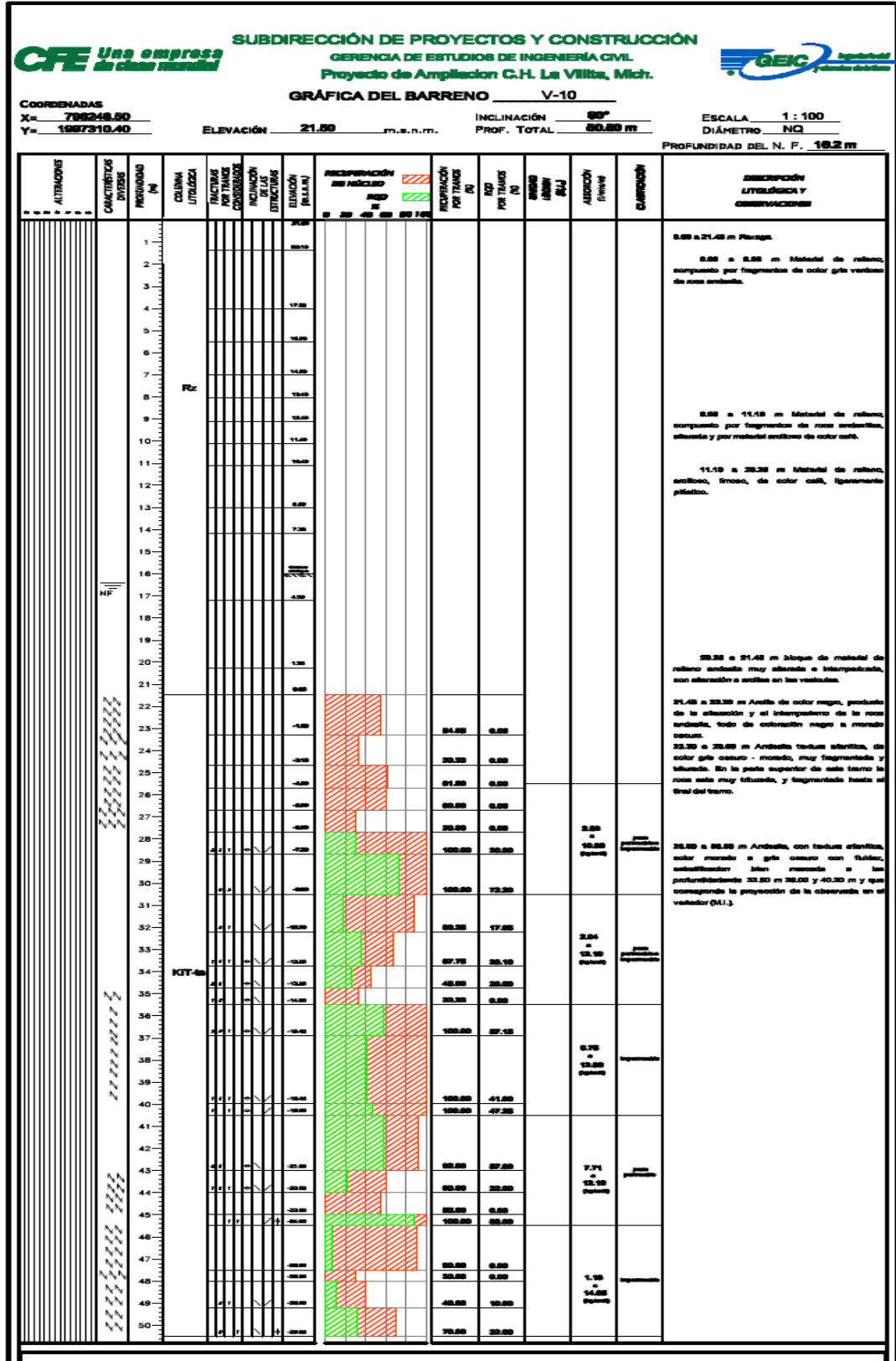
**ABSORCIÓN:** 0.62 l/min/m a 1.3322 MPa ( 13.58 kg/cm<sup>2</sup> )



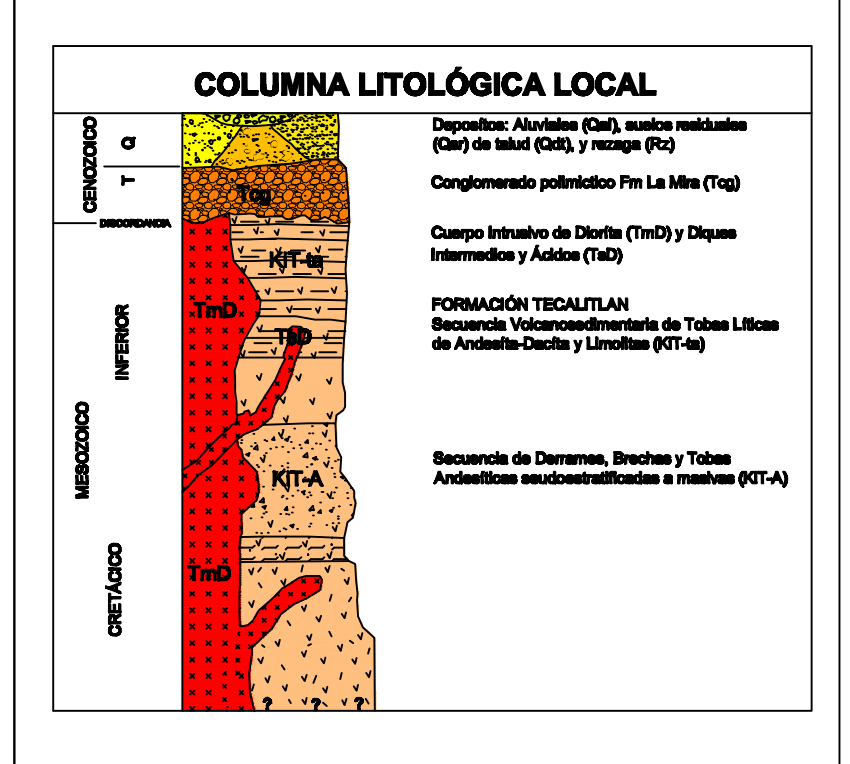
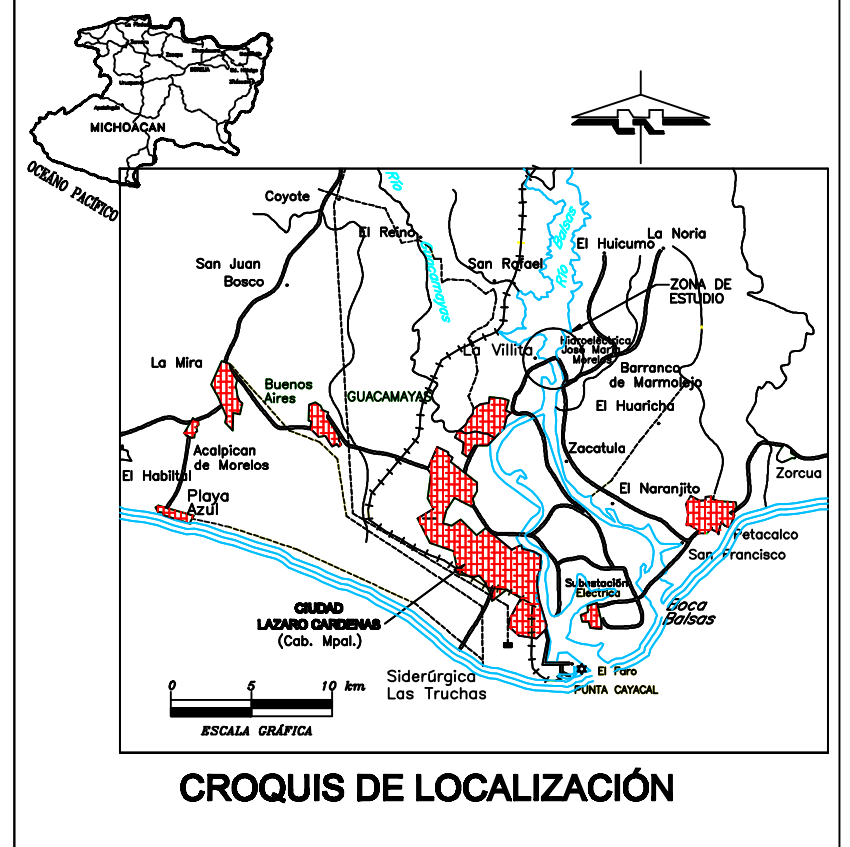
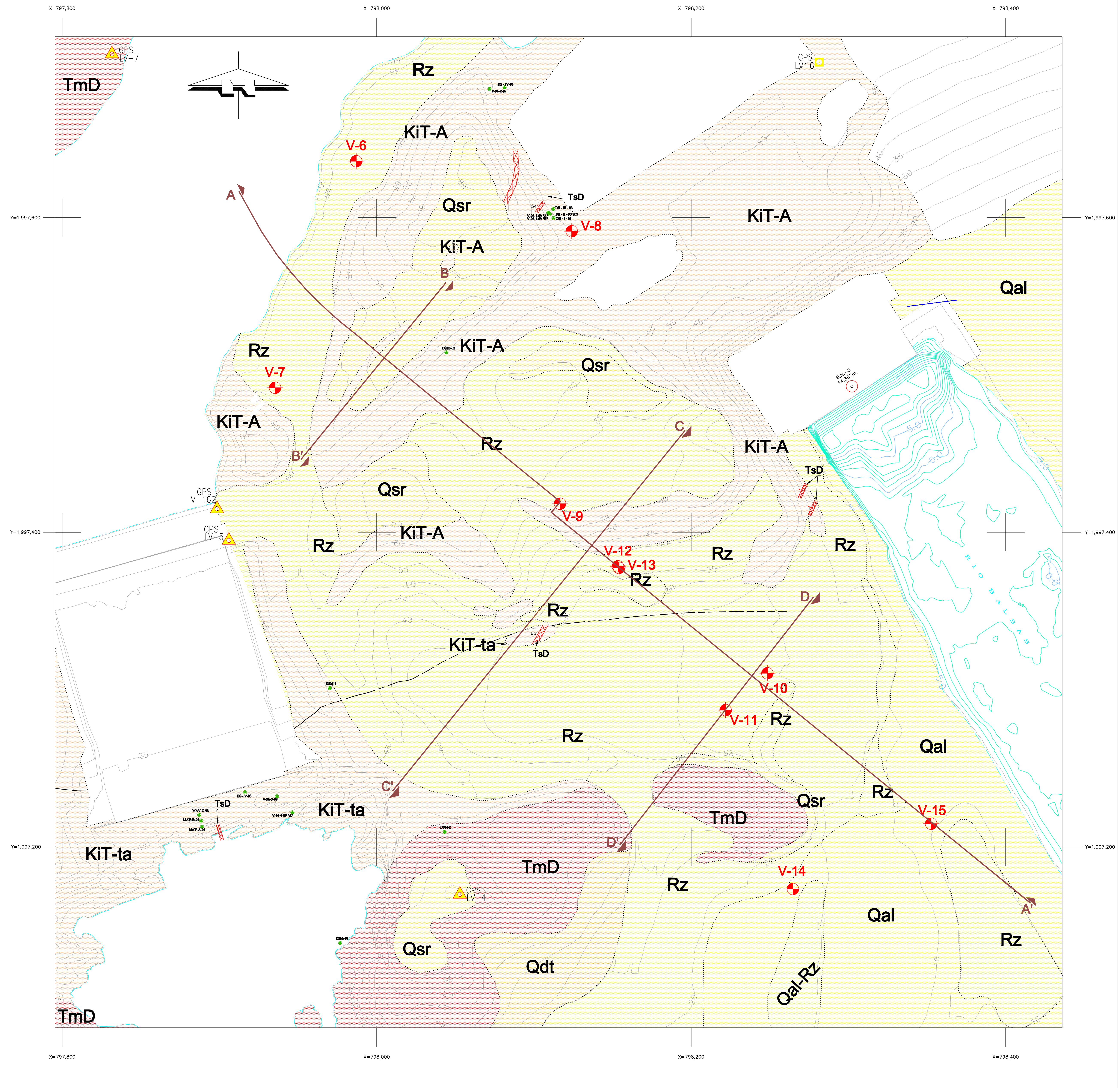
**RECUPERACION:** 100.00%  
**RQD :** 90.00%  
**LITOLOGIA :** Andesita -  
Dacita  
**INTERPRETACION:** Impermeable,

— GAMA ASCENDENTE  
- - - GAMA DESCENDENTE

ANEXO FOTOGRAFICO



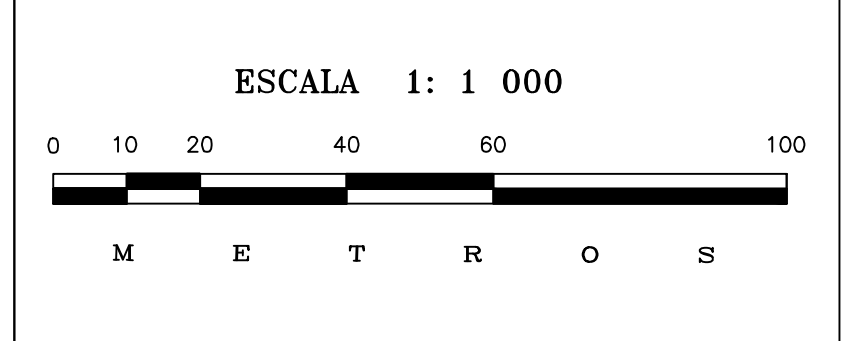
Formato para la descripción de Barrenos



**SÍMBOLOS**

GEOLOGICOS	
Contacto geológico	—
Sudestratificación	34°
Fractura	70°
Falla normal	80°
Dique	70°
Muestra Petrográfica	TS-D
Sección geológica-geofísica	1 1'
Barreno Etapa 2008-2009	V-10
Sondeo eléctrico vertical	—
TOPOGRÁFICOS	
Curva de nivel maestra	—
Carretera pavimentada	—
Nivel de Construcción	EL. 60.00
Banco de nivel de referencia	BN-0
Cuerpos de agua	—
Contrucción	CASA
Cerca de estombra	—
Punto de control GPS	GPS LV-5
Banda de Concreto	—

**NOTAS:**  
 1.- LAS COORDENADAS X, Y SON DE USO ÚNICO, PROPORCIONADAS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) EN EL AÑO 2008.  
 2.- LAS COORDENADAS X, Y SON DE USO ÚNICO, PROPORCIONADAS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) EN EL AÑO 2008.  
 3.- LAS COORDENADAS X, Y SON DE USO ÚNICO, PROPORCIONADAS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) EN EL AÑO 2008.  
 4.- LAS COORDENADAS X, Y SON DE USO ÚNICO, PROPORCIONADAS POR EL INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA (INEGI) EN EL AÑO 2008.



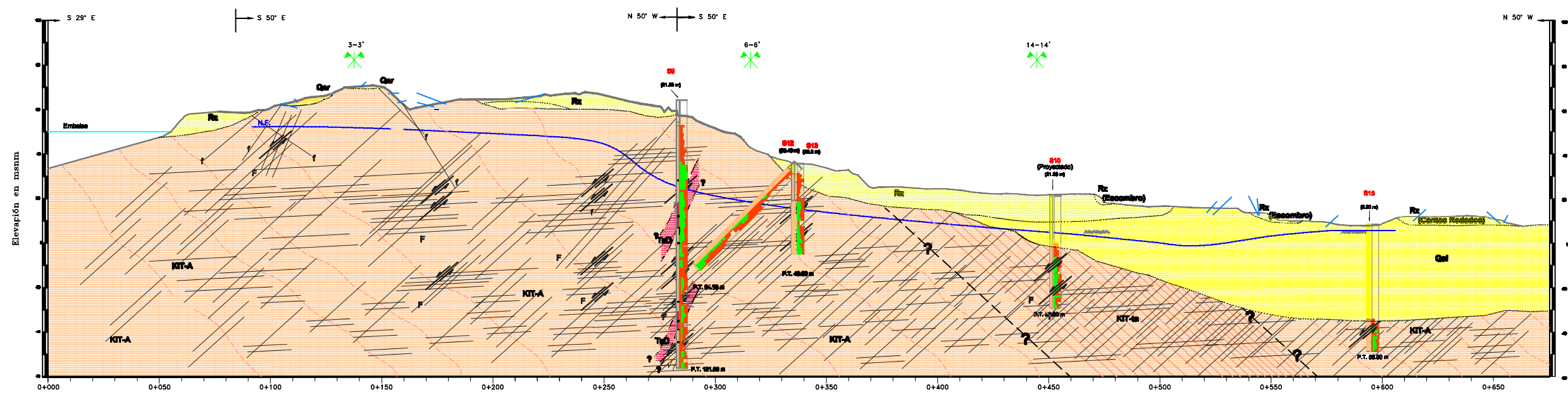
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA**

PROYECTO: AMPLIACIÓN C.H. LA VILLITA, MICH.  
 PLANO: PLANO GEOLÓGICO DE DETALLE N° GEOL-001  
 LOCALIDAD: MICHOACÁN

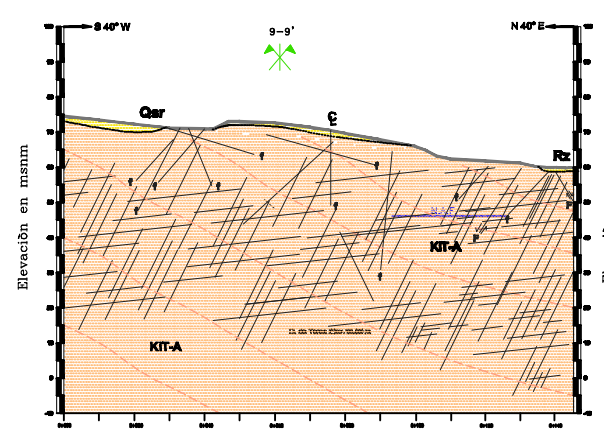
REALIZÓ: JULIA ANGÉLICA GARCÍA GUTIÉRREZ

ESCALA: 1:1 000	REVISIÓN: 01	FECHA: ENERO-2009
-----------------	--------------	-------------------

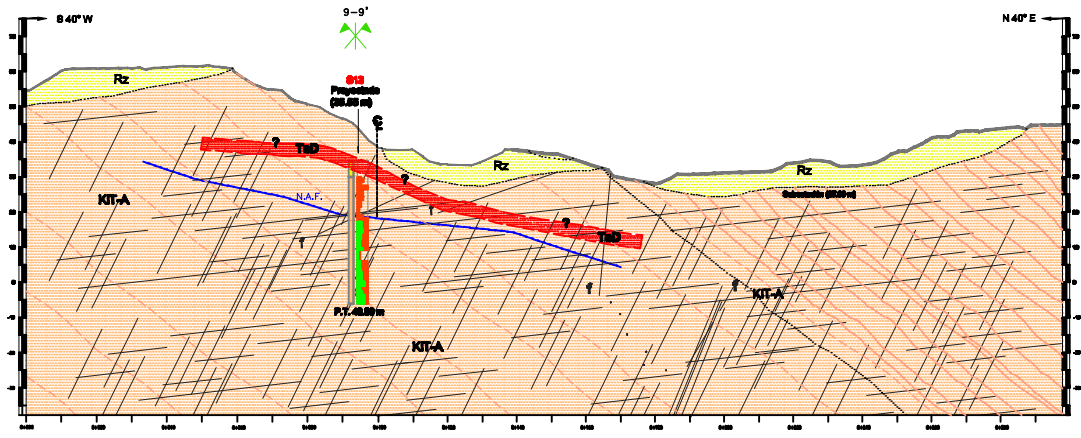
### SECCIÓN A-A' LONGITUDINAL



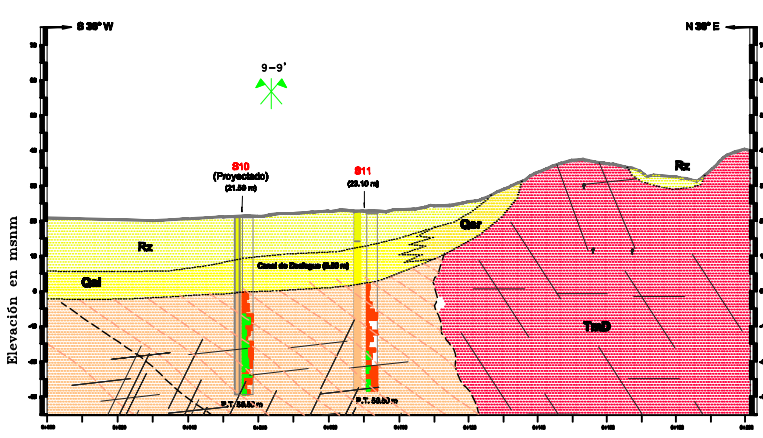
### SECCIÓN B-B' OBRA DE TOMA



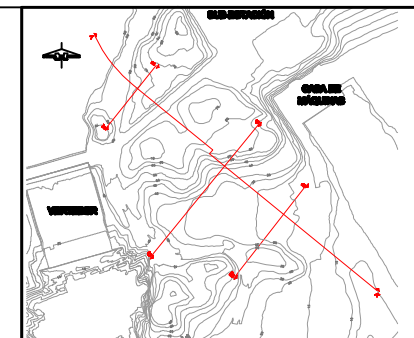
### SECCIÓN C-C' CASA DE MAQUINAS



### SECCIÓN D-D' CANAL DE DESFOGUE

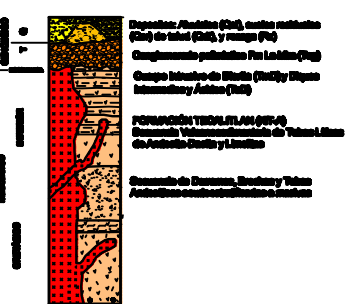


NOTA: Las secciones están ubicadas en el plano geológico, con clasificación: GEOL-001



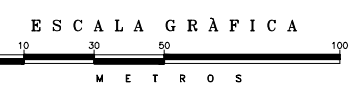
### CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

### COLUMNA LITOLÓGICA



### SÍMBOLOS

- Contacto geológico (discontinuo-inferido)
- Sudoestratificación
- Fracturas
- Falla y Falla proyectada
- Dique
- Cruce de Secciones
- Elevación Brocal
- Barreno
- Nivel de Aguas Freaticas
- Sondeo de Exploración Directa



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO: AMPLIACIÓN C.H. LA VILLITA, MICH.

PLANO: SECCIONES INTEGRACIÓN GEOLOGICO-GEOFISICA A-A', B-B', C-C' Y D-D' N° GEOL-002

UBICACIÓN: MICHOACÁN

REALIZÓ: JULIA ANGÉLICA OLALDE GUTIERREZ

ESCALA: 1:1 000 REVISIÓN: V01 FECHA: ENERO-2009