



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

ESTABILIDAD DE LA LADERA IZQUIERDA AGUAS ABAJO DE LA
CORTINA DE LA PRESA MADIN

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN GEOTECNIA

P R E S E N T A :

ING. CÉSAR AGUSTÍN GONZÁLEZ SAUCEDO

DIRECTOR DE TESINA: M. en I. REGINALDO JOSÉ HERNÁNDEZ ROMERO

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2013

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1. | INTRODUCCION..... | 3 |
| 2. | OBJETIVO..... | 4 |
| 3. | METODOLOGIA DE TRABAJO..... | 4 |
| 4. | EXPLORACIONES REALIZADAS..... | 4 |
| | 4.1. Levantamiento de campo..... | 8 |
| | 4.2. Prospección indirecta con Georadar..... | 8 |
| 5. | GEOLOGIA REGIONAL..... | 13 |
| 6. | GEOLOGIA DE SITIO..... | 14 |
| | 6.1. Unidades litológicas..... | 15 |
| | 6.2. Geología estructural..... | 15 |
| | 6.2.1. Discontinuidades..... | 16 |
| | 6.2.2. Diagramas de fracturamiento..... | 17 |
| | 6.2.3. Condiciones de agua en el subsuelo..... | 19 |
| 7. | PROPIEDADES MECANICAS DE LA ROCA INTACTA..... | 20 |
| | 7.1. Pruebas de laboratorio..... | 20 |
| 8. | PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRAULICAS DEL MACIZO ROCOSO..... | 21 |
| | 8.1. Resistencia al corte del macizo rocoso..... | 22 |
| | 8.2. Deformabilidad del macizo rocoso..... | 24 |
| | 8.3. Clasificación Geomecánica..... | 25 |
| 9. | INTERACCIÓN DE RESULTADO DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON EL MODELO GEOLOGICO-GEOTÉCNICO..... | 25 |
| 10. | DETERMINACIÓN DEL MECANISMO POTENCIAL DE FALLA..... | 27 |
| 11. | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD..... | 29 |
| 12. | RESULTADOS..... | 32 |
| 13. | DISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS O TRATAMIENTOS PARA ESTABILIZACIÓN..... | 32 |

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 33

PLANOS

ANEXO A: REGISTRO DE SONDEOS

ANEXO B: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO C: FOTOGRAFIAS AEREAS

ANEXO D: PLANTA Y PERFIL GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL TALUD

BIBLIOGRAFÍA

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

1. INTRODUCCIÓN.

En este texto se describen los trabajos geotécnicos de mecánica de rocas efectuados para evaluar las condiciones de estabilidad del talud de la ladera izquierda aguas abajo de la cortina de la Presa Madín, donde se desplantará un conjunto habitacional en el Municipio Atizapán de Zaragoza, del Estado de México.



Figura 1.-Localización del predio; coordenadas UTM X=472,750; Y=2'159,050 y X=472,830; Y=2'158,900; inmediatamente aguas abajo de la cortina "Presa Madín", Municipio de Atizapán de Zaragoza, Estado de México.

2. OBJETIVO.

El objetivo del presente trabajo es determinar la estabilidad del talud de la ladera izquierda aguas abajo y proponer una solución de reforzamiento en caso necesario para su estabilización.

3. METODOLOGIA DE TRABAJO.

Para poder conocer las características del subsuelo en el sitio fue necesario obtener muestras del macizo rocoso a diferentes profundidades mediante seis sondeos mixtos. Las muestras obtenidas en la campaña de exploración se sometieron a pruebas para determinar las propiedades mecánicas de resistencia, las cuales se describen en forma más detallada en las pruebas de laboratorio.

Como complemento de la campaña de exploración, se realizó al pie del talud de la ladera izquierda y arriba de la plataforma de la elevación 75.00 referenciado a la cota de proyecto, un levantamiento litológico y estructural detallado del macizo rocoso a partir de los afloramientos de roca expuestos en cada una de las zonas que fueron definidas en la primera etapa de trabajo.

Este levantamiento permitió identificar el tipo de roca y sus condiciones de alteración, formas y dimensiones de bloques, coberturas de suelos, características de espesor y composición de los mismos; así como la estructura de la masa rocosa definiendo las principales familias de fracturas y sus características de orientación, rugosidad, apertura, presencia de rellenos, espaciamiento y persistencia.

4. EXPLORACIONES REALIZADAS.

Se realizaron seis sondeos mixtos verticales distribuidos en toda la zona del predio, la recuperación de núcleos de roca, permitió conocer las características del macizo rocoso a profundidad, observando el tipo de roca, sus características texturales, color, fracturamiento, alteración y cambios de litología, y evaluar su calidad a partir del Índice de Calidad de la Roca (RQD%).

El plano 1 muestra la ubicación de cada barreno. En el anexo A, están con mayor detalle los perfiles estratigráficos de cada barreno, RQD, y la clasificación macroscópica de la roca.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

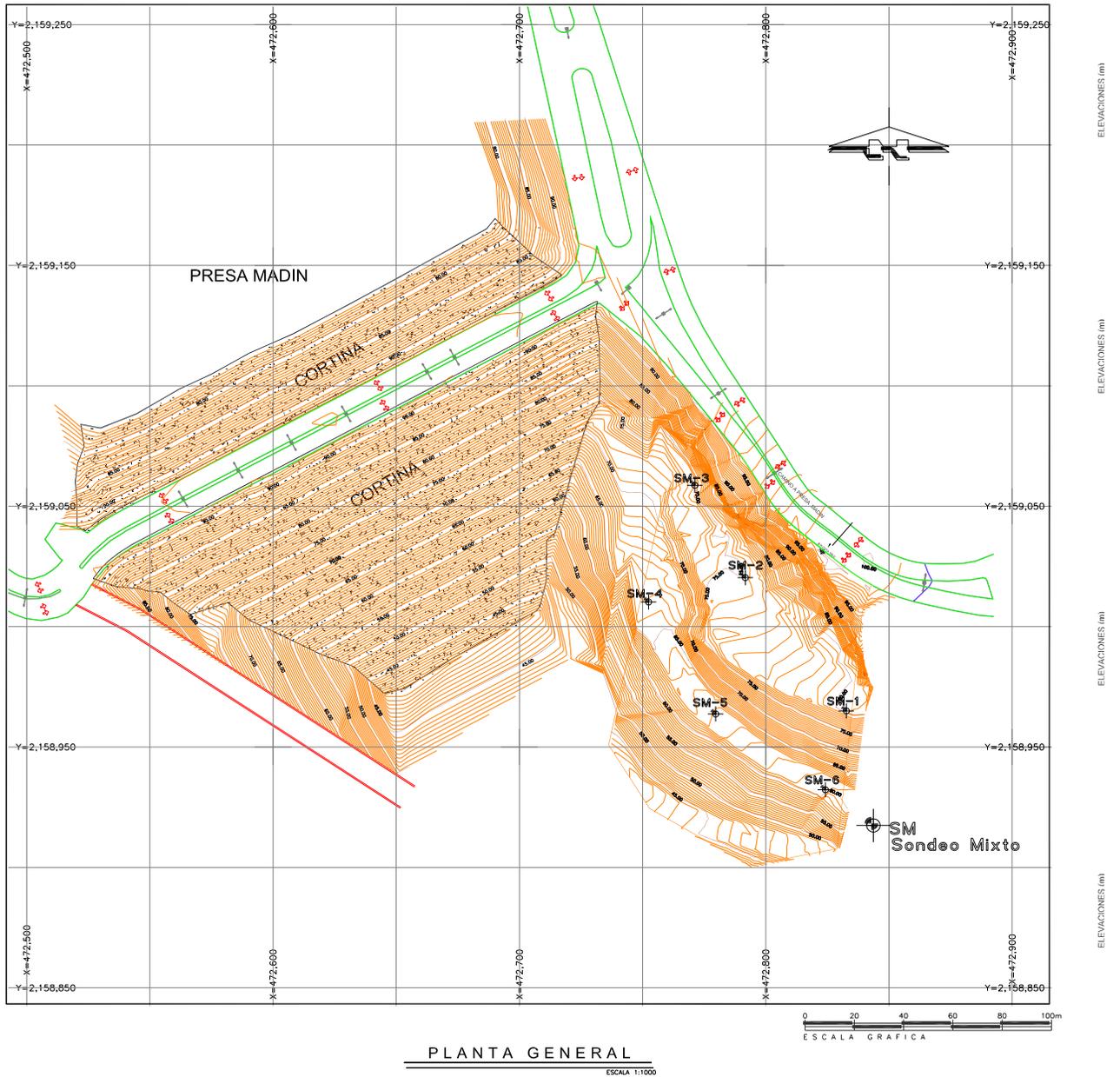


Figura 2.-Ubicación de sondeos ejecutados

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-1

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|--|
| De 0.0 a 4.40 m | Andesita gris claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada, los principales minerales son feldespatos. A partir de 4.40 la roca muestra una coloración ocreclaro y oscuro, presentándose no tan fracturada. |
| De 4.40 a 12.00 m | Aglomerado constituido por un depósito masivo o con gradación de clastos andesíticos angulosos de diámetros de 0.01 a 0.06m, soportado en una matriz areno-arcillosa. |

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-2

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|---|
| De 0.0 a 4.40 m | Andesita gris claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada, los principales minerales son feldespatos. A partir de 8.20 la roca muestra una coloración ocre claro y oscuro, presentándose no tan fracturada. |
| De 4.40 a 12.00 m | Aglomerado constituido por un depósito masivo o con gradación de clastos andesíticos angulosos de diámetros de 0.01 a 0.07m, soportador en una matriz areno-arcillosa. |

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-3

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|---|
| De 0.0 a 7.06 m | Andesita gris claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y fracturada, los principales minerales son feldespatos. |
| 7.06 - 9.33 m. | Andesita ocre claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada. Los principales minerales son feldespatos. |
| 9.33 - 9.99 m. | Aglomerado en matriz limosa. |
| 9.99 - 12.03 m. | Andesita ocre claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada. Los principales minerales son feldespatos. |

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-4

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|---|
| De 0.0 a 7.16 m | Aglomerado constituido por un depósito masivo o con gradación o clastos andesíticos angulosos de diámetros de 0.01 a 0.05m, soportados en una matriz areno-arcillosa. |
| De 7.16 a 9.30 m | Andesita ocre claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada. Los principales minerales feldespatos. |
| De 9.30 a 10.00 m | Aglomerado en matriz limosa. |
| De 10.00 a 12.00 m | Andesita ocre claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y muy fracturada. Los principales minerales son feldespatos. |

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-5

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|---|
| De 0.0 a 0.25 m | Aglomerado en matriz limosa. |
| De 0.25 a 12.00 m | Andesita ocre claro y oscuro, textura afanítica, densa, sana y fracturada. Los principales minerales feldespatos. A partir de 1.70m la roca muestra una coloración gris claro y oscuro, presentándose en zonas no tan fracturada. |

SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR MIXTO SM-6

| <i>Profundidad</i> | <i>Descripción</i> |
|--------------------|---|
| De 0.0 a 12.10 m | Aglomerado constituido por un depósito masivo o con gradación de clastos andesíticos angulosos de diámetro de 0.01m a 0.05m, soportados en una matriz areno-arcillosa |

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

4.1 LEVANTAMIENTO DE CAMPO.

Se realizó una recopilación y análisis fotogeológico de las fotografías aéreas antiguas para determinar la evolución del predio en los últimos 43 años.

Se lograron consultar los años 1970 y 1979. (Fotografías 1 y 2), para que de esta manera se conocieran las condiciones antiguas del subsuelo, e identificar los materiales que afloran en el área, sobre los cuales se construyó una vialidad de acceso a la cortina de la Presa.

4.2 PROSPECCION INDIRECTA CON GEORADAR.

En la zona donde se encuentra el predio, que se caracteriza por el movimiento de materiales de terracerías para la construcción de la cortina de la Presa.

Se realizó un estudio con el método Radar de Penetración Terrestre (GPR).

La técnica de Radar de Penetración Terrestre consiste en transmitir con una antena un impulso electromagnético corto de radiofrecuencia a través del terreno y cuando el pulso encuentra una interface electromagnética, parte de la energía es reflejada mientras el resto se refracta siguiendo su viaje a través del medio hasta encontrar otra interface. El sistema mide el tiempo transcurrido entre la onda transmitida y la onda reflejada, proceso que se repite en intervalos cortos de tiempo mientras la antena está en movimiento mostrando la señal de salida como trazas consecutivas formando un perfil continuo del medio llamado radargrama.

Este método tiene la ventaja que no requiere de una gran extensión para lograr penetrar más de 20m reales. En el predio se realizaron seis líneas, las cuales se ubicaron sobre las zonas que se planea edificar la principal estructura.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

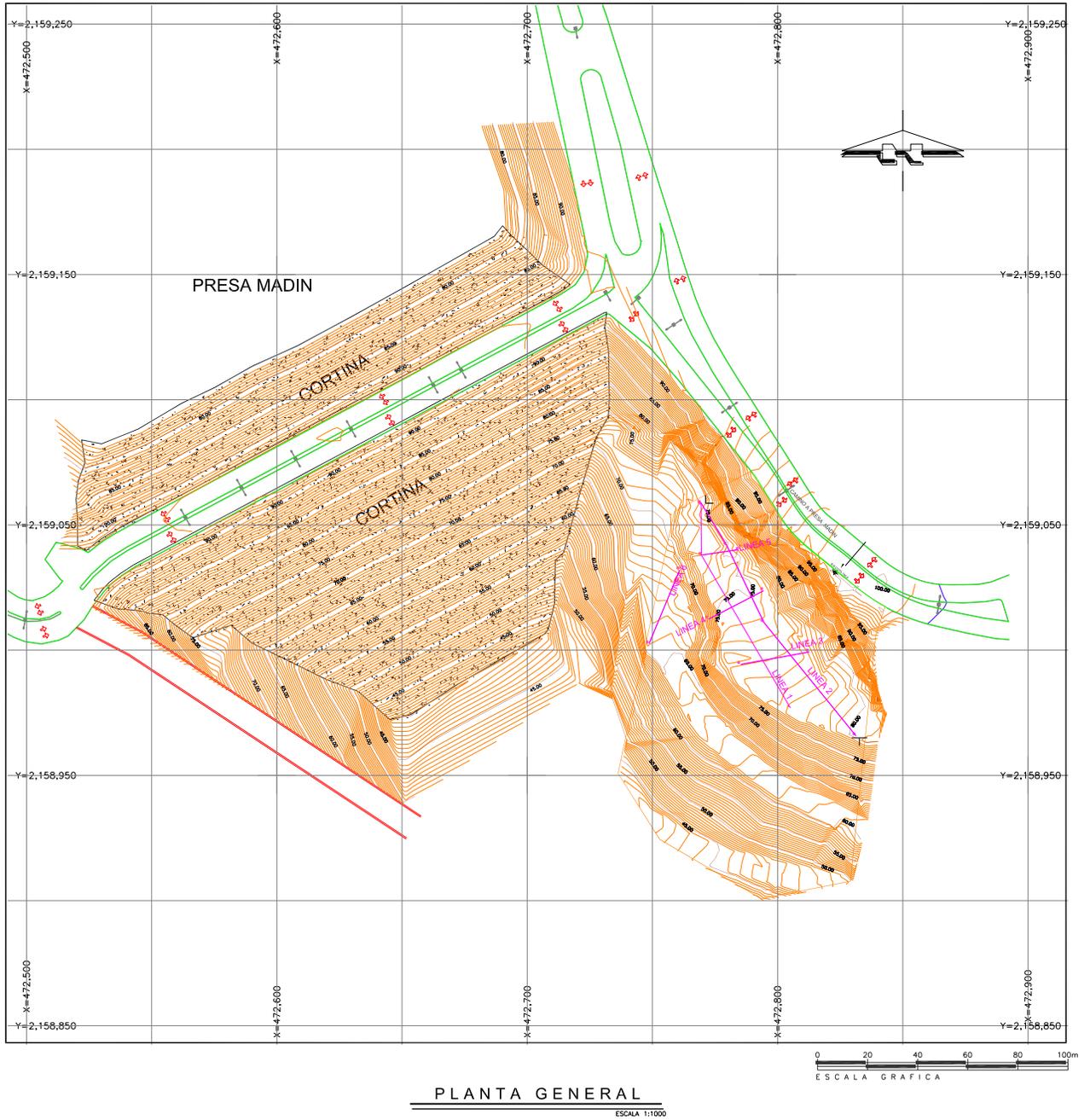


Figura 3.-Ubicación de líneas con Georadar.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

El volumen de exploración se resume en la tabla I.

| No. de Línea | Longitud (m) |
|--------------|--------------|
| 1 | 92 |
| 2 | 112 |
| 3 | 28 |
| 4 | 25 |
| 5 | 15 |
| 6 | 32 |
| TOTAL | 304 |

Tabla 1. Exploración realizada

La información recolectada en cada una de las líneas, pasó por una serie de procesos y análisis, para llegar a determinar la distribución de los diferentes materiales del subsuelo. Se usó el siguiente software para el procesado de la información: GroundVision V1.4.3. (Sweden 2005), Reflex V 3.5 (Germany 2005), IXGPR V2.3 (USA 2007). En la figura 2 se muestra la ubicación de los trabajos de campo ejecutados.

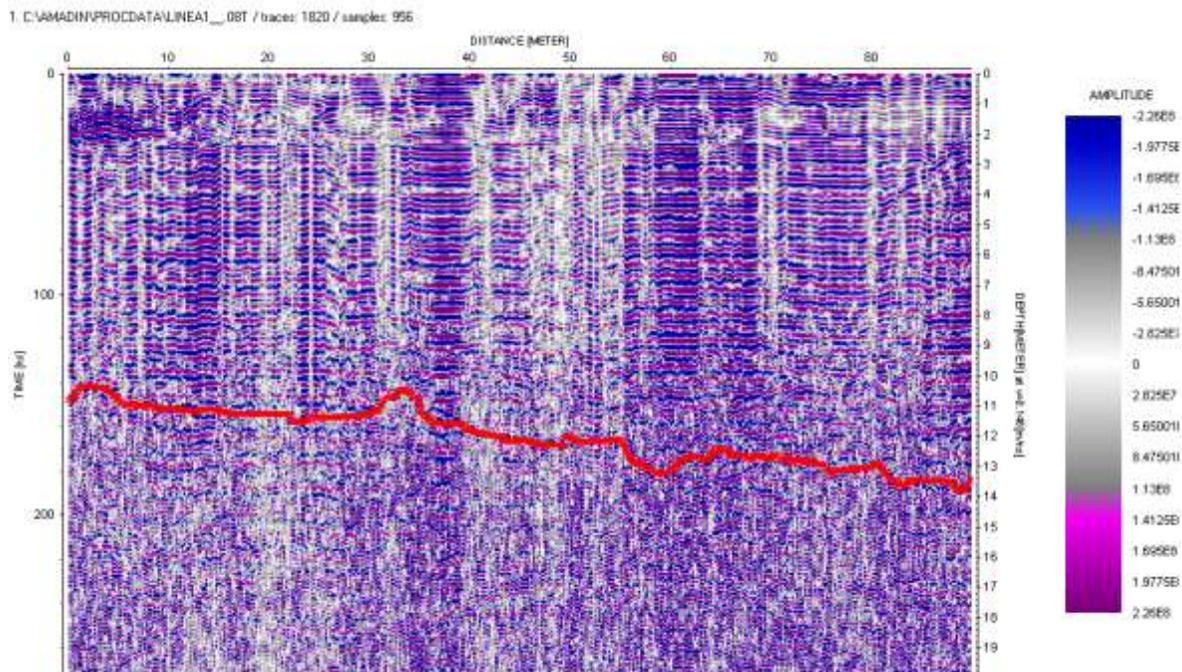


Figura 4.-Radargrama línea 1. Contacto entre andesita y aglomerado

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

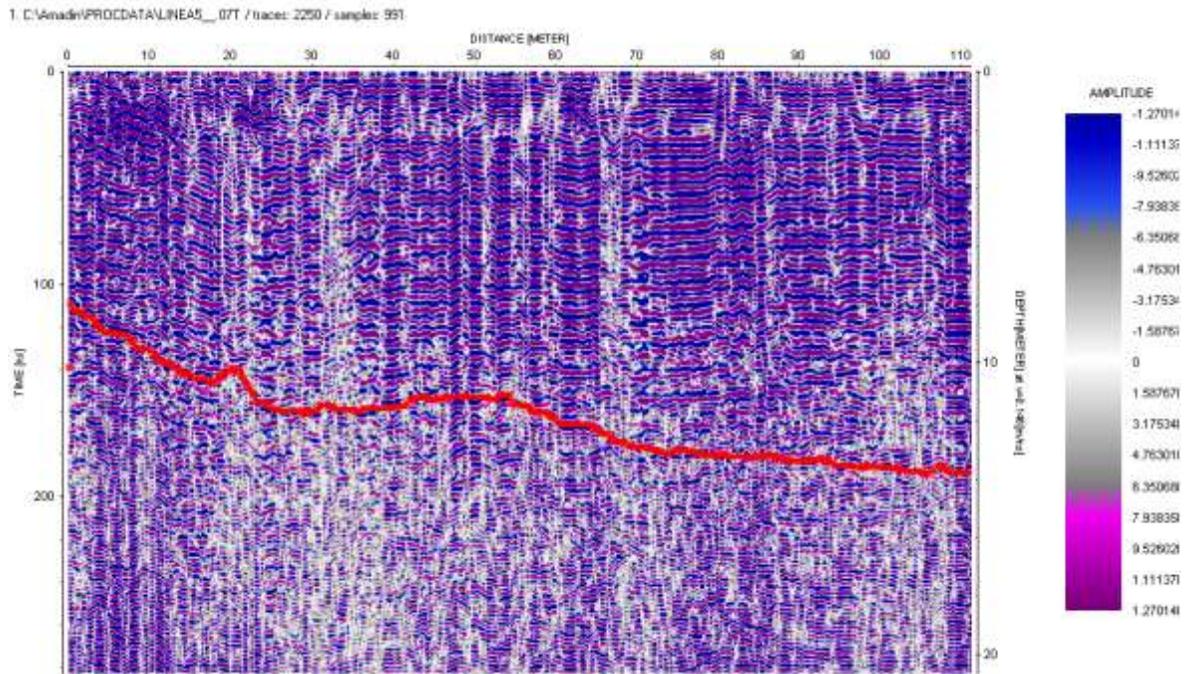


Figura 5.-Radargrama línea 2. Contacto entre andesita y aglomerado

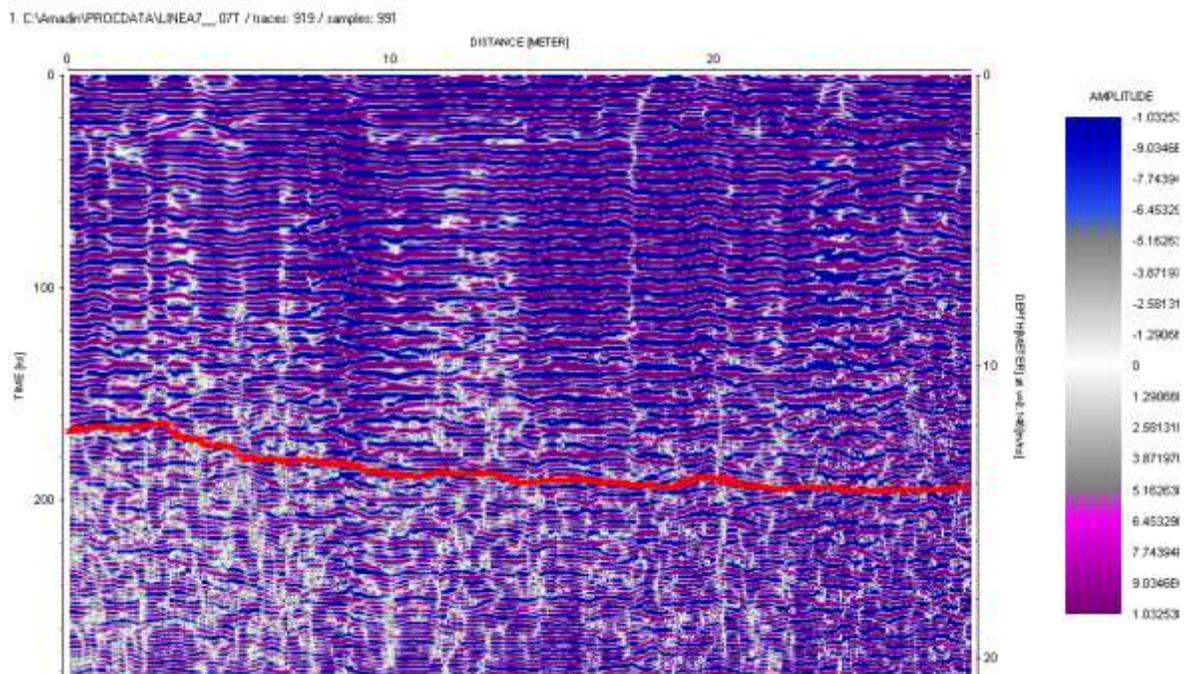


Figura 6.-Radargrama línea 3. Contacto entre andesita y aglomerado

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

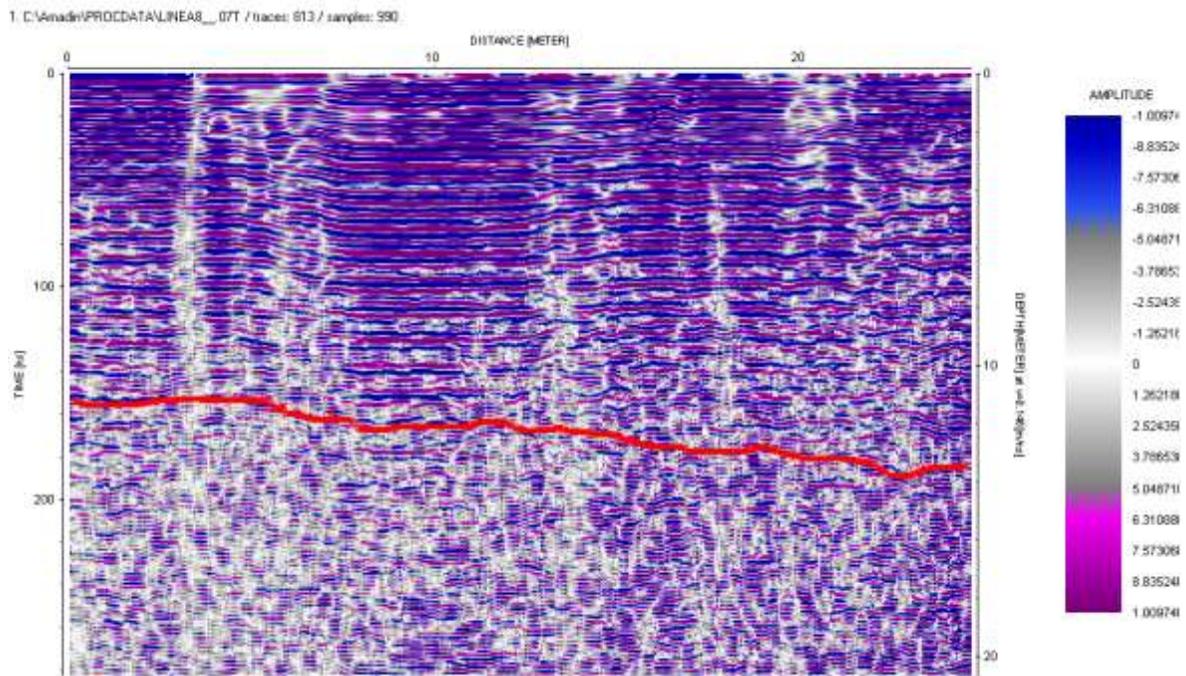


Figura 7.-Radargrama línea 4. Contacto entre andesita y aglomerado

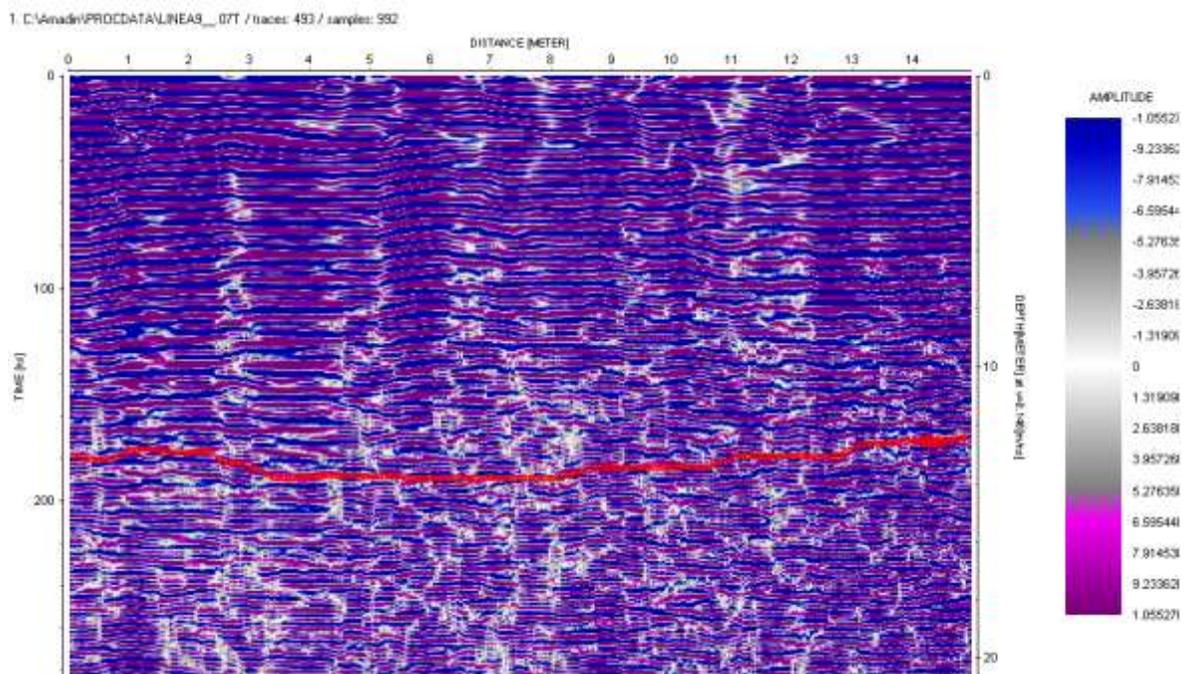


Figura 8.-Radargrama línea 5. Contacto entre andesita y aglomerado

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

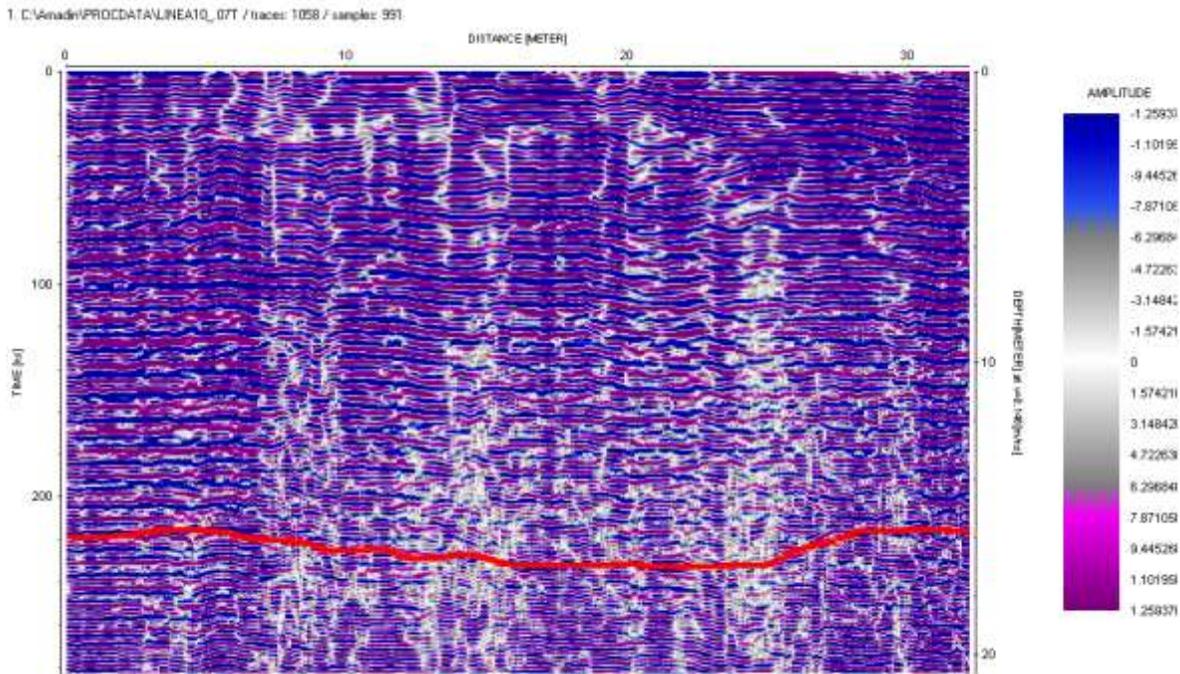


Figura 9.-Radargrama línea 6. Contacto entre andesita y aglomerado

5. GEOLOGÍA REGIONAL.

Regionalmente, la Cuenca de México pertenece a la provincia geomórfica del Eje Neovolcánico Transmexicano (Demant, 1978). Geológicamente, la cuenca en sus partes topográficamente altas está conformada por una amplia variedad de rocas volcánicas y de emplazamientos lávicos de tipo fisural. En sus partes bajas y planicie, está constituida principalmente por depósitos elásticos, volcanoclásticos y lacustres. El Paleoceno-Eoceno comprendió eventos tectónicos, emplazamientos lávicos y actividad volcánica que probablemente se iniciaron con el depósito de molasas continentales. Se tuvo depositación de piroclásticos y derrames lávicos del Mioceno medio-tardío al Plioceno-Cuaternario (Vázquez-Sánchez y Jaimes-Palomera, 1989). Los principales eventos pliocénico-cuaternarios comprenden volcanes prominentes y sus productos; los eventos cuaternarios incluyen, principalmente, depósitos lacustres y actividad volcánica de composición andesítico-basáltica, así como la actividad neotectónica del presente.

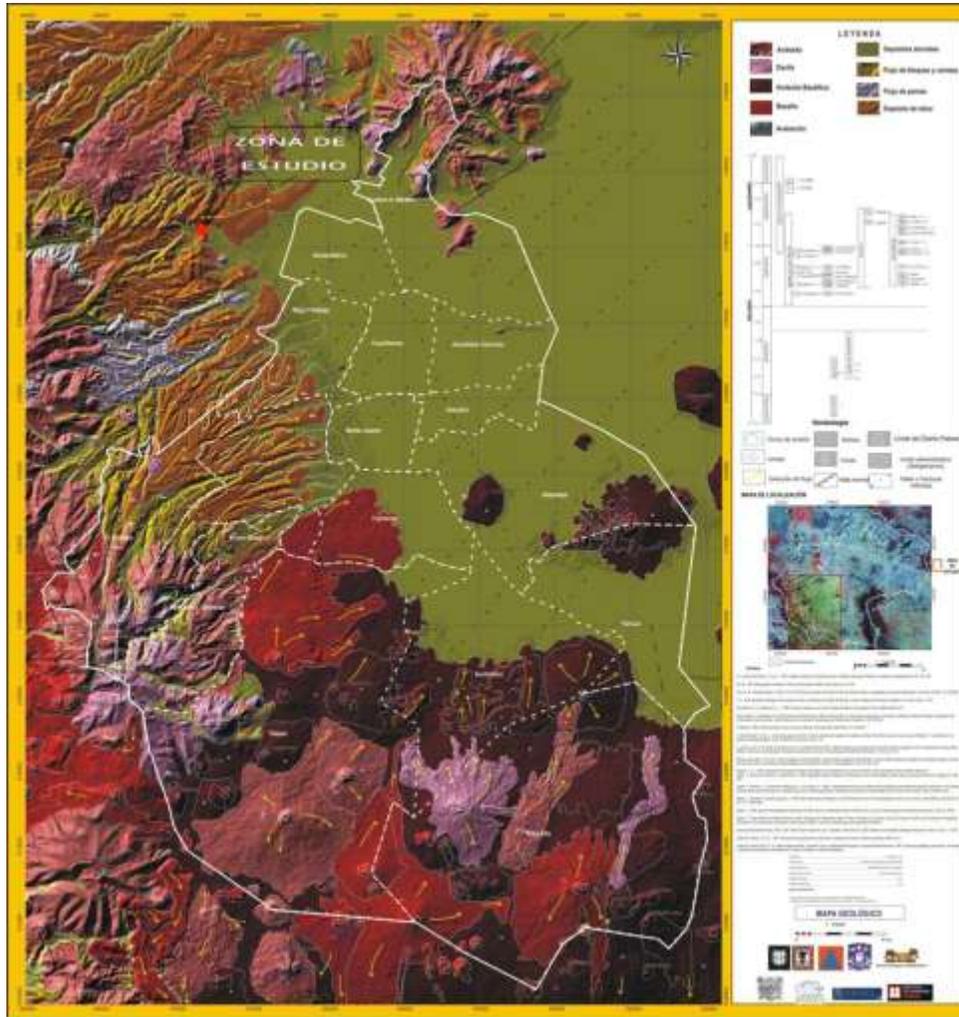


Figura 10.-Mapa Geológico Regional del Distrito Federal y zona conurbada

6. GEOLOGIA DE SITIO.

Vera Noguez¹ et al (2007), presenta un mapa de Zonificación Geotécnica del Estado de México en el cual se describen tres principales tipos de terrenos:

Terreno tipo I. De sierras, cerros, conformado por anticlinales de origen volcánico, sedimentarios y metamórficos.

Terreno tipo II. Planicie a Lomeríos, en el que los depósitos profundos se encuentran a veinte metros de profundidad, o menos, y que está constituido predominantemente por estratos arenosos y limos arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros. Lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre,

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados.

Terreno tipo III. Lago, integrado por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales, el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

6.1. UNDADES LITOLÓGICAS

El macizo rocoso que aflora en la zona de estudio pertenece a la Formación Tarango, la cual se describe como un conjunto estratificado a veces regular, a veces irregular y hasta lenticular, compuesto de: tobas formadas por cenizas volcánicas de muy distintas granulometrías, capas de erupciones pumíticas, lahares, ignimbritas, y depósitos fluviales.

Siendo ésta Formación producto de la superposición de varios abanicos volcánicos que corresponden a la vida activa de un volcán, que incluyen erupciones por lo general violentas emitidas por aparatos volcánicos andesíticos pseudoestratificados y avalanchas ardientes o lahares impulsados por gases calientes en erupciones paroxísmicas de extraordinaria violencia.

Sobreyacen en discordancia erosional un conjunto de rocas extrusivas de composición andesítica a dacítica; además de secuencias piroclásticas consolidadas constituidas por tobas cristalinas, vítreas, líticas y pumíticas.

En el predio se observa un depósito irregular y aleatorio de diversas etapas de depósito de andesitas y aglomerados. Las andesitas presentan una coloración gris claro – oscuro y rosáceo – rojizo, textura afanítica, densa, sana y fracturada a muy fracturada, los principales minerales son feldespatos.

Los aglomerados están constituidos por un depósito masivo o con gradación de clastos andesíticos angulosos de diámetros de 0.04-0.20m, soportados en una matriz areno-arcillosa. Los contactos entre ambas litologías es casi su totalidad transicional y no presenta superficies de alteración.

6.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.

Para los fines de este estudio, se censaron un total de 105 discontinuidades para conocer las orientaciones preferenciales y la distribución espacial del fracturamiento del macizo rocoso, destacando 4 familias (tabla 2) que se observan constantes en toda la extensión del predio.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

| Familia | Rumbo azimutal de Echado / Echado | Características |
|---------|-----------------------------------|---|
| I | 081° / 61° | Fracturas planas, onduladas, lisas y rugosas; abiertas en su mayoría; algunas rellenas con arcilla; continuas; muy persistentes; espaciamiento de 0.03 m a 1 m. |
| II | 263° / 39° | Fracturas planas, onduladas, lisas y rugosas; abiertas en su mayoría; algunas rellenas con arcilla; continuas; muy persistentes; espaciamiento de 0.03 m a 1 m. |
| III | 204° / 08° | Fracturas planas, onduladas, lisas y rugosas; abiertas en su mayoría; algunas rellenas con arcilla; continuas; muy persistentes; espaciamiento de 0.03 m a 1 m. |
| IV | 189° / 80° | Fracturas planas, onduladas, lisas y rugosas; abiertas en su mayoría; algunas rellenas con arcilla; continuas; muy persistentes; espaciamiento de 0.03 m a 1 m. |

Tabla 2. Familias o Sistemas principales de Discontinuidades

6.2.1. DISCONTINUIDADES.

En el predio se observa discontinuidades intensas y locales, que presentan características diversas debido a que la litología es errática proveniente de diversas etapas de depósito; A pesar de que la tectónica fue intensa en esta zona, no se apreciaron fallas ni fracturas de tamaño y extensión considerable. En el macizo rocoso el fracturamiento se debe, a la tectónica que fue sometida, como producto del enfriamiento en el depósito de las lavas y depósitos aglomeráticos. Se zonificaron 3 zonas que presentan características similares en la orientación de las discontinuidades.

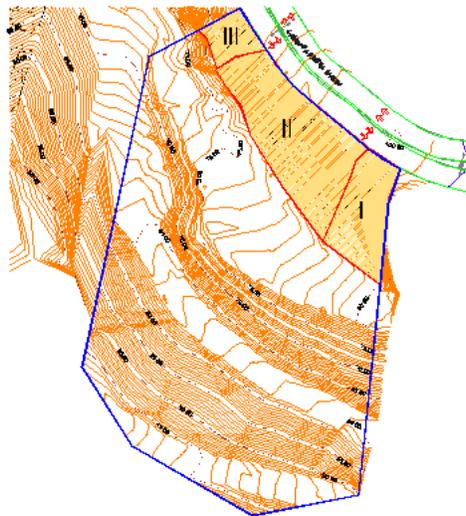


Figura 11.-Zonificación de las discontinuidades en el predio.

6.2.2. DIAGRAMAS DE FRACTURAMIENTO.

Se elaboró un diagrama estereográfico general de fracturas y discontinuidades considerando todos los datos recabados en campo a lo largo del talud de la ladera izquierda.

En las figuras 12 a 15 muestran la distribución espacial de las discontinuidades censadas de acuerdo con su densidad polar, el plano representativo de cada discontinuidad está definido por la dirección del azimuth de la línea de máxima pendiente y por el ángulo de inclinación que ella tiene con respecto a la horizontal, representadas mediante diagramas estereográficos con arcos y polos.

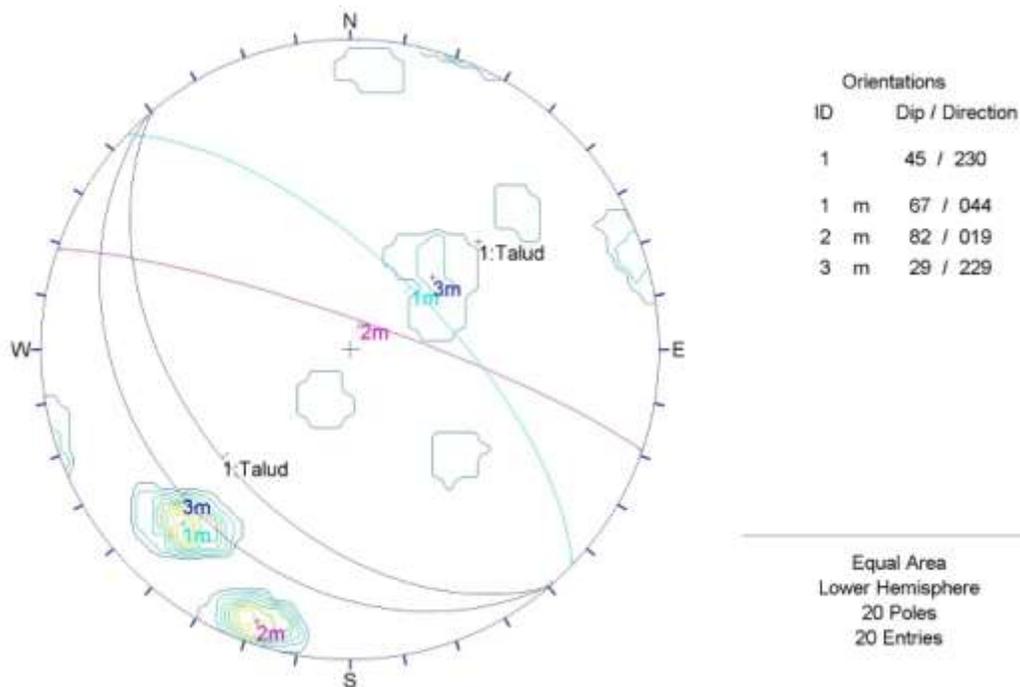


Figura 12.-Estereograma que muestra las principales familias de discontinuidades en la Zona I.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

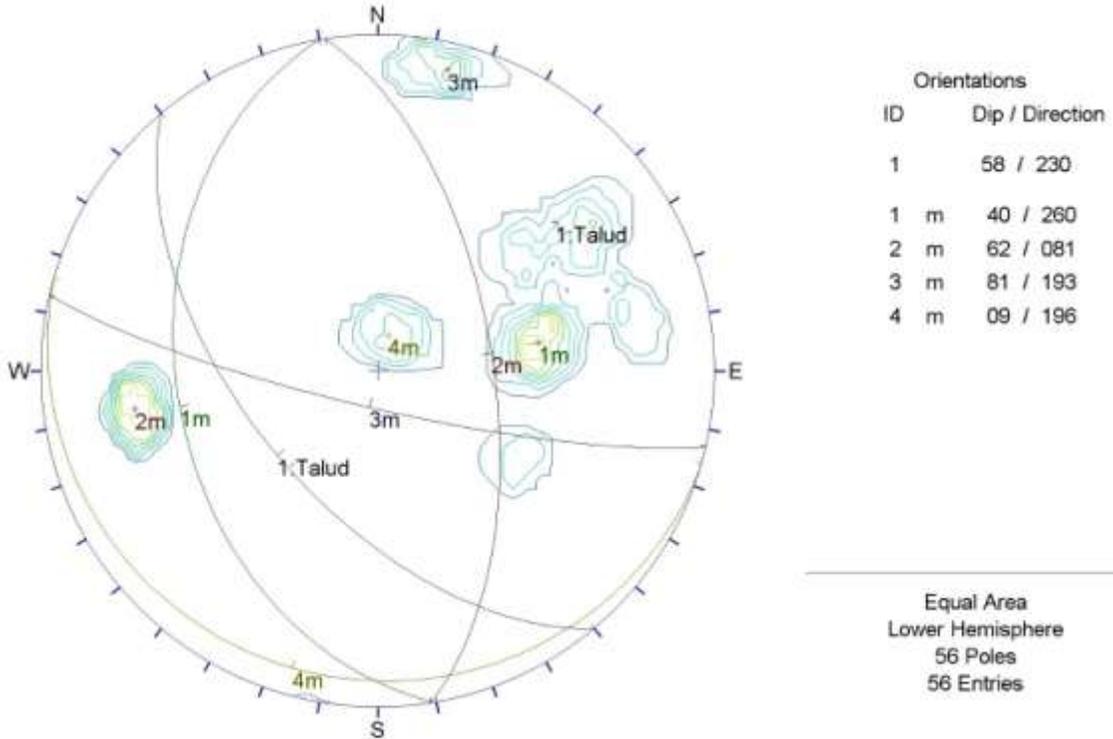


Figura 13.- Estereograma que muestra las principales familias de discontinuidades en la Zona II.

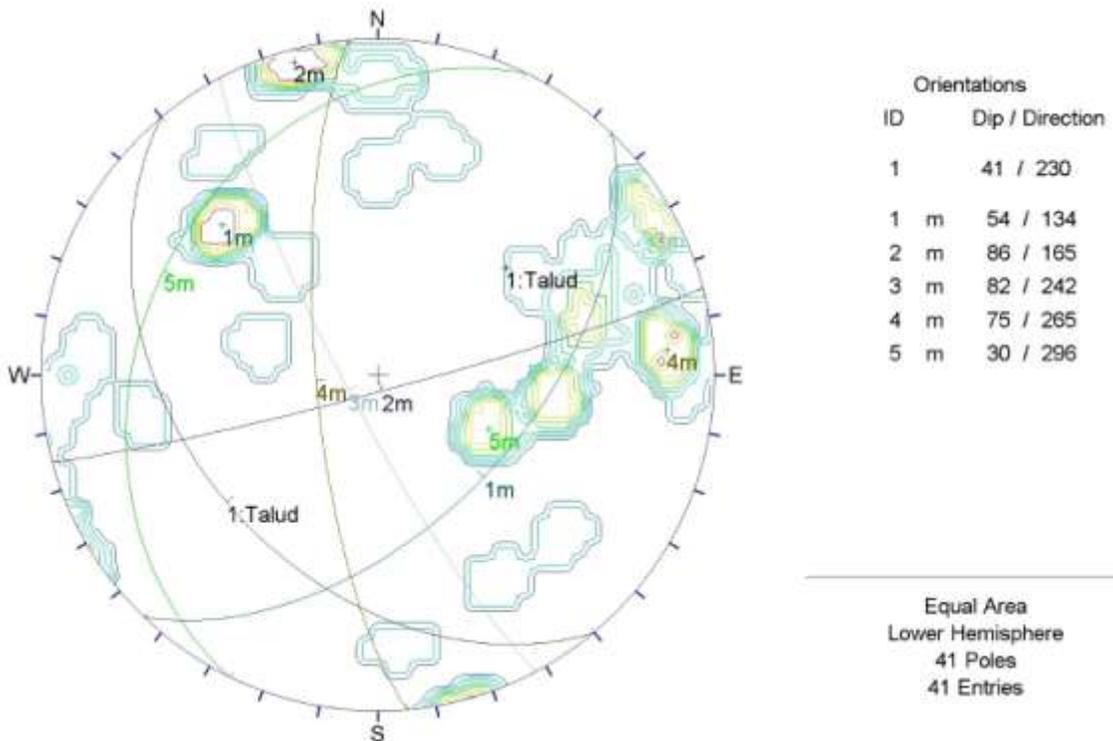


Figura 14.- Estereograma que muestra las principales familias de discontinuidades en la Zona III.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

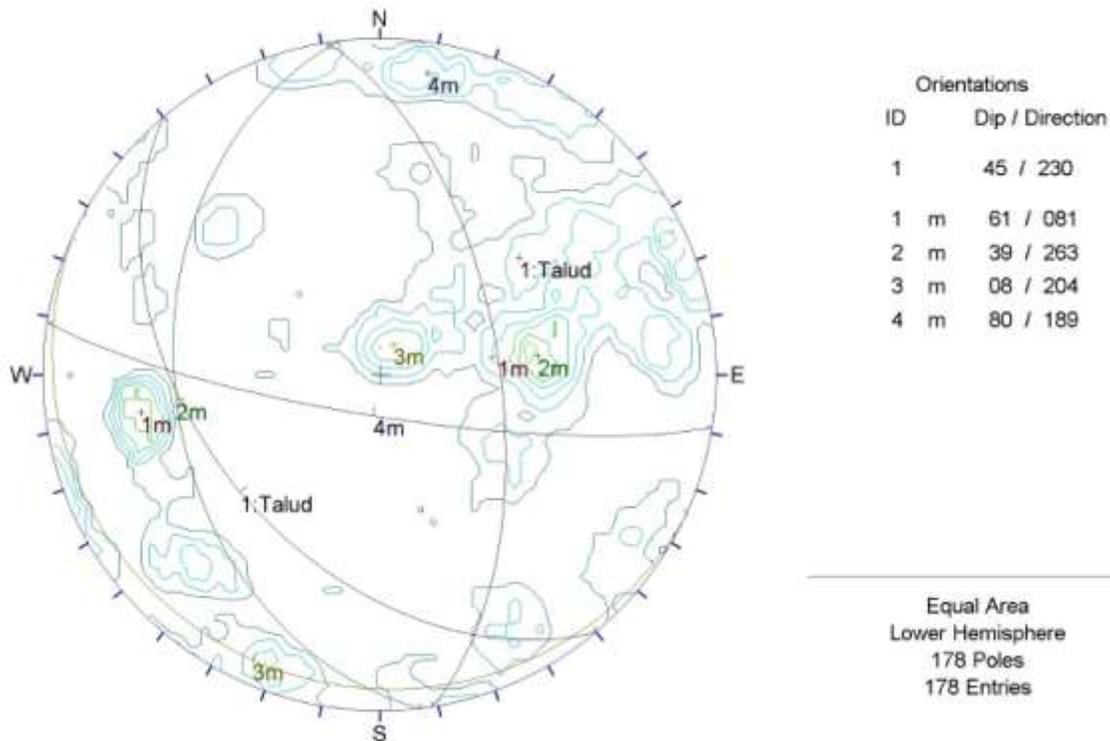


Figura 15.- Estereograma que muestra las principales familias de discontinuidades en la totalidad del predio.

6.2.3. CONDICIONES DE AGUA EN EL SUBSUELO.

El agua que está presente en los poros o en las discontinuidades reduce su resistencia, en su conjunto estos aspectos se tratarán en la resistencia del macizo rocoso y de las discontinuidades respectivamente.

Sus efectos más importantes son:

- Reducción de la resistencia al corte de los planos de rotura al disminuir la tensión normal efectiva.
- La presión ejercida sobre grietas de tracción aumenta las fuerzas que tienden al deslizamiento.
- Aumento del peso del material por saturación.
- Erosión interna por flujo superficial o subterráneo.
- Meteorización y cambios en la composición mineralógica de los materiales

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

7. PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA INTACTA.

La roca intacta es el material rocoso exento de discontinuidades o los bloques de roca intacta que quedan entre ellas.

La matriz rocosa, a pesar de considerarse continua, presenta un comportamiento heterogéneo y anisótropo ligado a su microestructura mineral, mecánicamente queda caracterizada por su peso específico, resistencia y deformabilidad.

Estas propiedades se determinan por ensayos de laboratorio. En la tabla 3 se presentan la clasificación de la roca intacta a partir de su resistencia a compresión simple y su módulo de deformabilidad.

| Ubicación Zona | Sondeo Exploratorio | Clasificación geológica | γ Peso Volumétrico (gr/cm ³) | σ Esfuerzo máximo de medición (Kg/cm ²) | Q_u Resistencia a la compresión simple no confinada (Kg/cm ²) | $R_{C50\%}$ Resistencia a la compresión simple (Kg/cm ²) | ϵ Módulo de deformación $R_{C50\%}$ (Kg/cm ²) | ISRM (1981) | Geological Society of London (1970) | Bieniawski (1973) | RQD % | Calidad |
|----------------|---------------------|----------------------------|---|--|---|--|--|-------------|-------------------------------------|-------------------|-------|---------|
| I | SM-2 | Ignea, volcánica, andesita | 2.40 | 501.02 | 1055.68 | 527.84 | 375000 | Muy dura | Muy dura | Alta | 55 | Media |
| II | SM-3 | Ignea, volcánica, andesita | 2.68 | 502.28 | 1719.27 | 859.635 | 304800 | Muy dura | Muy dura | Alta | 49 | Mala |
| III | SM-5 | Ignea, volcánica, andesita | 2.35 | 505.85 | 1613.32 | 806.66 | 283920 | Muy dura | Muy dura | Alta | 65 | Media |

Tabla 3. Clasificación de la roca intacta.

7.1 PRUEBAS DE LABORATORIO.

Se realizaron 6 ensayos de resistencia en los núcleos de roca extraídos de los barrenos SM-2, SM-3, y SM-5. Tres ensayos se realizaron sometiendo las muestras a compresión axial y midiendo deformabilidad y tres más se realizaron sometiendo las muestras a compresión concentrada en una línea a lo largo del costado de las muestras para obtener su resistencia a tensión de forma indirecta, en la denominada prueba brasileña. Los núcleos seleccionados de roca tienen dimensiones de 0.0473 a 0.0475 m de diámetro de barrenación (NQ).

Los núcleos fueron cortados en las cabezas extremas perpendicularmente al eje del núcleo para alcanzar una altura de muestra de 2.5 veces el diámetro de la misma para el ensayo de compresión simple y módulo de deformabilidad y de 2 veces el diámetro del núcleo para el ensayo de tensión indirecta en la prueba brasileña. El corte perpendicular se realizó con una cortadora de disco sencillo diamantado en una de las caras y rotando 180° la muestra para efectuar el corte de la cara opuesta y lograr el mayor paralelismo posible de las caras extremas de cada muestra.

Una vez hecho el corte, se procedió a terminar las caras utilizando polvo de esmeril grueso y mediano para el desbaste y polvo fino para el pulido y terminado final de las caras de las muestras que se ensayarían a compresión simple, de tal forma de disminuir fricción con las platinas de la prensa.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

Al terminar la preparación de las muestras se midieron directamente el diámetro y altura de las mismas con vernier, tomando seis lecturas de diámetro, dos en la cara superior, dos en la mitad del núcleo y dos en la cara inferior. Finalmente se pesaron las muestras en una balanza mecánica de 2.6 kg de capacidad.

A partir de la medición directa de las dimensiones de la muestra cilíndrica regular y del peso obtenido de cada muestra se evaluó el peso volumétrico de cada muestra como el cociente del peso de la misma entre su volumen. En las tablas 4 y 5 se presentan los resultados de cada uno de los ensayos a que se sometieron los núcleos de roca.

| Muestra No | Tipo de Roca | Prof. (m) | Diámetros (cm), d | | | | Área (cm ²) | Altura (cm) H | Vol. (cm ³) | Peso vol húmedo (gr/cm ³) | Relación esbeltez (h/d) | Tipo de falla | Carga axial última (kg) | Resistencia Máxima (kg/cm ²) | Modulo Deform. 50Rc (Mpa) |
|------------|--------------|-----------|-------------------|------|------|-------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--|---------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | Prom. | | | | | | | | | |
| M2-S2-M11 | Andesita | 9.00 | 4.75 | 4.76 | 4.74 | 4.75 | 17.72 | 11.88 | 210.52 | 2.41 | 2.50 | RI | 18759 | 1056 | 37500 |
| M3-S3-M9 | Andesita | 7.20 | 4.75 | 4.75 | 4.75 | 4.75 | 17.72 | 11.88 | 210.52 | 2.68 | 2.50 | RI | 30480 | 1720 | 30480 |
| M5-S5-M2 | Andesita | 0.25 | 4.72 | 4.73 | 4.75 | 4.73 | 17.60 | 11.84 | 208.34 | 2.36 | 2.50 | RI | 28392 | 1613 | 28392 |

Tabla 4. Resultados de ensayos de compresión simple y módulo de deformabilidad.

| Muestra No | Tipo de Roca | Prof. (m) | Diámetros (cm), d | | | | Área (cm ²) | Altura (cm) h | Vol. (cm ³) | Peso vol húmedo (gr/cm ³) | Relación esbeltez (h/d) | Tipo de falla | Carga axial última (kg) | Resistencia Máxima (Mpa) |
|------------|--------------|-----------|-------------------|------|------|-------|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------|-------------------------|--------------------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | Prom. | | | | | | | | |
| M1-S2-M13 | Aglom. | 11.40 | 4.75 | 4.74 | 4.74 | 4.74 | 17.66 | 9.48 | 167.40 | 2.17 | 2.00 | RI | 3077 | 4 |
| M4-S4-M7 | Andesita | 8.33 | 4.75 | 4.75 | 4.75 | 4.75 | 17.72 | 8.04 | 142.47 | 2.26 | 1.69 | RI | 4724 | 8 |
| M6-S5-M4 | Andesita | 1.96 | 4.74 | 4.75 | 4.74 | 4.74 | 17.67 | 9.48 | 167.52 | 2.50 | 2.00 | RI | 11344 | 16 |

Tabla 5. Resultados de ensayos de tensión indirecta en prueba brasileña

NOTAS:

- Las muestras se identifican como No de Muestra-Barreno (p. ej. Mbr1-S28)
- Los cálculos se realizaron con tres decimales y los resultados se redondearon a dos decimales
- Tipo de falla por roca intacta (RI) o por fracturas preexistentes (F) o combinación de ambas (RI-F)

8. PROPIEDADES MECÁNICAS E HIDRAULICAS DEL MACIZO ROCOSO.

El macizo rocoso, involucra la distribución de los distintos tipos de litologías, las estructuras geológicas que se forman, las discontinuidades y las condiciones de meteorización y alteración de la masa. Es decir, representa a todo el macizo en su conjunto.

Dentro del macizo rocoso, las estructuras geológicas y en partículas las discontinuidades son de las características más importantes que influyen en la estabilidad del propio macizo rocoso.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

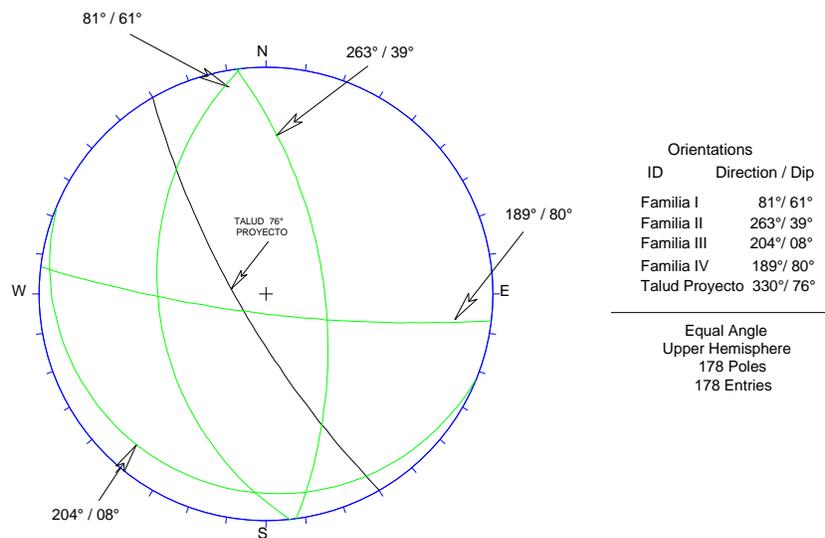


Figura 16.-Diagrama estereográfico en red Schmidt representando espacialmente en color negro, el talud elegido para su análisis en la zona I, II y III, incluyen las cuatro familias de fracturas.

El talud está formado por una estrato de suelo en la parte superior y de roca en la inferior con diversos grados de alteración. La parte formada por la roca andesita y el contacto con el aglomerado tiene una litología con distinta permeabilidad y el flujo del agua está controlado por la distribución de estas zonas. Las fracturas mayores con espaciamiento de 0.5 a 1.0 m pueden tener un efecto significativo en el flujo de agua en el terreno, las que contienen arcilla, impiden el flujo y son la causa del incremento de la presión del agua atrás de estos planos. El único incremento del nivel de agua en el macizo rocoso será presentándose una lluvia abundante y para evitar que el agua llene los espacios vacíos presentes en las discontinuidades se protegerá con un tapete impermeable en el hombro y corona del talud evitando que se produzca una elevada presión hidrostática.

8.1 RESISTENCIA AL CORTE DEL MACIZO ROCOSO.

La resistencia de los macizos rocosos es función de la resistencia de la matriz rocosa y de las discontinuidades, siendo ambas extremadamente variables, y de las condiciones geoambientales a las que se encuentra sometido el macizo, como las tensiones naturales y las condiciones hidrogeológicas. La resistencia del macizo rocoso queda definida por la expresión (Hoek y Brown, 1988):

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_{ci} \sigma_3 + s \sigma_{ci}^2}$$

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

donde:

- σ_1, σ_2 son los esfuerzos principales mayor y menor rotura.
- σ_{ci} es la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa
- m, s son constantes adimensionales que dependen de las propiedades del macizo rocoso, del tipo de roca, frecuencia y características de las discontinuidades.

| Zona | Clasificación roca por su origen | Resistencia a la compresión simple (Mpa) | RQD % | Calidad | Constantes (Hoek y Brown 1988) [m] | Constantes (Hoek y Brown 1988) [s] | $\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m \sigma_{ci} \sigma_3 + s \sigma_{ci}^2}$ (MPa) |
|------|----------------------------------|--|-------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|
| II | Andesita | 106 | 55 | Media | 0.311 | 0.00009 | 1.01 |
| III | Andesita | 172 | 49 | Mala | 0.069 | 0.000003 | 0.30 |
| III | Andesita | 161 | 65 | Media | 0.311 | 0.00009 | 1.53 |

Tabla 6. Resultados de la resistencia del macizo rocoso

Con ayuda del programa de cómputo denominado RocLab, desarrollado por Rocscience Inc., se determinaron los valores del ángulo de fricción Φ y de la cohesión c del terreno

De acuerdo con el criterio de falla citado, se consideran las siguientes propiedades de la roca y del macizo rocoso:

- Resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta (σ_{ci})
- Parámetro m_i de la roca intacta
- Índice de resistencia geológica (GSI - Geological strengthindex)
- Factor D de alteración del macizo rocoso

Los parámetros se determinaron introduciendo el rango de valores de resistencia a la compresión uniaxial intacta σ_{ci} , el rango de valores de GSI, el rango de valores de D y el valor de m_i

Con base en lo anterior, se tiene que los valores del ángulo de fricción y cohesión del macizo rocoso del talud son: roca media con los parámetros más favorables del rango de valores:

Ángulo de fricción, $\Phi=31^\circ$;

Cohesión, $c=5.3\text{MPa}$.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

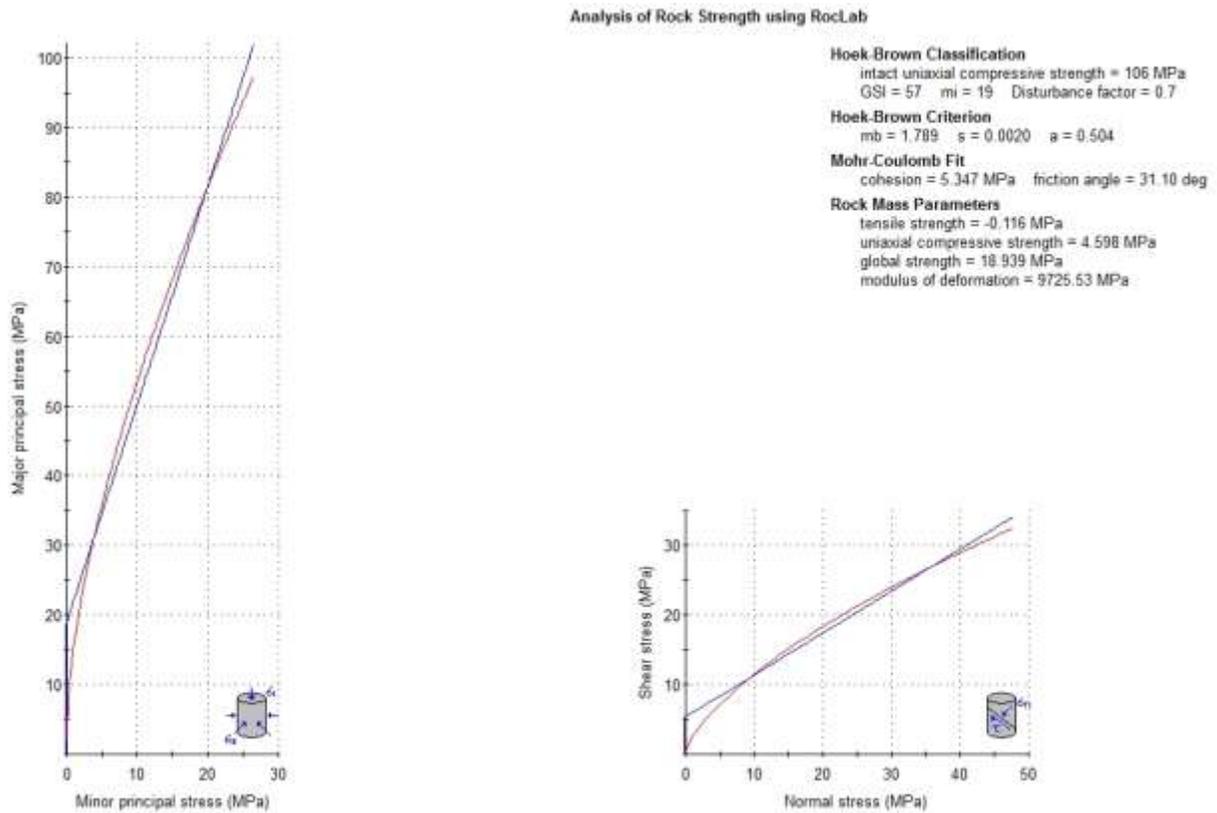


Figura 17.-Gráfica del programa RocLab para la determinación de los parámetros de resistencia mínimos del macizo rocoso.

8.2 DEFORMABILIDAD DEL MACIZO ROCOSO.

La deformabilidad de un macizo rocoso está dada por las relaciones entre los esfuerzos aplicados y las deformaciones producidas, y queda definida por su módulo de deformación. La deformabilidad, al igual que las demás propiedades de los macizos, presenta un carácter anisótropo y discontinuo.

Se revisó por el criterio de Serafim y Pereira (1983) dedujeron una expresión en función del valor del RMR.

$$E = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)}$$

donde:

E módulo de deformación del macizo.

RMR índice de calidad, rock mass rating.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

| Zona | Clasificación roca por su origen | RQD % | Calidad (RQD %) | RMR (Bieniawski, 1989) | $E = 10^{\left(\frac{RMR-10}{.40}\right)}$ (GPa) |
|------|----------------------------------|-------|-----------------|------------------------|--|
| I | Andesita | 55 | Media | 62 | 19.95 |
| II | Andesita | 49 | Mala | 59 | 9.44 |
| III | Andesita | 65 | Media | 69 | 23.71 |

Tabla 7. Resultados de la deformabilidad del macizo rocoso

8.3 CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA.

Las clasificaciones de los macizos rocosos están basadas en alguno o varios de los factores que determinan su comportamiento mecánico. El sistema de valoración, RMR (Rock Mass Rating), fue desarrollado por el profesor Z.T. Bieniawski y considera cinco parámetros básicos.

- Resistencia de la Roca Intacta.
- Designación de la Calidad de la Roca (RQD).
- Espaciamiento de Discontinuidades.
- Estado de las Discontinuidades.
- Condiciones de Agua Subterránea.

Para la evaluación se determinaron los siguientes valores de RMR.

| Zona | Clasificación roca por su origen | Resistencia a la compresión simple (Mpa) | RQD % | RMR (Bieniawski, 1989) | Clase | Calidad (RMR) | Cohesión (Kg/cm ²) | Ángulo de fricción (°) |
|------|----------------------------------|--|-------|------------------------|-------|---------------|--------------------------------|------------------------|
| I | Andesita | 106 | 55 | 62 | II | Buena | 3 - 4 | 35 - 45 |
| II | Andesita | 172 | 49 | 59 | III | Media | 2 - 3 | 25 - 35 |
| III | Andesita | 161 | 65 | 69 | II | Buena | 3 - 4 | 35 - 45 |

Tabla 8. Resultados de la clasificación geomecánica

9. INTERACCIÓN DEL RESULTADO DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO CON EL MODELO GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO.

El modelo geológico-geotécnico es la representación simplificada de las características geológicas y geotécnicas de un macizo rocoso, conformado por la integración de una serie de elementos que en conjunto definen unidades de similar comportamiento geotécnico del macizo rocoso o unidades geotécnicas

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

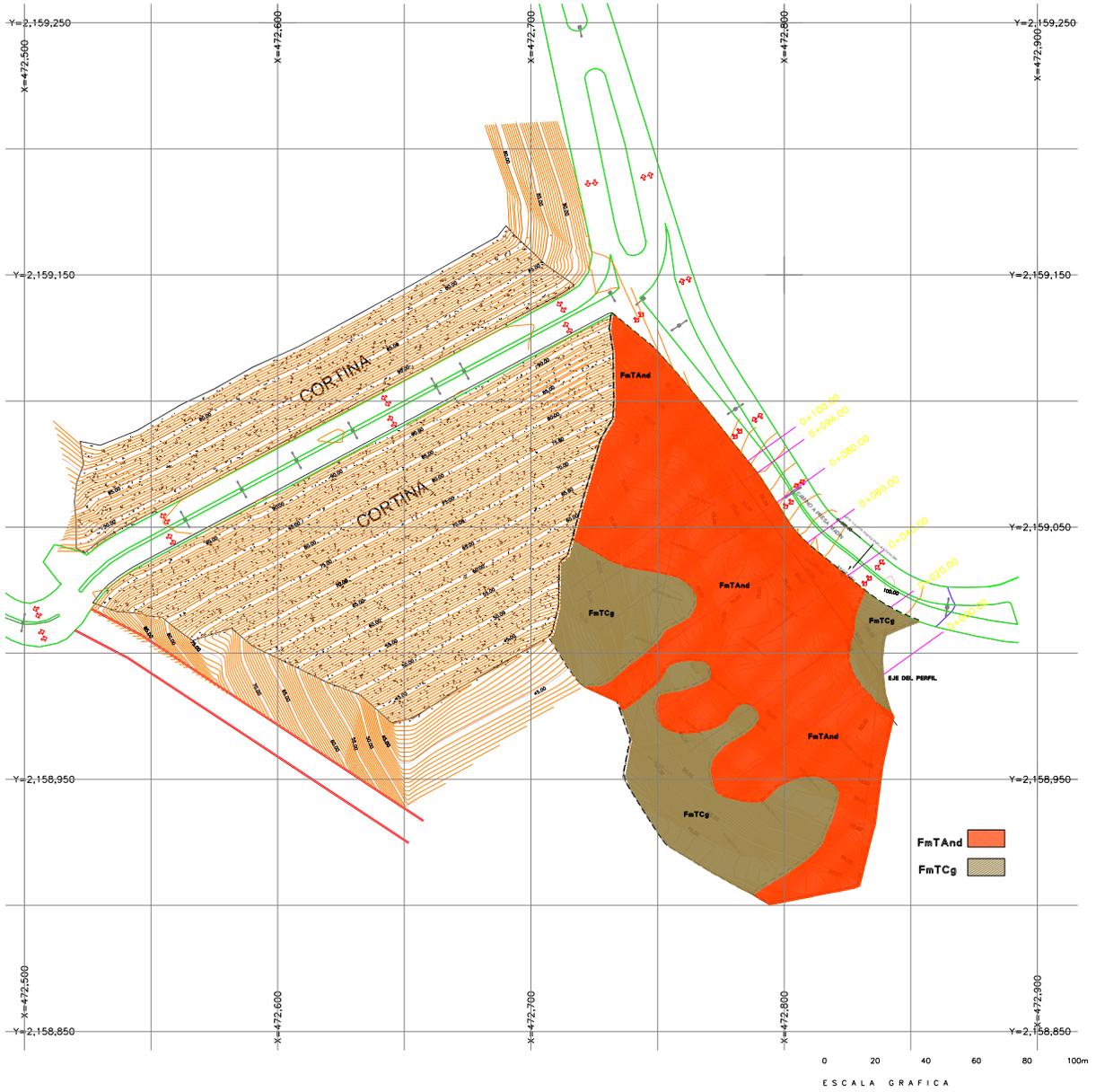


Figura 18.-Planta Geológica.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

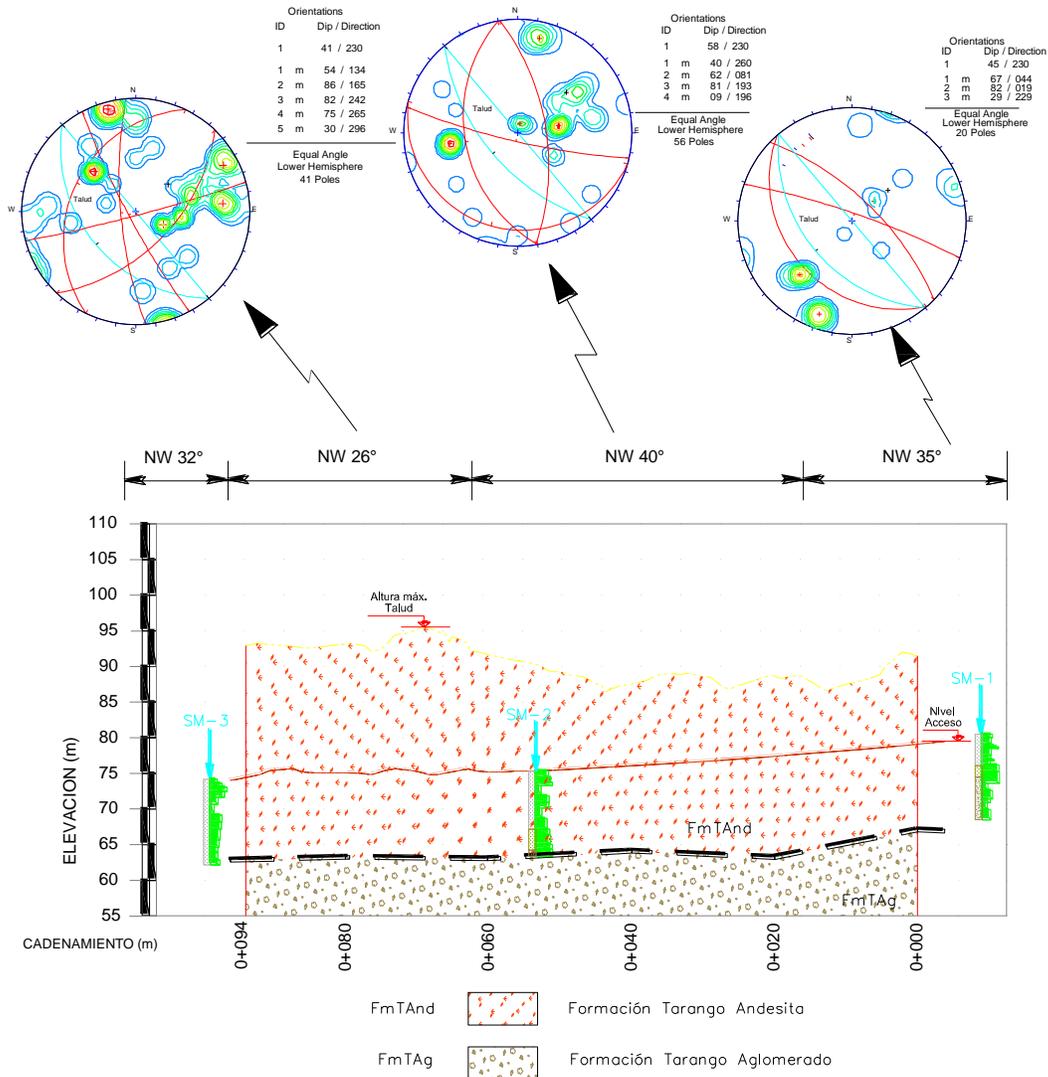


Figura 19.-Modelo Geológico- Geotécnico.

10. DETERMINACIÓN DEL MECANISMO POTENCIAL DE FALLA.

A partir de los estereogramas de las discontinuidades se verificó el potencial mecanismo de falla que pudiera presentarse en el talud de roca ubicado en la ladera izquierda aguas abajo de la cortina de la Presa Madín en cada una de las zonas establecidas para este estudio. En los estereogramas mostrados en el plano 2 y en las figuras 11 a 14 se indican el rumbo azimutal de la máxima inclinación de la cara del talud, el rumbo y dirección azimutal de las discontinuidades existentes. El plano 3 muestra las secciones geométricas de seis taludes del linderlo noreste del predio que fueron elegidos para los análisis por su

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

representatividad. Se definen en esta zona hasta 4 familias de fracturas. Se eligieron seis secciones a lo largo del talud denominadas estación 0+000, estación 0+020, estación 0+040, estación 0+060, estación 0+080 y la estación 0+094m con alturas variables.

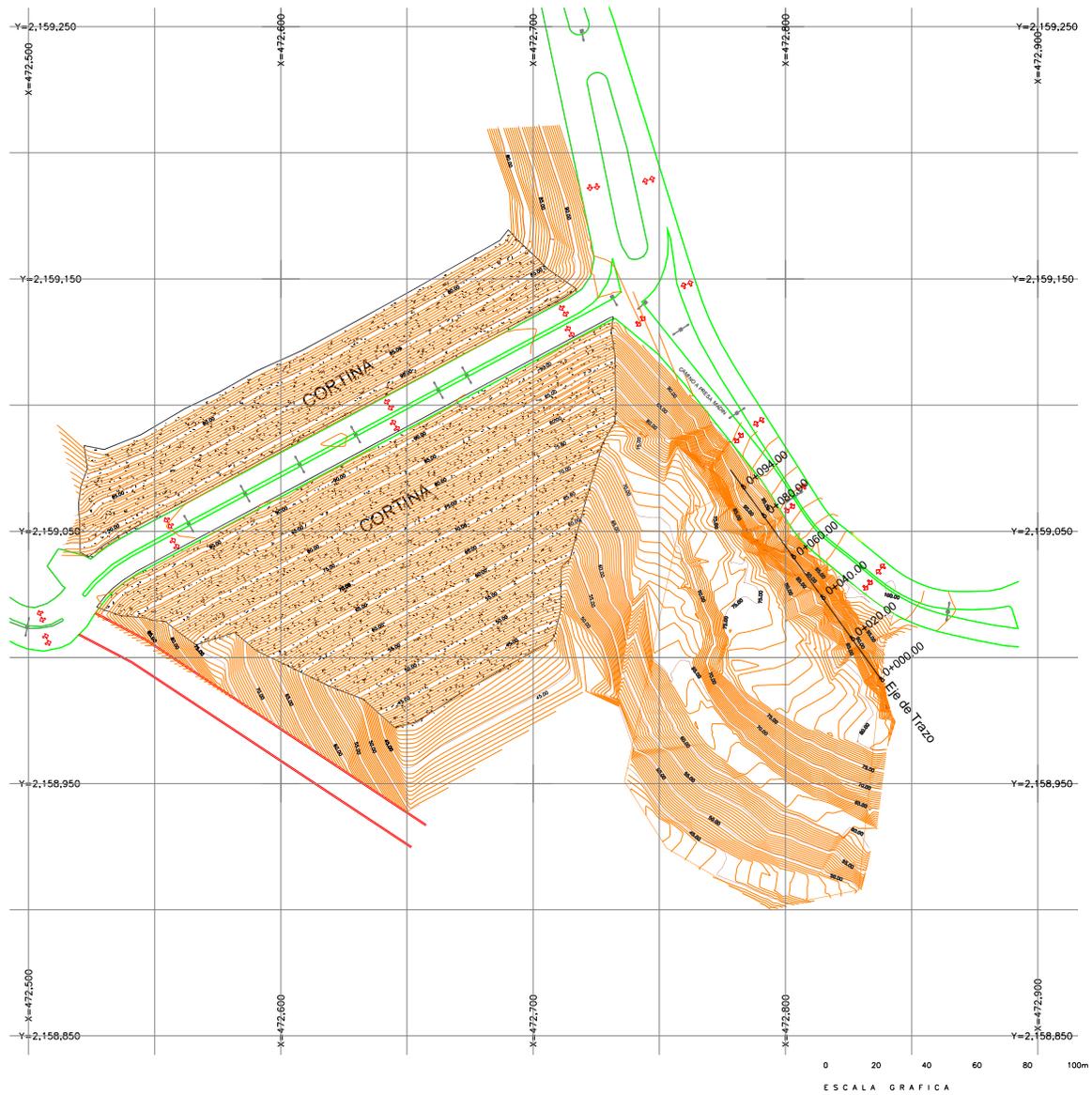


Figura 20.-Planta topográfica (eje del trazo y cadenamientos).

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

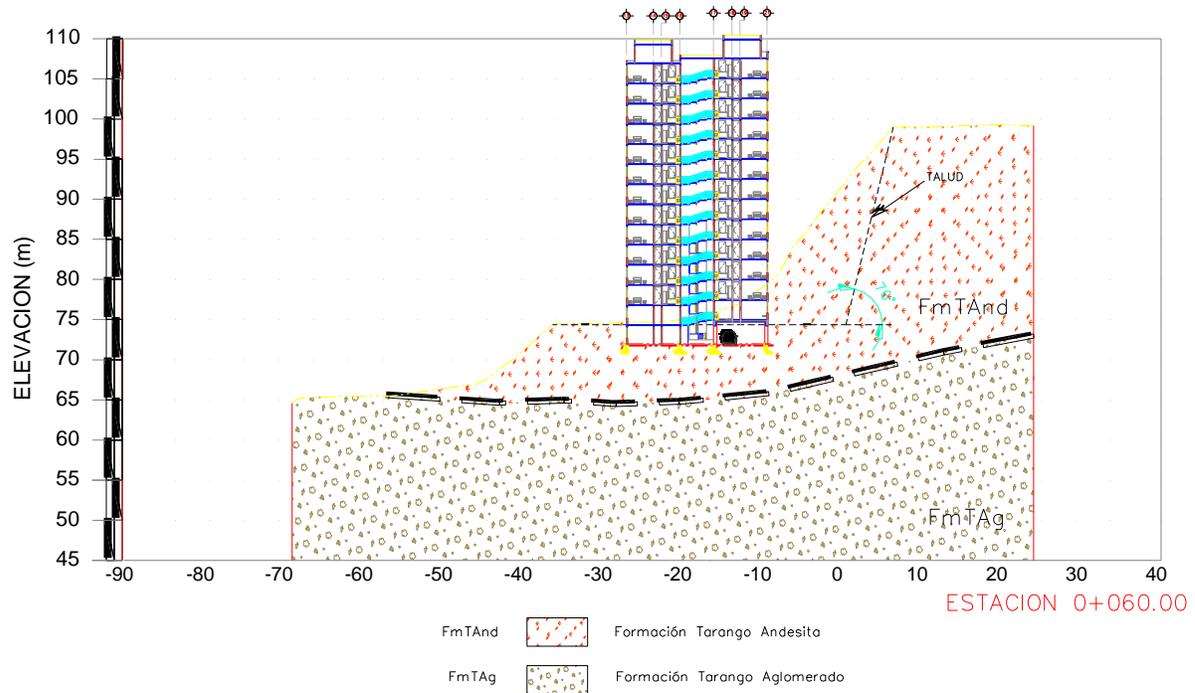


Figura 21.-Modelo Geológico- Geotécnico.

11. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.

En el talud existe la posibilidad de falla de cuña mediante el deslizamiento de bloques delimitados por dos planos de fracturas.

No existe la falla por volteo en alguno de los taludes.

Para realizar el análisis de estabilidad de bloques en cuña con tendencia a deslizar por dos planos se utilizó el paquete especializado de computo denominado SWEDGE de Rocscience, versión 4.0, que es una herramienta analítica interactiva para evaluar la estabilidad de bloques delimitados por dos superficies de deslizamiento, asumiendo que la falla que ocurre solo puede ser por deslizamiento en superficies planas siguiendo la dirección de la línea de intersección de ambas superficies. La figura 15 muestra como ejemplo la forma de presentación de un talud y el bloque analizado en el mismo.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

A partir de un primer análisis determinístico en condiciones de equilibrio límite, considerando que los bloques se mantienen estables con un factor de seguridad igual a la unidad se determinó la magnitud probable de los parámetros de resistencia al corte de las superficies de las fracturas c (cohesión) y ϕ (ángulo de fricción) sin sismo y sin empuje hidrostático, obteniendo juegos de valores mínimos y máximos de c y ϕ entre 0 t/m² con 30° y 3 t/m² con 40°, respectivamente; posteriormente, en un segundo análisis se incluyeron los parámetros necesarios para alcanzar la condición de estabilidad con agua y sismo y, finalmente, en un tercer análisis se asignaron valores de c y ϕ promedio, constantes (0.01 t/m² y 20°, respectivamente) para todas las superficies de fractura y se verificaron los bloques que mostraban factor de seguridad mayor de 1 aplicando fuerza de sismo ($C_s=0.14$) y fuerzas hidrostáticas al 100% (medio saturado con fracturas rellenas de agua desde la base del bloque hasta el hombro del talud), las cuales se disminuyeron en por ciento solo en aquellos casos de bloques que dejaron de estar en contacto con las superficies de las fracturas por efecto de la subpresión.

El estereograma de la figura 16 muestra las intersecciones entre planos de familias de fracturas que dan lugar a la formación de bloques con salida de la cara del talud y en consecuencia, con posibilidades de falla. En las seis secciones del talud finalmente analizados se delimitan bloques con posibilidades cinemáticas de movimiento por deslizamiento en dos planos (falla de cuña). La siguiente tabla muestra los datos de orientación y altura de cada talud, así como el número de bloques analizado para cada uno de ellos.

| Cadenamiento | Orientación del Talud | Zona | Altura del Talud (m) | Análisis de bloques |
|--------------|-----------------------|------|----------------------|---------------------|
| 0+000 | 330°/76° | I | 21.90 | A,B,C,D,E,F |
| 0+020 | 330°/76° | II | 25.64 | A,B,C,D,E,F |
| 0+040 | 330°/76° | II | 25.64 | A,B,C,D,E,F |
| 0+060 | 330°/76° | II | 24.64 | A,B,C,D,E,F |
| 0+080 | 330°/76° | III | 23.15 | A,B,C,D,E,F |
| 0+094 | 330°/76° | III | 22.65 | A,B,C,D,E,F |

Tabla 9.-Descripción de talud analizado.

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

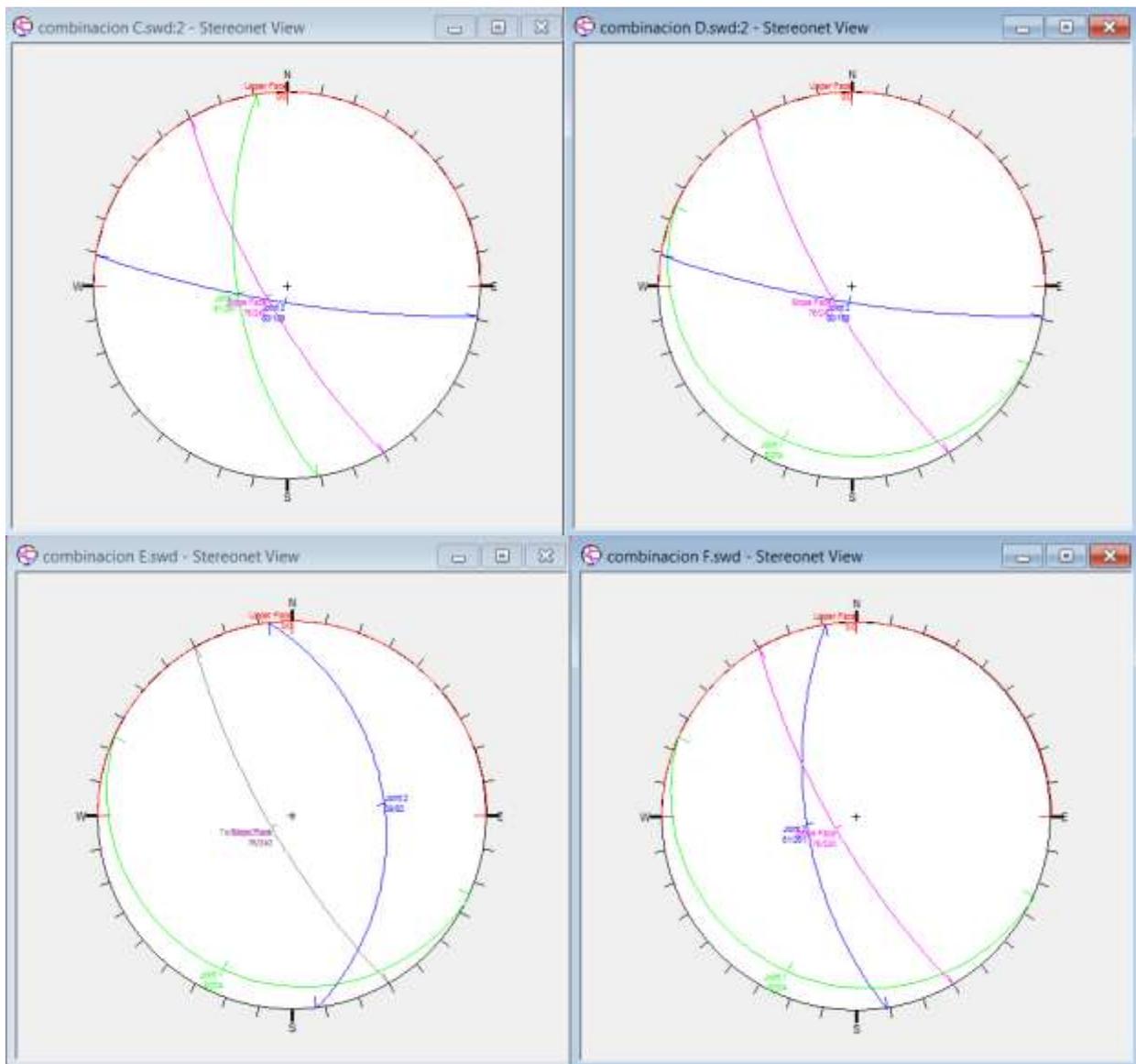


Figura 22.- Estereograma con el modelo "Falla de cuña".

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

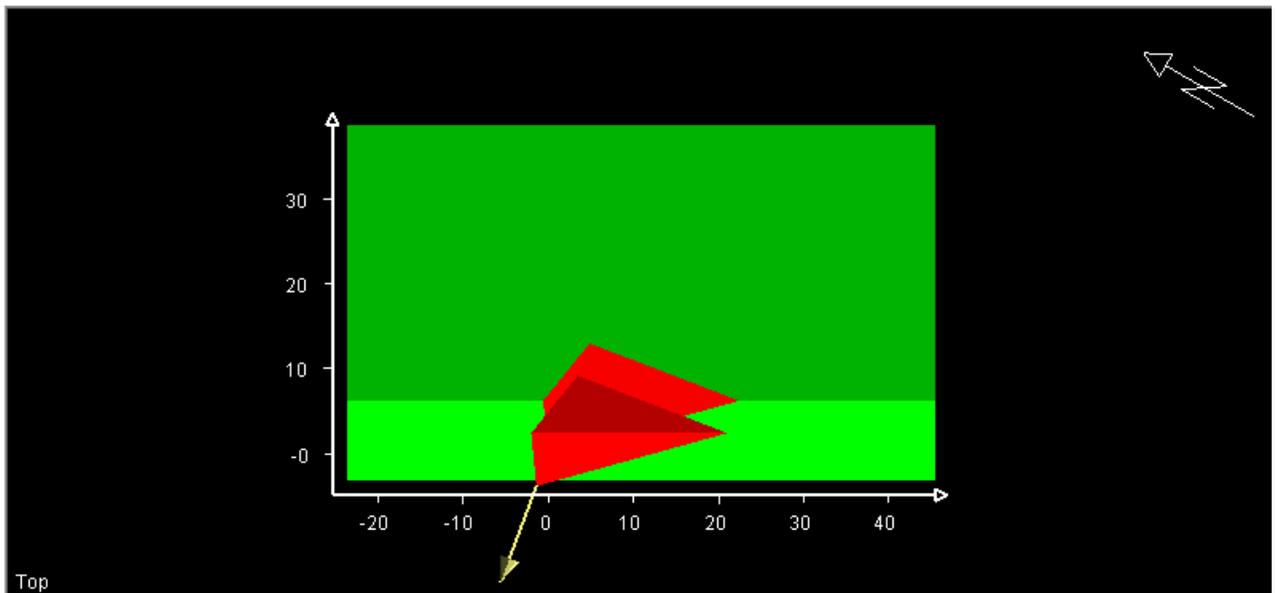


Figura 23.- Estabilidad de bloques en cuña. *(combinación C)*

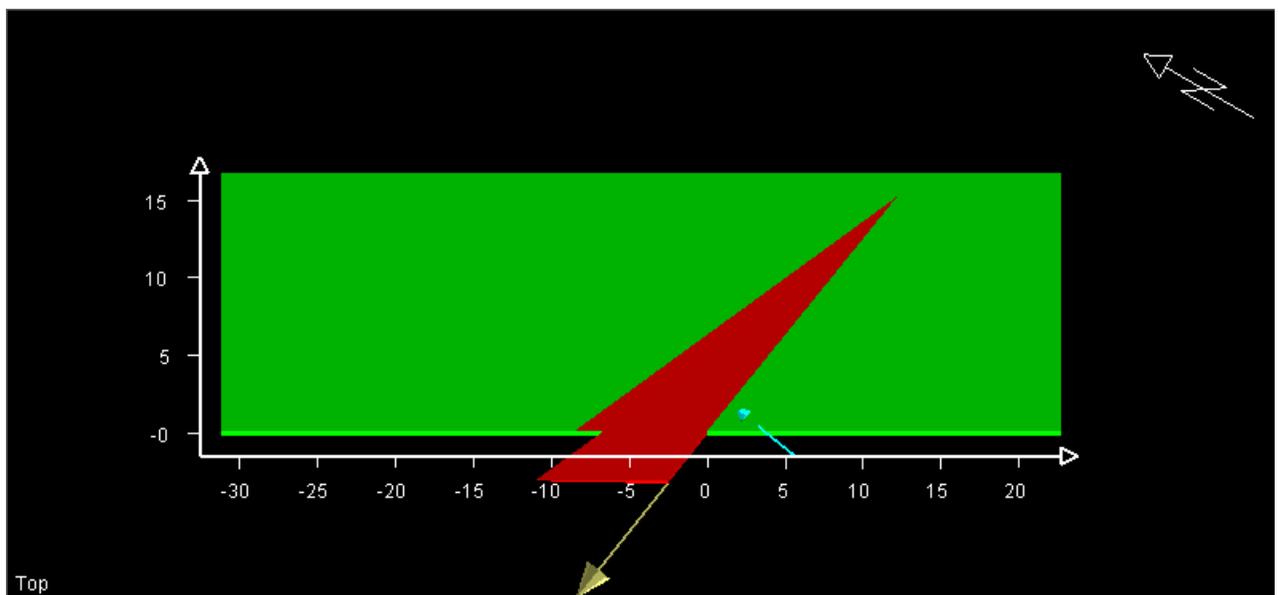


Figura 24.- Estabilidad de bloques en cuña. *(combinación D)*

Estabilidad de la Ladera Izquierda Aguas Abajo de la Cortina de la Presa Madín.

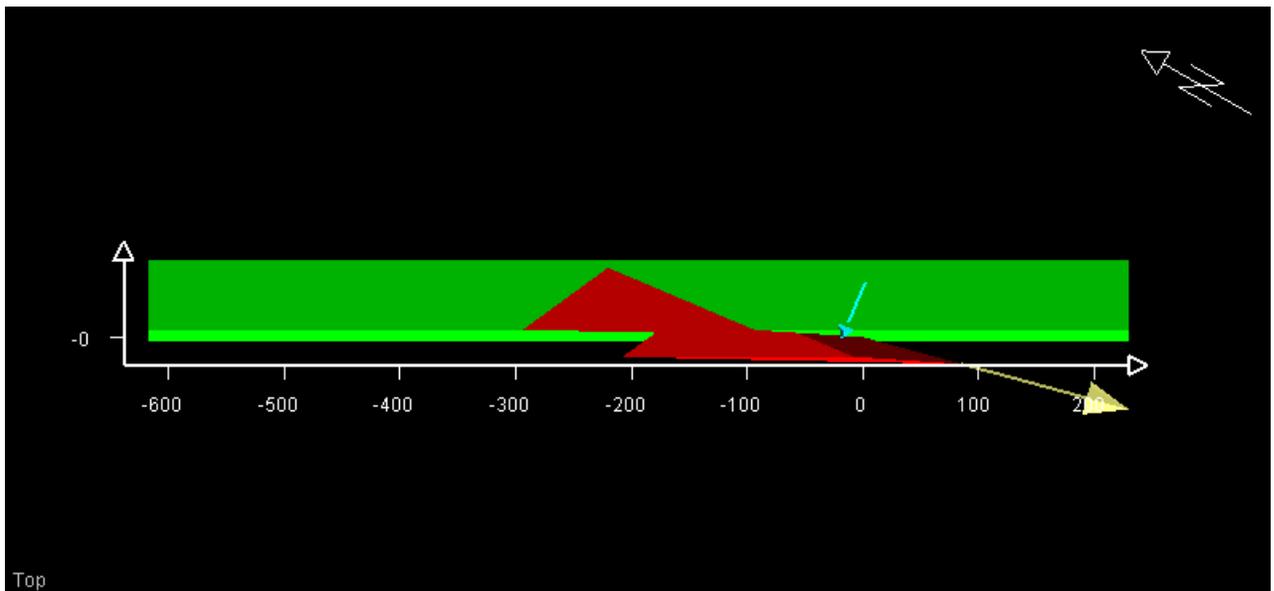


Figura 25.- Estabilidad de bloques en cuña. (*combinación E*)

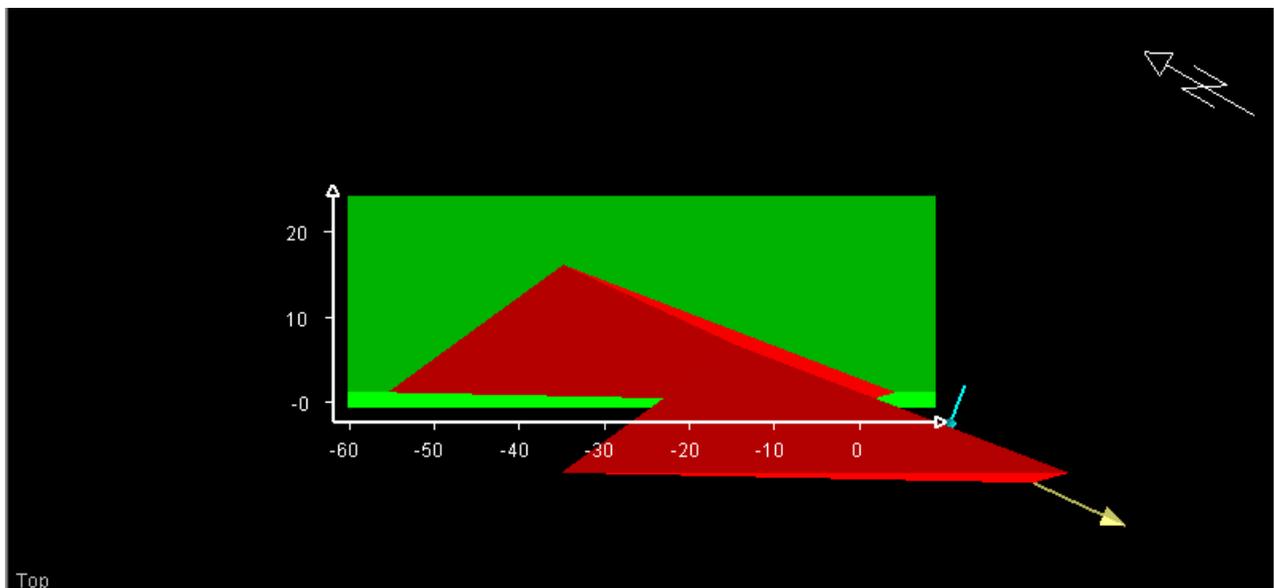


Figura 26.- Estabilidad de bloques en cuña. (*combinación F*)

12. RESULTADOS.

De los bloques analizados fueron estables con factor de seguridad mayor de 1.2 para peso propio + sismo y de 1.5 para condiciones de fuerzas actuantes de peso propio, sismo y empuje hidrostático para el juego de valores promedio de c y ϕ . Los bloques potencialmente inestables son escasos y delimitados por una o dos familias cuya frecuencia en el sitio es baja.

En los análisis realizados se incluyó una familia de fracturas semiparalela al rumbo de la cara del talud que sirve como grieta de tensión al existir la posibilidad de que la relajación de la masa rocosa (por la falta de confinamiento lateral) de lugar a la apertura por tensión de estas fracturas que sirven de respaldo al bloque potencialmente deslizante.

13. DISEÑO DE MEDIDAS CORRECTIVAS O TRATAMIENTOS PARA ESTABILIZACIÓN.

Debido a que el procedimiento de excavación produce en el macizo rocoso un cierto grado de alteración, es necesario realizarla de forma cuidadosa (sin explosivos) para que no se produzca ninguna alteración en la roca que permanecerá como cimentación, sin embargo, en la excavación para conformar el talud (0.25:1) horizontal y vertical puede existir cierto grado de afectación debido a la relajación de la roca, en este caso se considera que la excavación final se realice por medios mecánicos.

Para evitar escurrimientos de agua hacia la cara del talud, soslayar la erosión de la roca y caídos del material de la roca será necesario colocar una contra cuneta en toda la longitud del hombro del talud, y encauzar el agua a las zonas más bajas.

Se aplicará concreto lanzado en toda la vista frontal del talud y rampa de acceso, será de 0.05m de espesor $f_c' = 250 \text{ kg/cm}^2$ con refuerzo de malla electrosoldada 6X6-6/6, antes de la colocación del concreto lanzado la cara del talud debe amacizarse, lavarse eliminando polvo y humedecerse mediante esparcido.

En todo el corte del talud será conveniente que se perforen drenes cortos de 3" de diámetro y 30 cm de profundidad en patrón tresbolillo de 2.5 x 2.5 m, y donde se detecten humedades o filtraciones después de haberse colocado el concreto lanzado; estos drenes contendrán un tubo ranurado de 2.5" de diámetro, recubiertos con tela geotextil y sellados en la boca del barreno con mortero.

También se requerirán drenes largos de 6 m de longitud que contendrán tubos de las mismas características que los utilizados en drenes cortos y colocados en el tercio inferior del talud en una sola hilera ubicada verticalmente 1.5 m arriba del pie del talud y separados horizontalmente 4 m entre drenes.

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis de estabilidad se puede concluir que el talud $330^{\circ}/76^{\circ}$ de la ladera izquierda aguas abajo de la cortina presentan factores de seguridad por encima de la unidad lo cual indica que el talud es estable para las condiciones propuestas. Sin embargo como medida preventiva frente a desprendimientos de bloques sueltos en la superficie, se recomienda la colocación de concreto lanzado y drenes en toda la vista frontal del talud.

Se recomienda sensibilizar a los diseñadores arquitectónicos de proyectos habitacionales considerar un área de servicio entre los límites del pie del talud y donde inicia las instalaciones de la vialidad o estructuras arquitectónicas para tener una franja o área de seguridad donde se depositen algún material desprendido del talud.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- E. Hoek, C. Carranza-Torres y B. Corkum. Hoek-Brown Failure criterion – 2002 Edition.
- 2.- E. Hoek y E.T. Brown (1997). Practical estimates of Rock Mass Strength. International Journal of rock mechanics and mining sciences. Elsevier, vol. 34, No. 8, pp 1165-1186.
- 3.- Luis I. González de Vallejo. Ingeniería geológica. Editorial Pearson–Prentice Hall. Madrid, 2002.
- 4.- Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering rock mass clasifications. ED. John Wiley and Sons.
- 5.- Evert Hoek. Practical rock Engineering, Rocscience 2007.
- 6.- Atlas Multidisciplinario y de Riesgo Geotécnico de la Zona Conurbada al Norponiente del Valle de México.

ANEXO A

REGISTRO DE SONDEOS

ANEXO B

ENSAYOS DE LABORATORIO

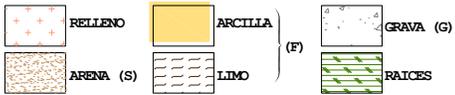
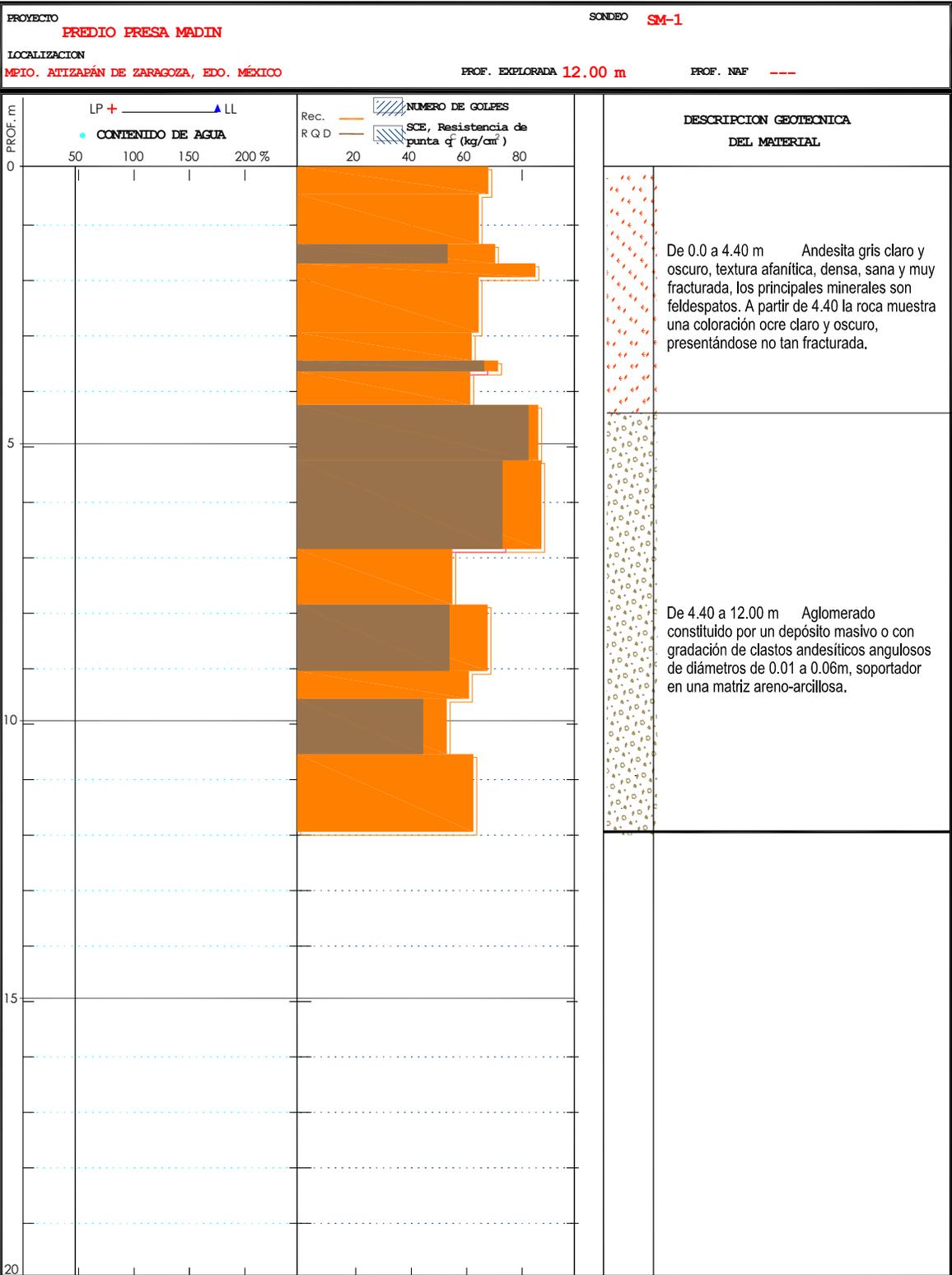
ANEXO C

FOTOGRAFIAS AEREAS

ANEXO D

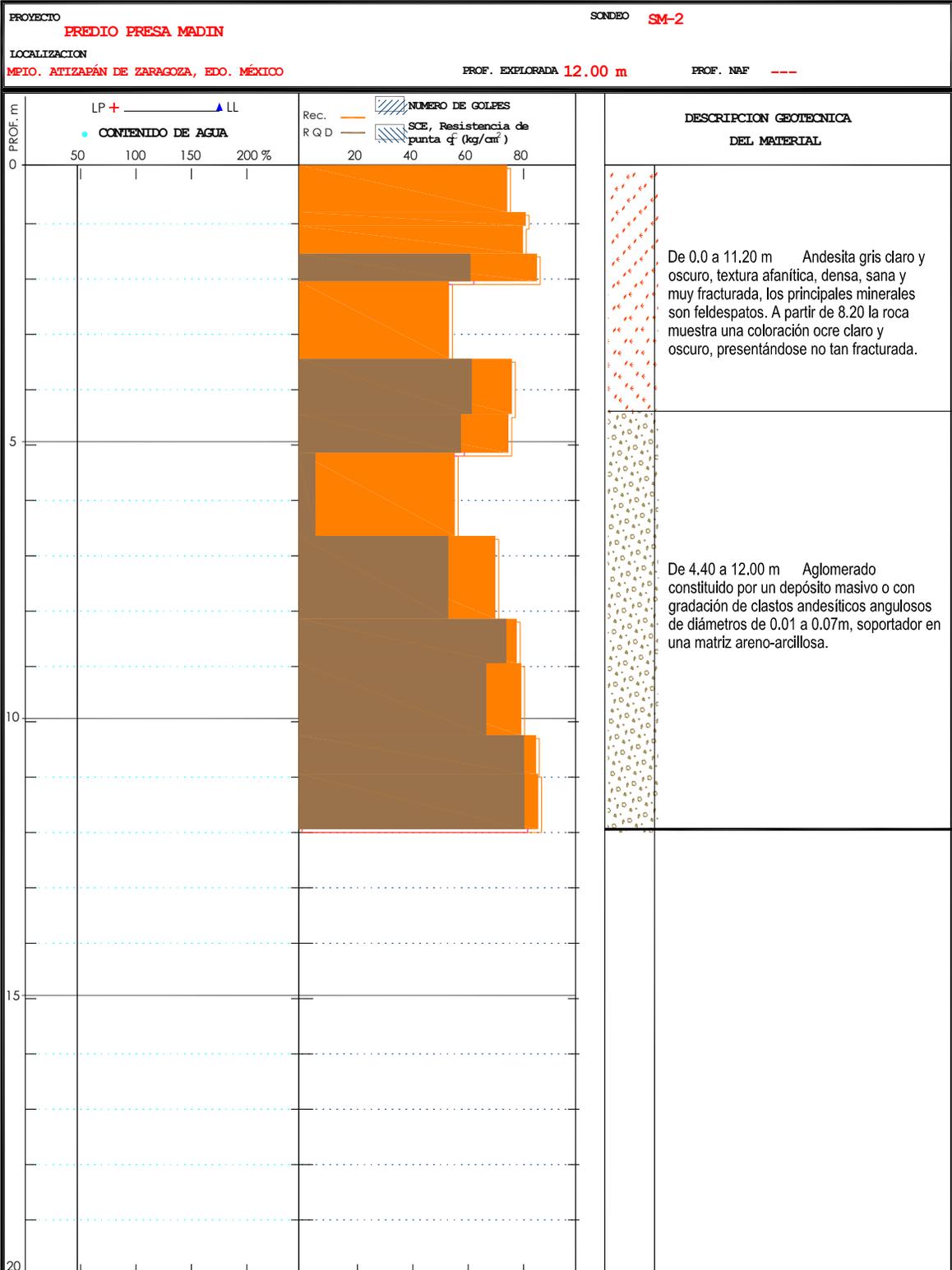
PLANTA Y PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

SONDEO MIXTO



LP= LIMITE PLASTICO NAF= NIVEL DE AGUAS FREATICAS
 LL= LIMITE LIQUIDO A= AVANCE CON BROCA TRICONICA
 TS= TUBO SHELBY S= PORCENTAJE DE ARENAS
 TD= TUBO DENTADO F= PORCENTAJE DE FINOS
 B-PQ= BARRIL PQ G= PORCENTAJE DE GRAVAS

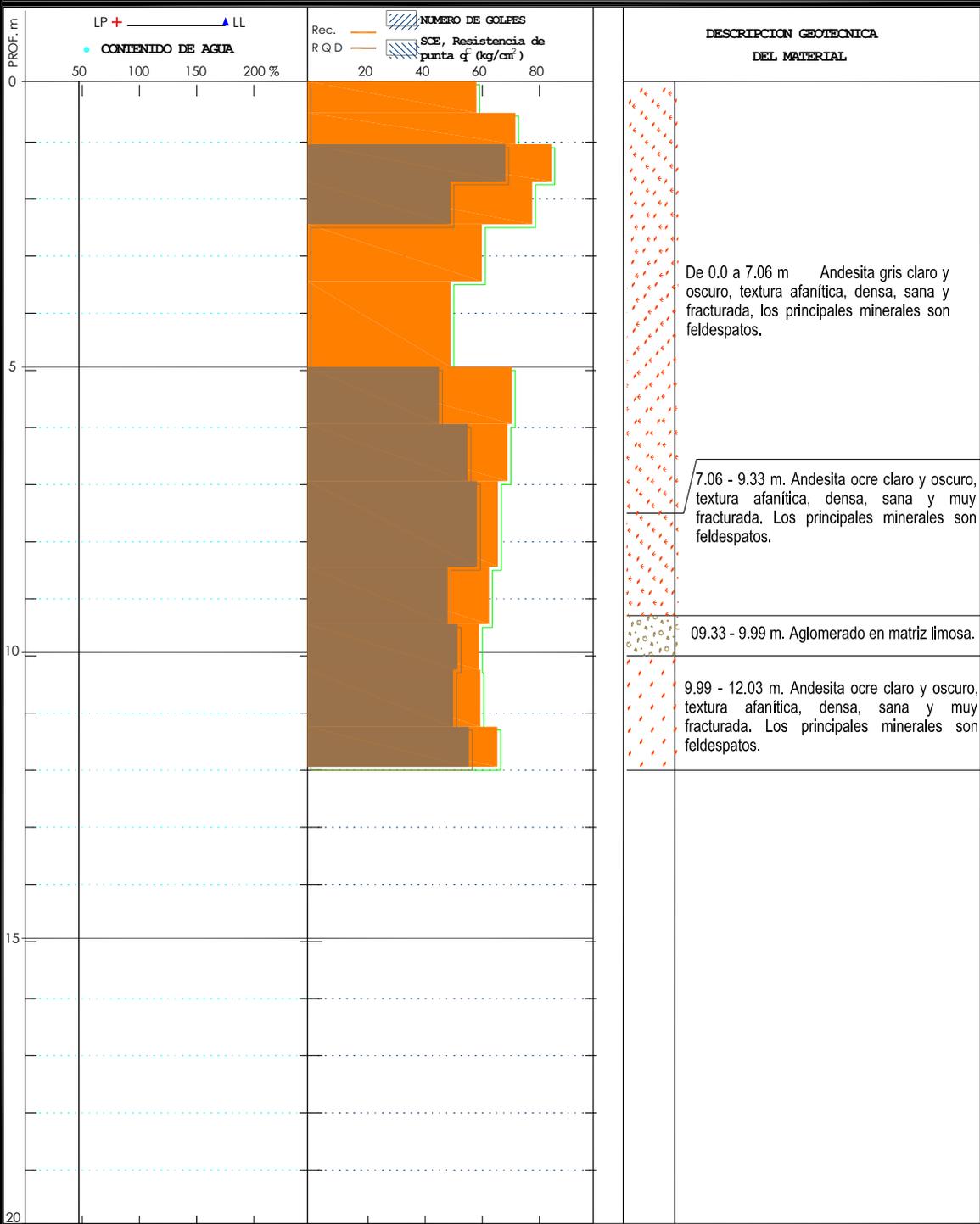
SONDEO MIXTO



| | |
|---------------------|-------------------------------|
| LP= LIMITE PLÁSTICO | NAF= NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS |
| LL= LIMITE LIQUIDO | A= AVANCE CON BROCA TRICÓNICA |
| TS= TUBO SHELEY | S= PORCENTAJE DE ARENAS |
| TD= TUBO DENTADO | F= PORCENTAJE DE FINOS |
| B-PQ= BARRIL PQ | G= PORCENTAJE DE GRAVAS |

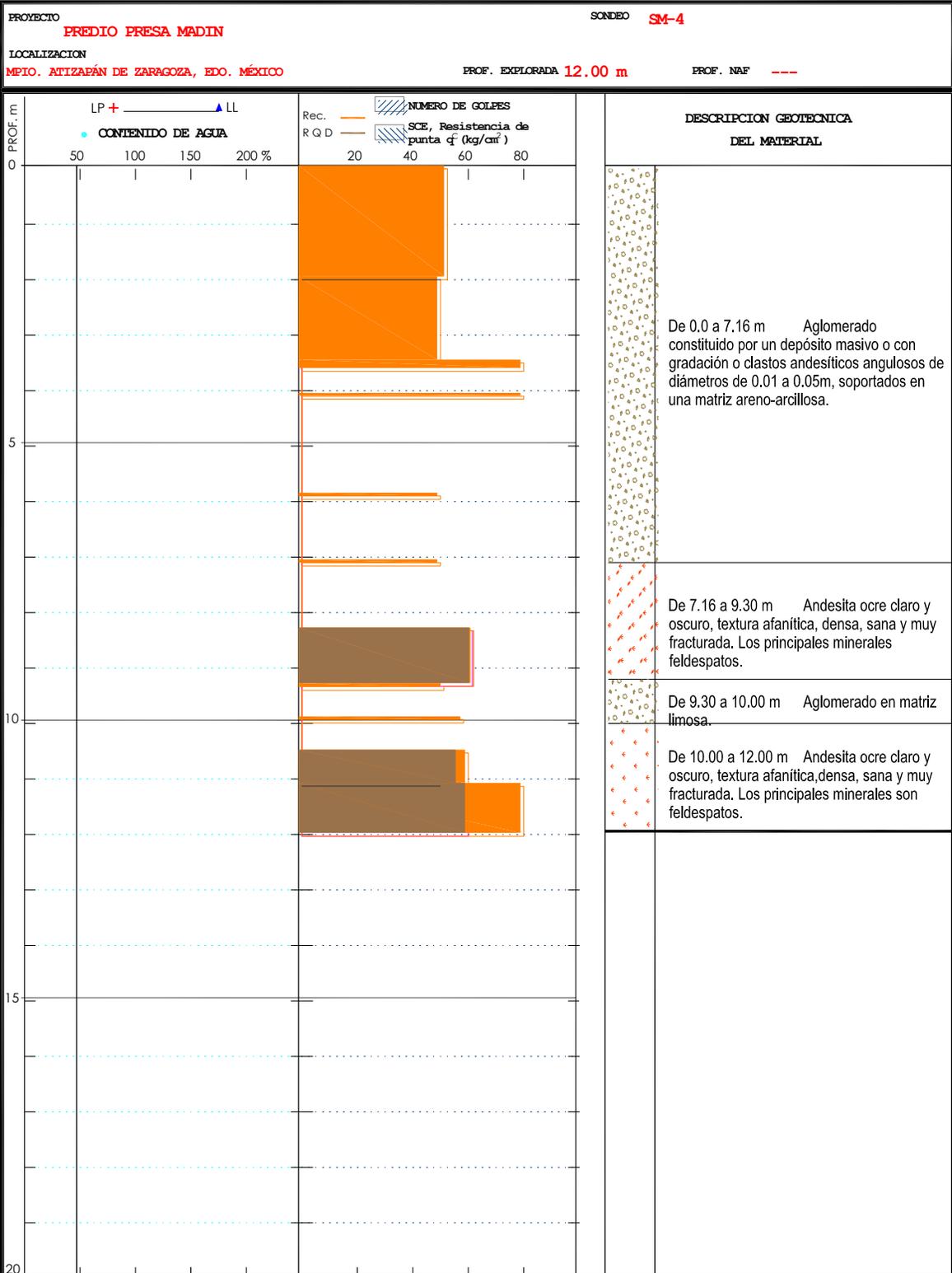
SONDEO MIXTO

| | |
|---|---------------------------------------|
| PROYECTO EREDIO PRESA MADIN | SONDEO SM-3 |
| LOCALIZACION MPIO. ATIZAPÁN DE ZARAGOZA, EDO. MÉXICO | PROF. EXPLORADA 12.00 m |
| | PROF. NAF --- |



- LP= LIMITE PLASTICO
- LL= LIMITE LIQUIDO
- TS= TUBO SHELBY
- TD= TUBO DENTADO
- B-EQ= BARRIL PQ
- NAF= NIVEL DE AGUAS FREATICAS
- A= AVANCE CON BROCA TRICONICA
- S= PORCENTAJE DE ARENAS
- F= PORCENTAJE DE FINOS
- G= PORCENTAJE DE GRAVAS

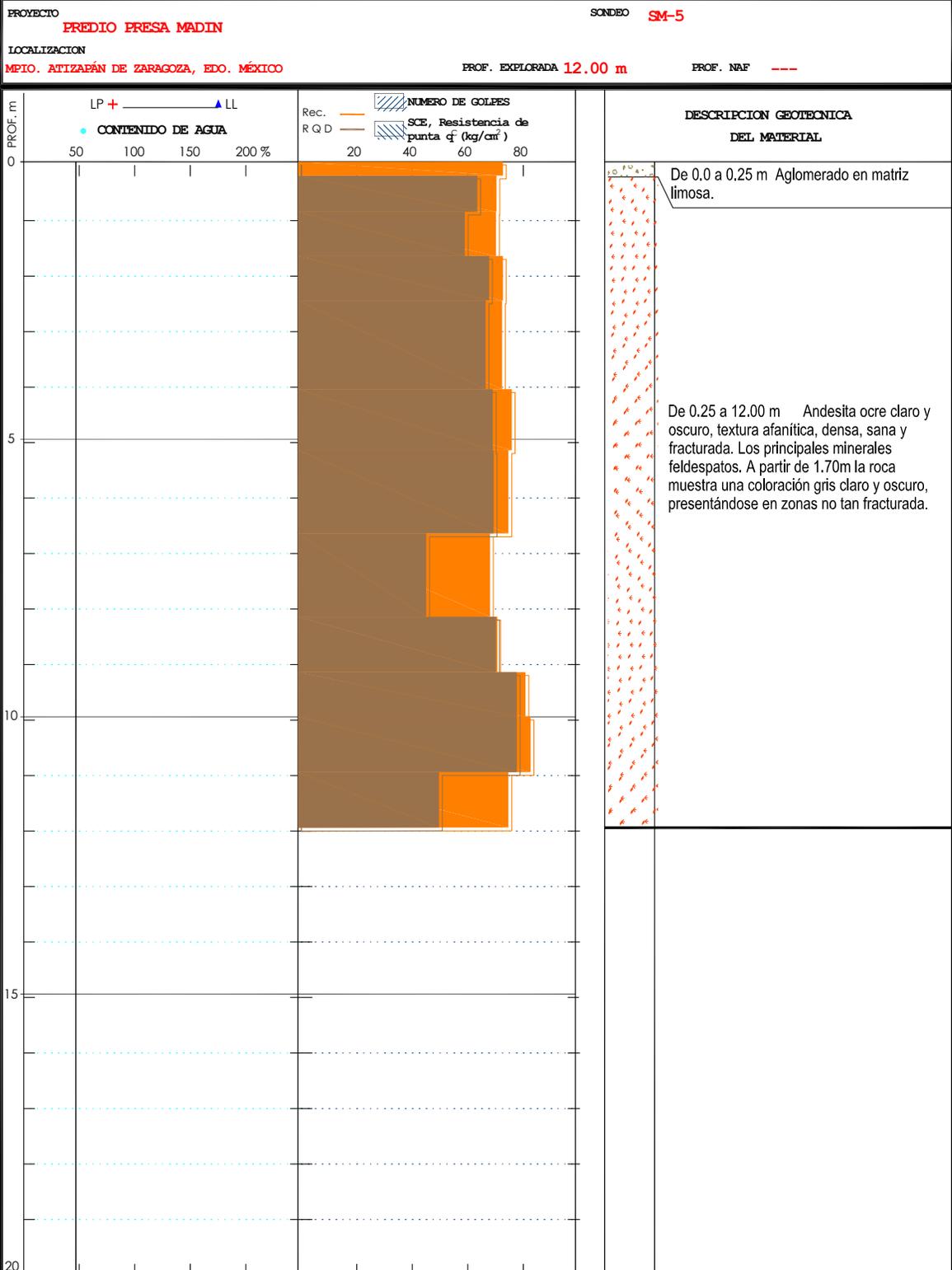
SONDEO MIXTO



LP= LIMITE PLÁSTICO
 LL= LIMITE LÍQUIDO
 TS= TUBO SHELLEY
 TD= TUBO DENTADO
 B-EQ= BARRIL EQ

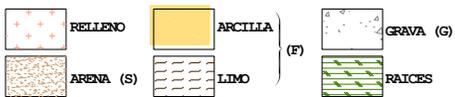
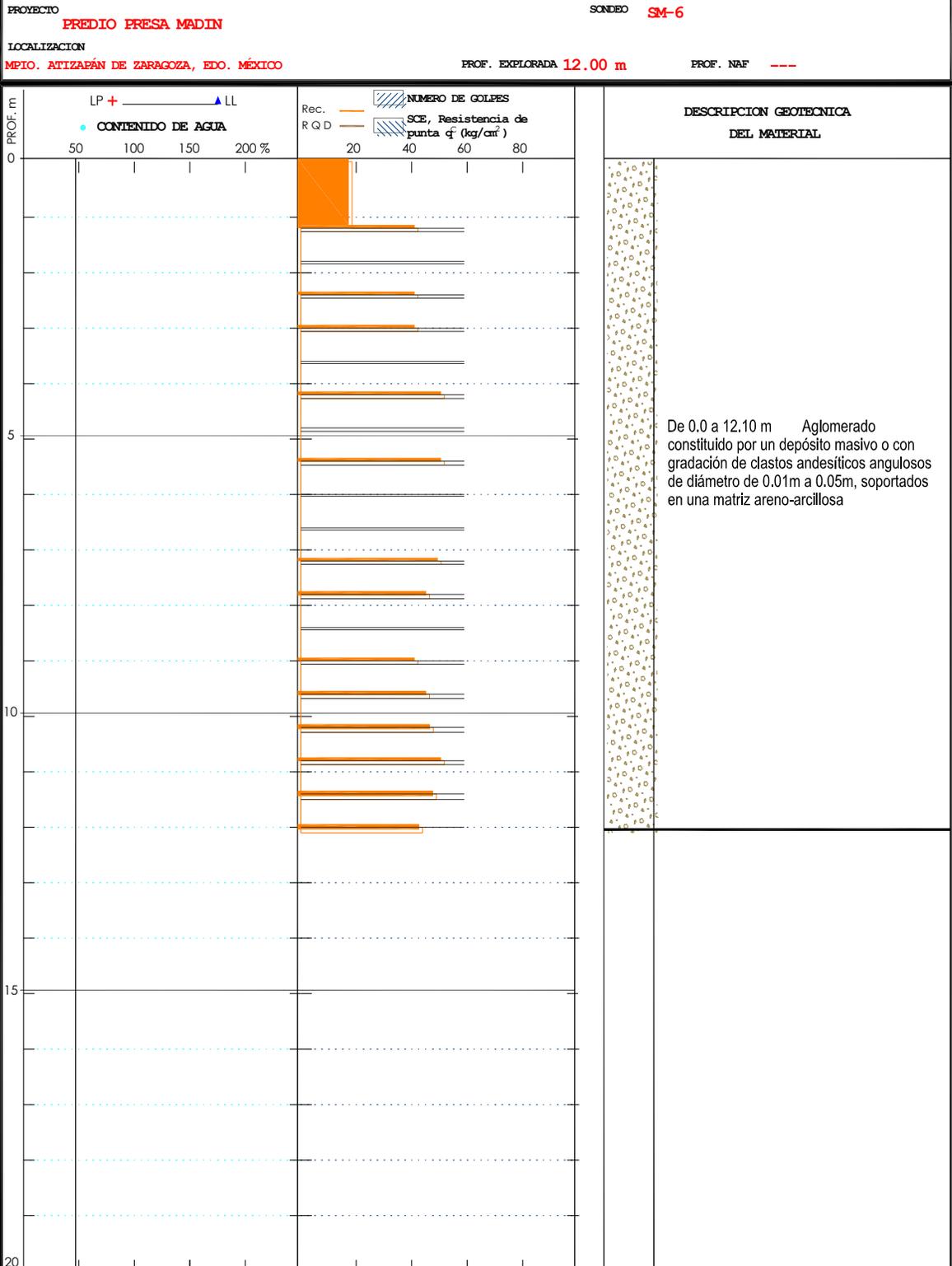
NAF= NIVEL DE AGUAS FREÁTICAS
 A= AVANCE CON BROCA TRICÓNICA
 S= PORCENTAJE DE ARENAS
 F= PORCENTAJE DE FINOS
 G= PORCENTAJE DE GRAVAS

SONDEO MIXTO



- | | | | | |
|-----------|---------|-----------|---------------------|-------------------------------|
| RELLENO | ARCILLA | GRAVA (G) | LP= LIMITE PLASTICO | NAF= NIVEL DE AGUAS FREATICAS |
| ARENA (S) | LIMO | RAICES | LL= LIMITE LIQUIDO | A= AVANCE CON BROCA TRICONICA |
| | (F) | | TS= TUBO SHELEBY | S= PORCENTAJE DE ARENAS |
| | | | TD= TUBO DENTADO | F= PORCENTAJE DE FINOS |
| | | | B-PQ= BARRIL PQ | G= PORCENTAJE DE GRAVAS |

SONDEO MIXTO



LP= LIMITE PLASTICO
 LL= LIMITE LIQUIDO
 TS= TUBO SHELEY
 TD= TUBO DENTADO
 B-PQ= BARRIL PQ
 NAF= NIVEL DE AGUAS FREATICAS
 A= AVANCE CON BROCA TRICONICA
 S= PORCENTAJE DE ARENAS
 F= PORCENTAJE DE FINOS
 G= PORCENTAJE DE GRAVAS

OBRA: PREDIO PRESA MADIN
LOCALIZACIÓN: ATIZAPÁN DE ZARAG., EDO. MEX.
ENSAYE: MÓDULO DE DEFORMABILIDAD

SONDEO: SM-2
MUESTRA: M2-S2-M11
PROF.: 9.00
FECHA: 05-feb-13
CALCULÓ: GCB

DESCRIPCIÓN: Andesita

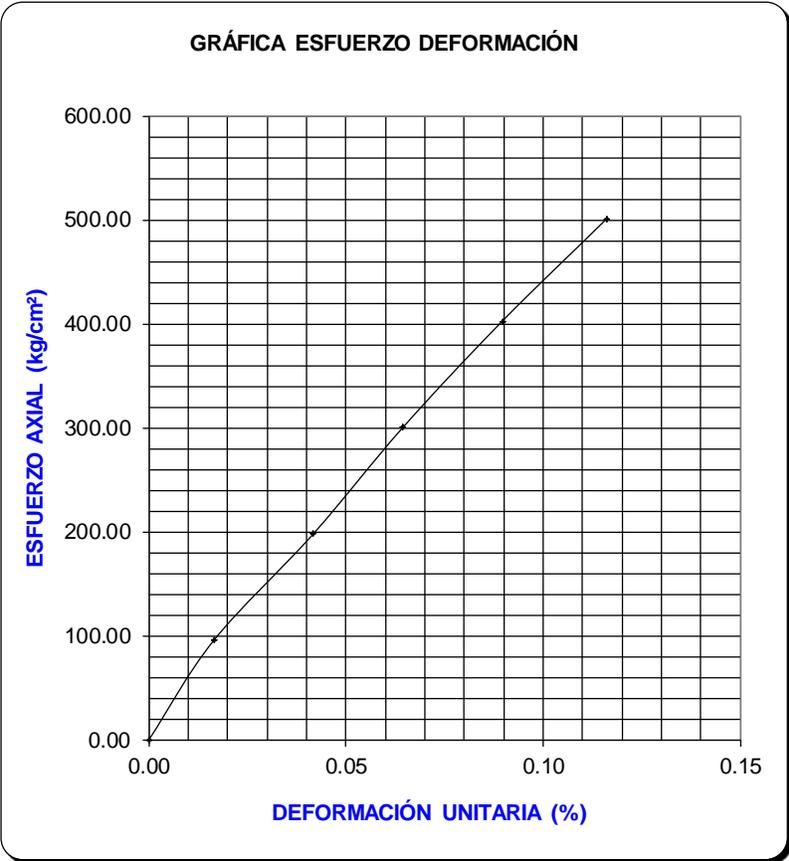
MEDIDAS DE LA MUESTRA

| | | | | | | | | |
|-----|-------|----|-----|-----------------------|-----------------|-------|-----------------|--------------------|
| Ds= | 4.75 | cm | As= | 17.72 | cm ² | Wm= | 507.09 | gr |
| Dm= | 4.76 | cm | Ac= | 17.80 | cm ² | Vm= | 210.96 | cm ³ |
| Di= | 4.74 | cm | Ai= | 17.65 | cm ² | gama= | 2.404 | ton/m ³ |
| hi= | 11.88 | cm | Am= | (As+4Ac+Ai)/6= | | 17.76 | cm ² | |
| hm= | 3.96 | cm | hm= | espacio entre anillos | | | | |

| | CARGA | CARGA CORREG. | MICRO 1 | MICRO 2 | DEFOR. | DEFOR. UNIT. | 1-DEFOR. UNIT. | ÁREA CORREG. | ESFUERZO |
|-------|--------|------------------|----------|----------|--------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| | | (kg) | (mm/100) | (mm/100) | (mm) | (%) | (-) | cm ² | kg/cm ² |
| 1 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 17.76 | 0.00 |
| 2 | 1694 | 1694 | 0.300 | 1.000 | 0.007 | 0.016 | 1.000 | 17.76 | 95.38 |
| 3 | 3514 | 3514 | 1.200 | 2.100 | 0.017 | 0.042 | 1.000 | 17.77 | 197.80 |
| 4 | 5334 | 5334 | 2.000 | 3.100 | 0.026 | 0.064 | 0.999 | 17.77 | 300.18 |
| 5 | 7154 | 7154 | 3.000 | 4.100 | 0.036 | 0.090 | 0.999 | 17.77 | 402.50 |
| 6 | 8907.5 | 8908 | 4.100 | 5.100 | 0.046 | 0.116 | 0.999 | 17.78 | 501.02 |
| FALLA | 18759 | 18759 | | | | | | 17.77 | 1055.68 |

| | |
|---|---------|
| ESFUERZO MÁXIMO DE MEDICIÓN (kg/cm ²) | 501.02 |
| RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²) | 1055.68 |
| 50% Rc (kg/cm ²) | 527.84 |

PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE



| PESO VOLUMÉTRICO (ton/m ³) | CARGA ÚLTIMA (Kg/cm ²) |
|--|------------------------------------|
| 2.404 | 1055.68 |

| MÓDULO DE DEFORMABILIDAD | | |
|---------------------------------------|---------------------|----------------|
| OBRA: | PREDIO PRESA MADIN | |
| LUGAR ATIZAPÁN DE ZARAG, EDO. MEX. | | SONDEO SM-2 |
| MUESTRA M2-S2-M11 | PROFUNDIDAD 9.00 | FIG. 19 |

OBRA: PREDIO PRESA MADIN
LOCALIZACIÓN: ATIZAPÁN DE ZARAG., EDO. MEX.
ENSAYE: MÓDULO DE DEFORMABILIDAD

SONDEO: SM-3
MUESTRA: M3-S3-M9
PROF.: 7.20
FECHA: 05-feb-13
CALCULÓ: GCB

DESCRIPCIÓN: Andesita

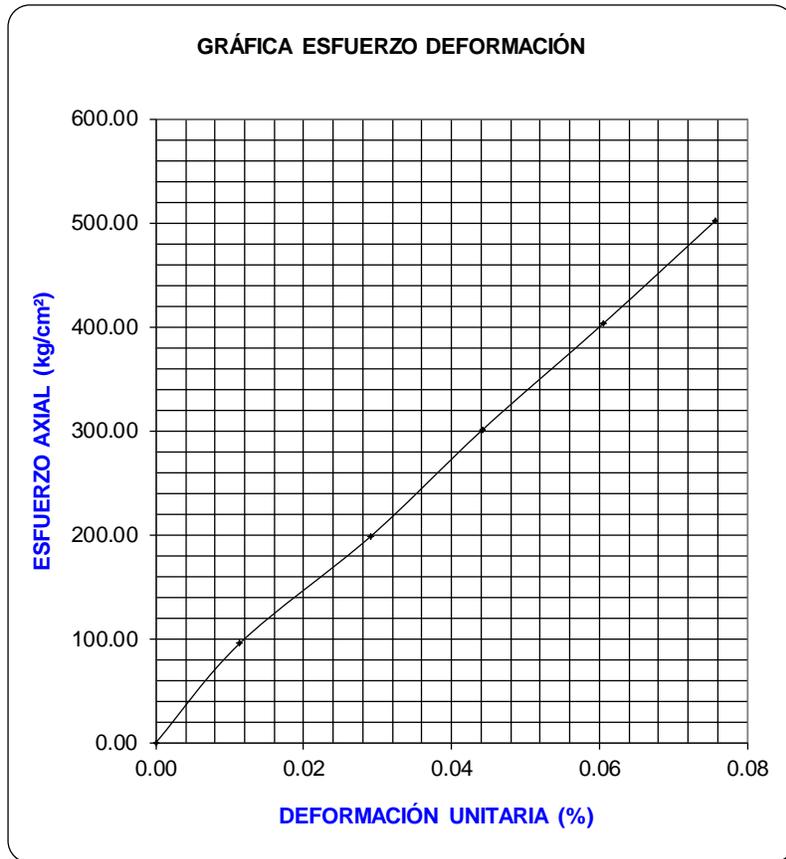
MEDIDAS DE LA MUESTRA

| | | | | | | | | |
|-----|-------|----|-----|-----------------------|-----------------|-------|-----------------|--------------------|
| Ds= | 4.75 | cm | As= | 17.72 | cm ² | Wm= | 564.16 | gr |
| Dm= | 4.75 | cm | Ac= | 17.72 | cm ² | Vm= | 210.52 | cm ³ |
| Di= | 4.75 | cm | Ai= | 17.72 | cm ² | gama= | 2.680 | ton/m ³ |
| hi= | 11.88 | cm | Am= | (As+4Ac+Ai)/6= | | 17.72 | cm ² | |
| hm= | 3.96 | cm | hm= | espacio entre anillos | | | | |

| | CARGA | CARGA CORREG. | MICRO 1 | MICRO 2 | DEFOR. | DEFOR. UNIT. | 1-DEFOR. UNIT. | ÁREA CORREG. | ESFUERZO |
|-------|--------|------------------|----------|----------|--------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| | | (kg) | (mm/100) | (mm/100) | (mm) | (%) | (-) | cm ² | kg/cm ² |
| 1 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 17.72 | 0.00 |
| 2 | 1694 | 1694 | 0.300 | 0.600 | 0.005 | 0.011 | 1.000 | 17.72 | 95.58 |
| 3 | 3514 | 3514 | 0.800 | 1.500 | 0.012 | 0.029 | 1.000 | 17.73 | 198.24 |
| 4 | 5334 | 5334 | 0.900 | 2.600 | 0.018 | 0.044 | 1.000 | 17.73 | 300.87 |
| 5 | 7154 | 7154 | 1.000 | 3.800 | 0.024 | 0.061 | 0.999 | 17.73 | 403.47 |
| 6 | 8907.5 | 8908 | 1.000 | 5.000 | 0.030 | 0.076 | 0.999 | 17.73 | 502.28 |
| FALLA | 30480 | 30480 | | | | | | 17.73 | 1719.27 |

| | |
|---|---------|
| ESFUERZO MÁXIMO DE MEDICIÓN (kg/cm ²) | 502.28 |
| RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²) | 1719.27 |
| 50% Rc (kg/cm ²) | 859.64 |

PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE



| PESO VOLUMÉTRICO (ton/m ³) | CARGA ÚLTIMA (Kg/cm ²) |
|--|--|
| 2.680 | 1719.27 |

| MÓDULO DE DEFORMABILIDAD | | |
|--|---------------------|----------------|
| OBRA: | PREDIO PRESA MADIN | |
| LUGAR ATIZAPÁN DE ZARAG., EDO. MEX. | | SONDEO SM-3 |
| MUESTRA M3-S3-M9 | PROFUNDIDAD 7.20 | FIG. 20 |

OBRA: PREDIO PRESA MADIN
LOCALIZACIÓN: ATIZAPÁN DE ZARAG., EDO. MEX.
ENSAYE: MÓDULO DE DEFORMABILIDAD

SONDEO: SM-5
MUESTRA: M5-S5-M2
PROF.: 0.25
FECHA: 05-feb-13
CALCULÓ: GCB

DESCRIPCIÓN: Andesita

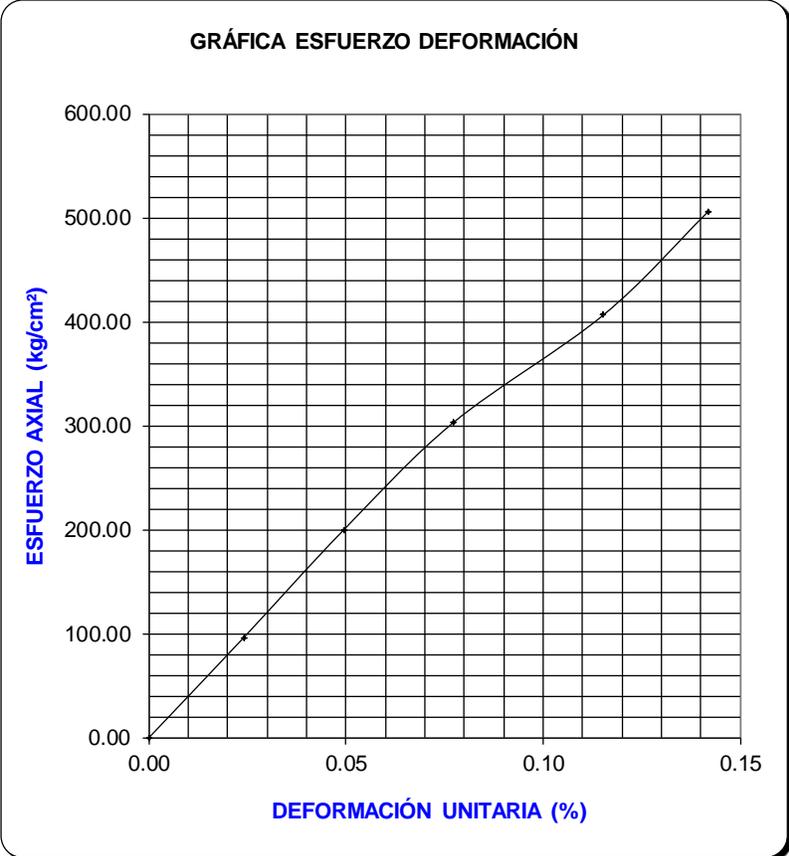
MEDIDAS DE LA MUESTRA

| | | | | | | | | |
|-----|-------|----|---------------------------|----------------|-----------------|-------|-----------------|--------------------|
| Ds= | 4.72 | cm | As= | 17.50 | cm ² | Wm= | 491.05 | gr |
| Dm= | 4.73 | cm | Ac= | 17.57 | cm ² | Vm= | 208.20 | cm ³ |
| Di= | 4.75 | cm | Ai= | 17.72 | cm ² | gama= | 2.359 | ton/m ³ |
| hi= | 11.84 | cm | Am= | (As+4Ac+Ai)/6= | | 17.58 | cm ² | |
| hm= | 3.95 | cm | hm= espacio entre anillos | | | | | |

| | CARGA | CARGA | MICRO 1 | MICRO 2 | DEFOR. | DEFOR. | 1-DEFOR. | ÁREA | ESFUERZO |
|-------|--------|---------|----------|----------|--------|--------|----------|-----------------|--------------------|
| | | CORREG. | | | | UNIT. | UNIT. | CORREG. | |
| | | (kg) | (mm/100) | (mm/100) | (mm) | (%) | (-) | cm ² | kg/cm ² |
| 1 | 0 | 0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | 17.58 | 0.00 |
| 2 | 1694 | 1694 | 1.100 | 0.800 | 0.010 | 0.024 | 1.000 | 17.59 | 96.31 |
| 3 | 3514 | 3514 | 2.700 | 1.200 | 0.020 | 0.049 | 1.000 | 17.59 | 199.74 |
| 4 | 5334 | 5334 | 4.000 | 2.100 | 0.031 | 0.077 | 0.999 | 17.60 | 303.11 |
| 5 | 7154 | 7154 | 5.700 | 3.400 | 0.046 | 0.115 | 0.999 | 17.60 | 406.38 |
| 6 | 8907.5 | 8908 | 6.900 | 4.300 | 0.056 | 0.142 | 0.999 | 17.61 | 505.85 |
| FALLA | 28392 | 28392 | | | | | | 17.60 | 1613.32 |

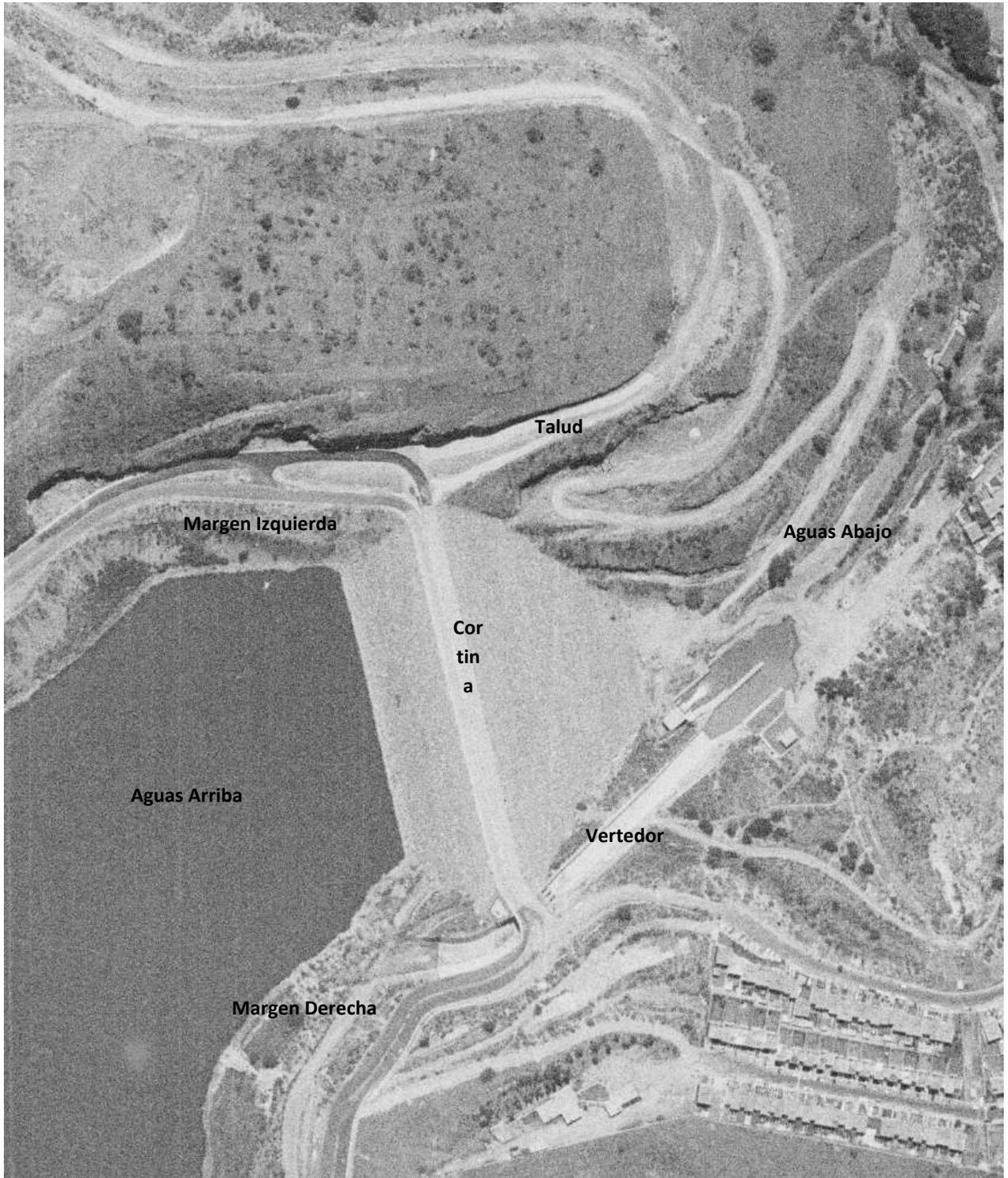
| | |
|---|---------|
| ESFUERZO MÁXIMO DE MEDICIÓN (kg/cm ²) | 505.85 |
| RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²) | 1613.32 |
| 50% Rc (kg/cm ²) | 806.66 |

PRUEBA DE COMPRESIÓN SIMPLE

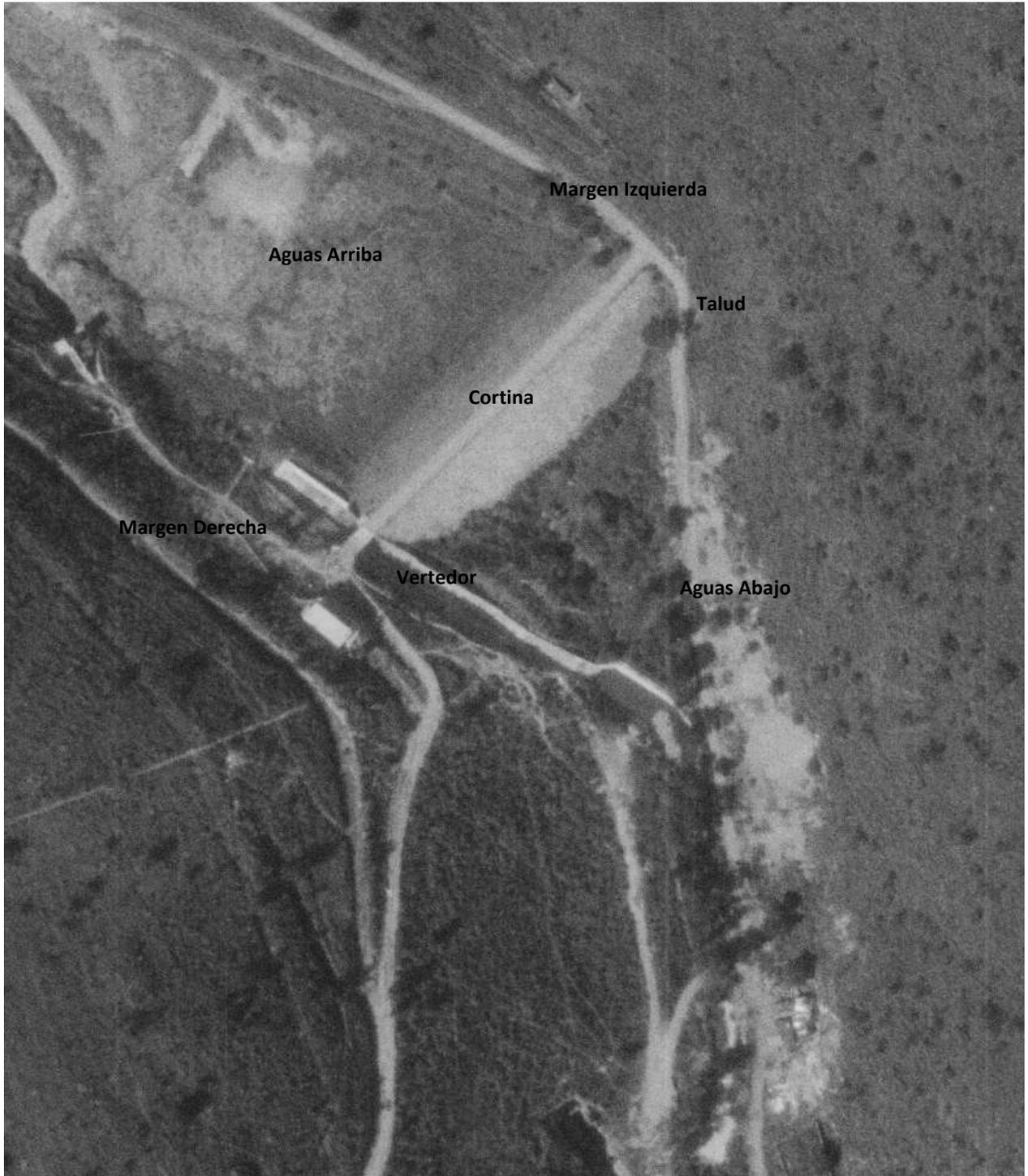


| | |
|---|---|
| PESO VOLUMÉTRICO (ton/m³) | CARGA ÚLTIMA (Kg/cm²) |
| 2.359 | 1613.32 |

| | | |
|--------------------------------------|---------------------------|---------------|
| MÓDULO DE DEFORMABILIDAD | | |
| OBRA: | PREDIO PRESA MADIN | |
| LUGAR | | SONDEO |
| ATIZAPÁN DE ZARAG., EDO. MEX. | | SM-5 |
| MUESTRA | PROFUNDIDAD | FIG. |
| M5-S5-M2 | 0.25 | 21 |



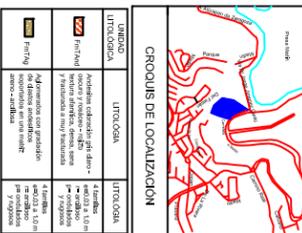
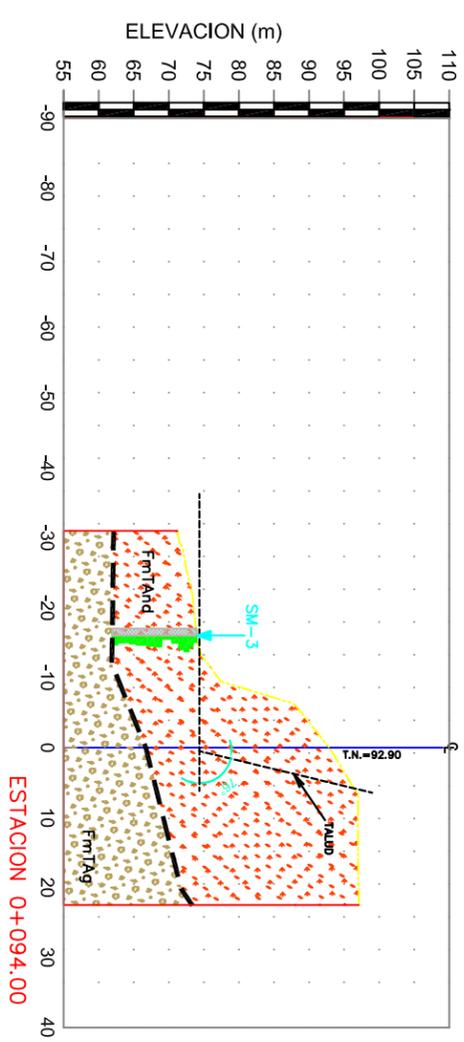
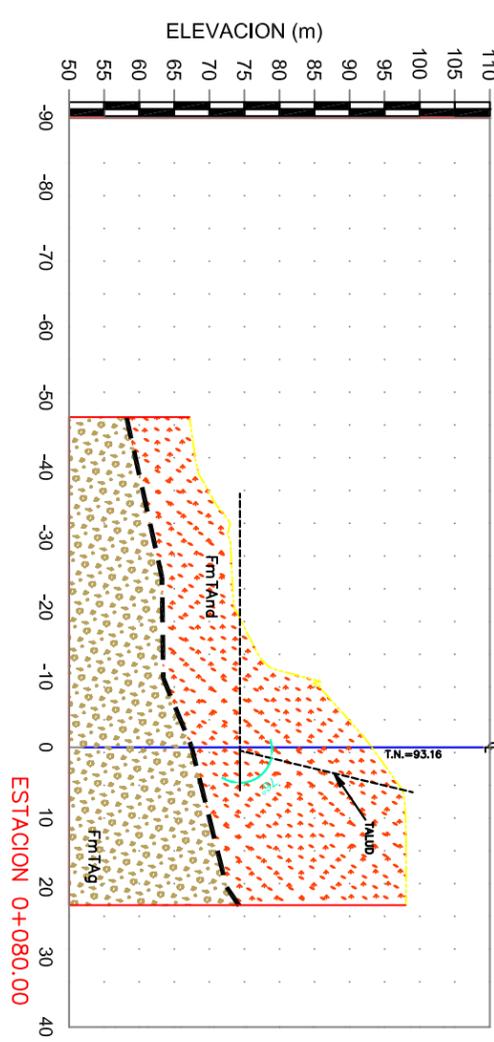
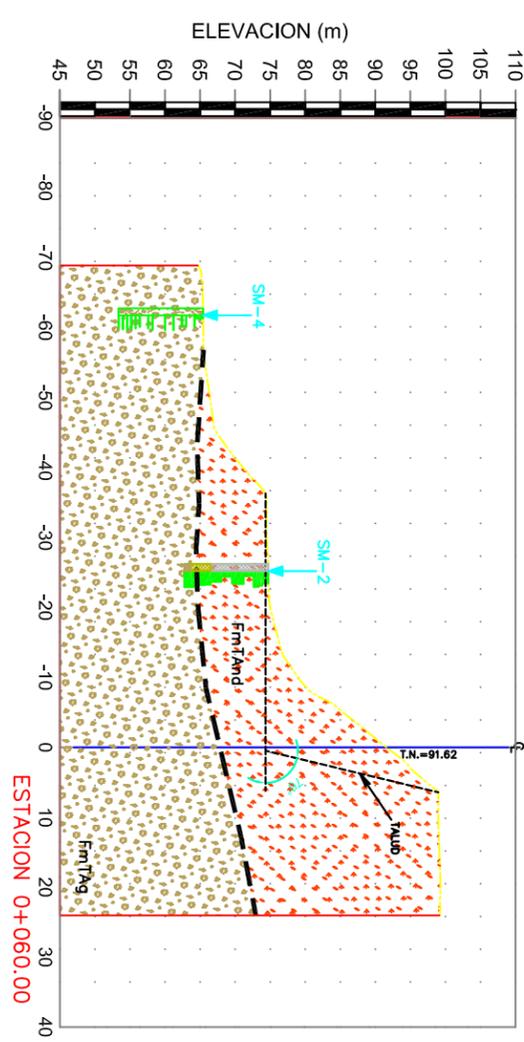
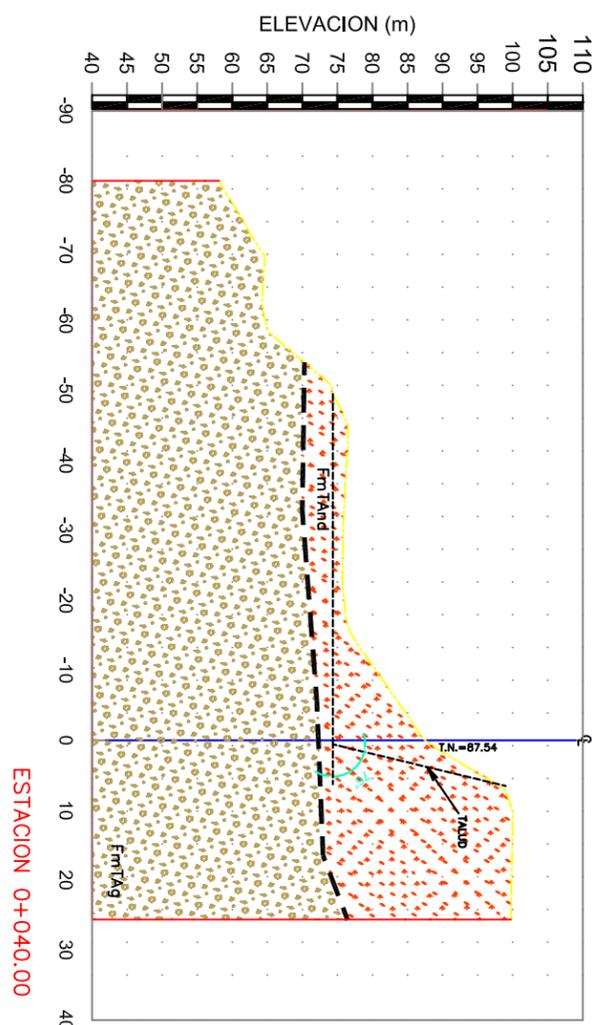
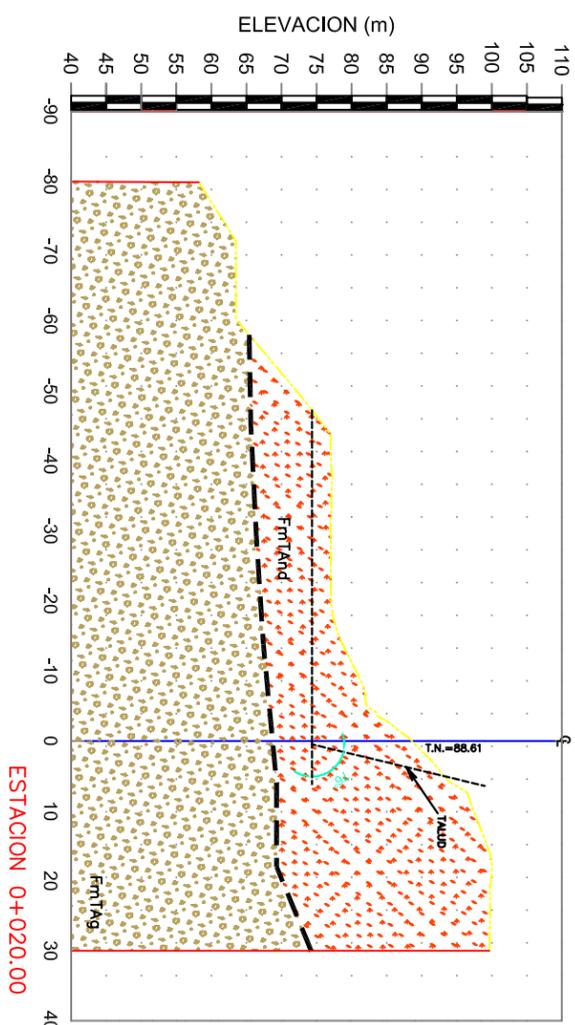
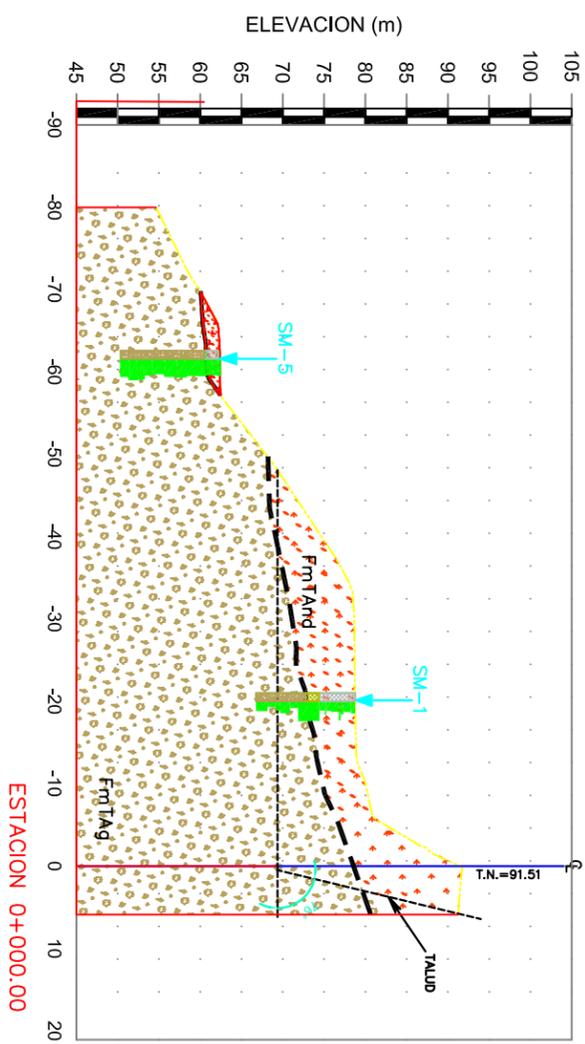
Fotografía 2.- DETENAL. Ciudad de México escala 1:40,000 R313, Junio de 1979 L-2 No.18



Fotografía 1.- DETENAL. Ciudad de México escala 1:25,000 R45, Abril de 1971 L-25 No.19B



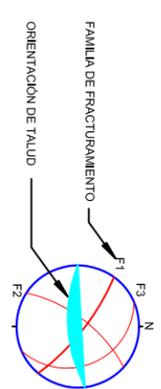
Fotografía 3.- Google Earth. Ciudad de México 2013



- SIMBOLOGIA PLANTA**
- CURVA MAESTRA
 - CURVA ORDINARIA
 - EJE DEL TRAZO TALUD
 - CADENAMIENTO
 - TALUD DE PROYECTO 78°
 - SONDEO EXPLORATORIO
- SIMBOLOGIA DE SECCIONES**
- CONTRATO LITOLÓGICO
 - And
 - UNIDAD LITOLÓGICA
 - VELOCIDAD DE ONDAS PRIMARIAS EN ms
 - SM2
 - UBICACION DEL SONDEO

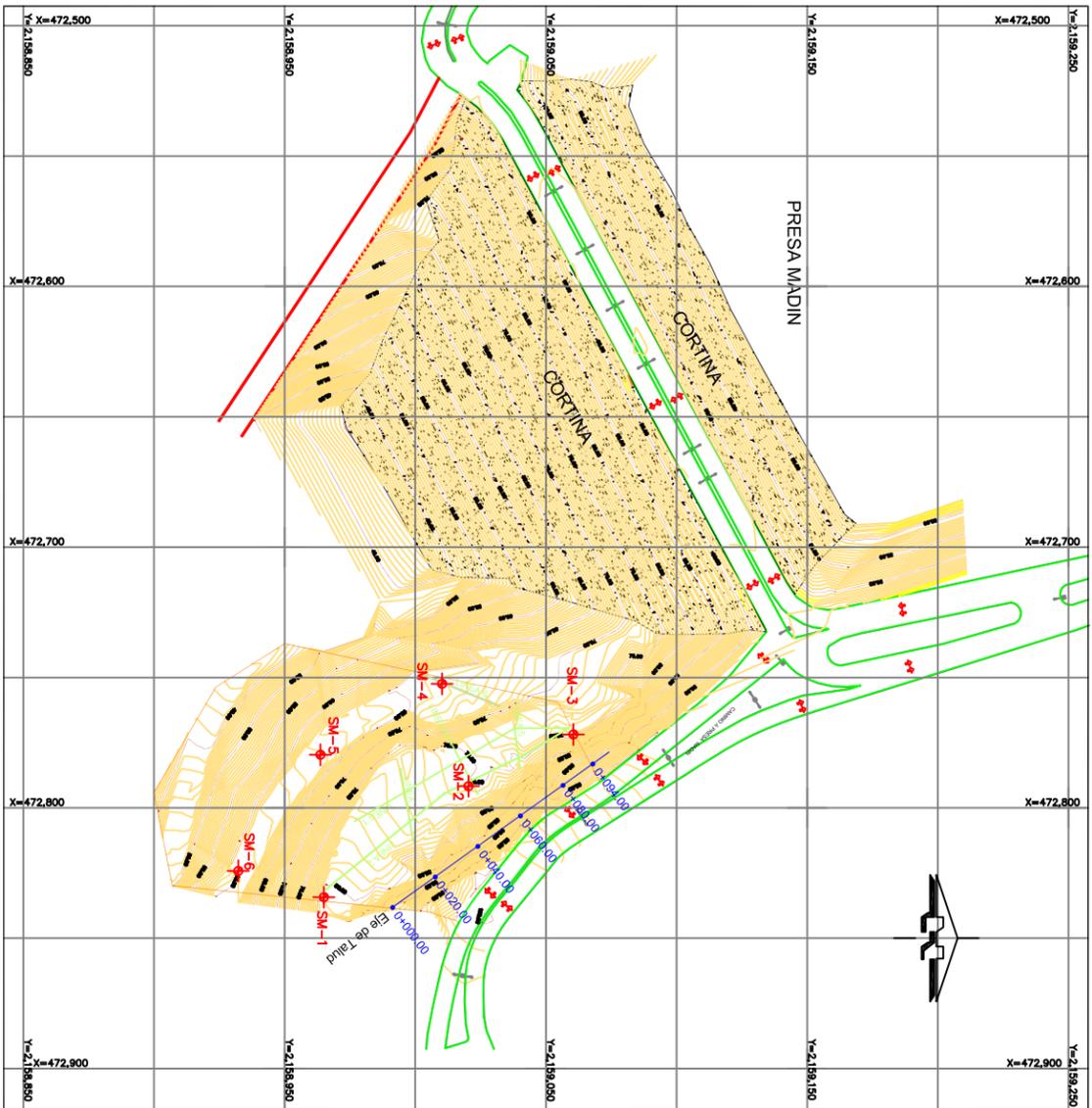


ESTEREOGRAMA



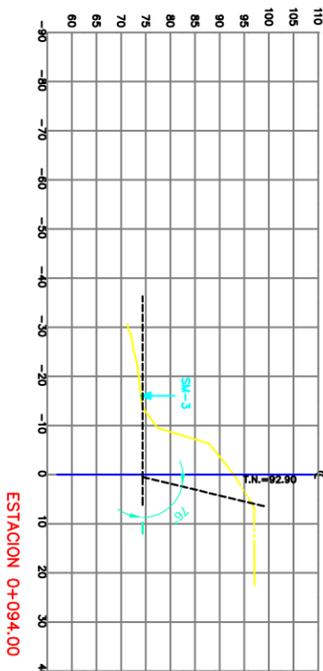
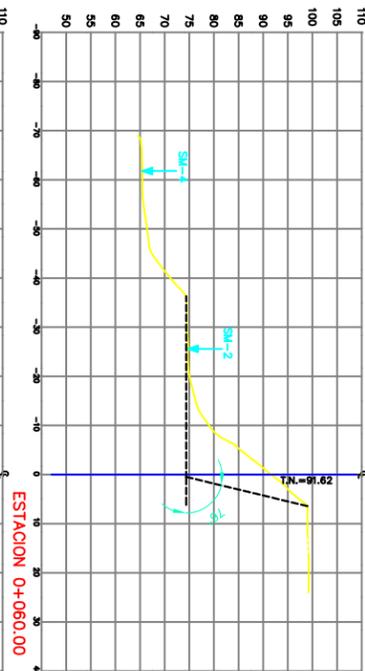
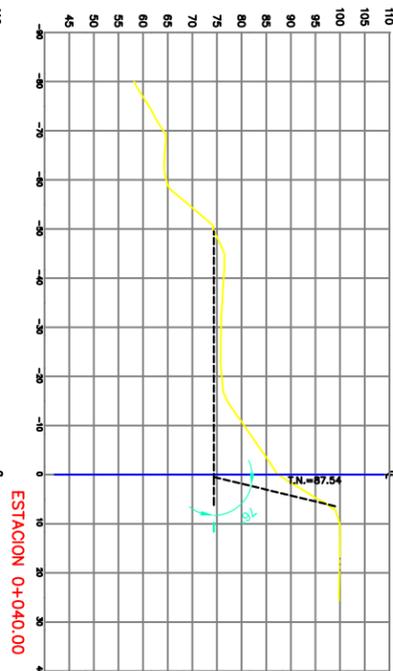
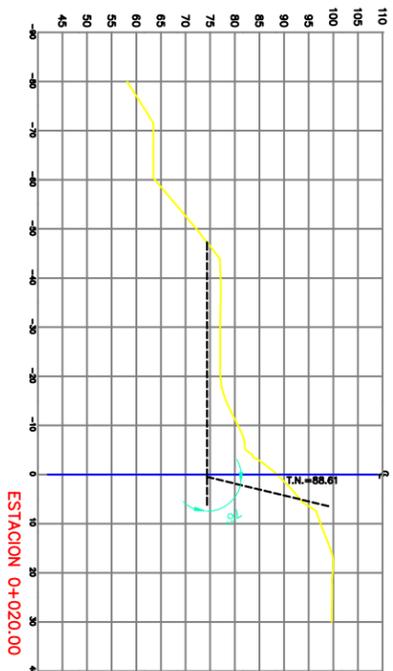
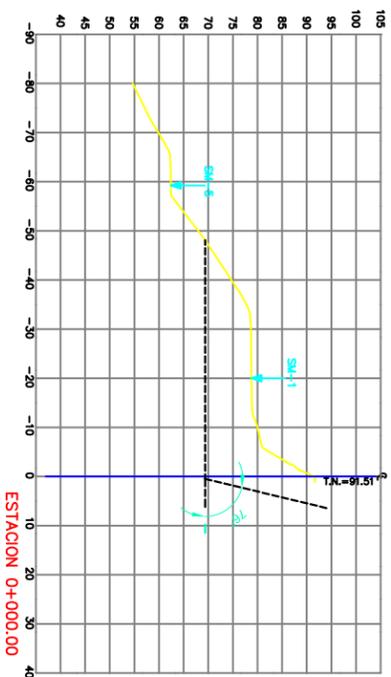
- FmTAnd: Formación Torongo Andesita
- FmTAg: Formación Torongo Aglomerado

| | |
|---|------------------------------|
| TALUD 78° COLINDANCIA NW | |
| SECCIONES TOPOGRAFICA Y GEOLOGICO DEL TALUD | 3 |
| PROYECTO: RESIDENCIAL MADINI | |
| UBICACION: AGUAS ABAJO DE LA CORTINA DE LA PRESA MADINI | |
| ATIZAPAN DE ZARAGOZA, EDO DE MEXICO | |
| EL DISEÑO DE PROYECTO | EL DISEÑO DE OBRAS |
| EL DISEÑO DE PROYECTO | EL DISEÑO DE OBRAS |
| LUSA Y FERRAS | CO, MEXICO NOVIEMBRE DE 2013 |



| UNIDAD LITOLÓGICA | ESPESOR (m) | VELOCIDAD PROYECTADA (m/s) | CORRELACION LITOLÓGICA |
|-------------------|-------------|----------------------------|---|
| FmTAnd | 0.0 - 12.0 | 4 000 - 5 500 | Ardeñita, arena, muy poca finca, muy poca limonita. |
| FmTAg | 12.0 - 20.0 | 2 500 - 5 000 | Adm. de arena, limonita, muy poca finca. |

PLANTA GENERAL



| CUADRO DE CONSTRUCCION | | | | | |
|------------------------|------|--|-----------|--------------|--------------|
| LADO | P.V. | RUMBO | DISTANCIA | COORDENADAS | |
| | | | | X | Y |
| A | B | S 28° 18' 16.34" E | 68.3073 | 479.491.3458 | 479.491.3458 |
| B | D | N 64° 17' 02.10" W | 26.3589 | 479.538.4785 | 479.504.9785 |
| C | E | N 64° 17' 02.10" W | 26.3589 | 479.538.4785 | 479.504.9785 |
| D | F | S 10° 25' 24.62" W | 1.6895 | 479.504.9785 | 479.504.9785 |
| E | G | N 63° 02' 45.52" W | 46.2699 | 479.458.5275 | 479.458.5275 |
| F | H | CENTRO DE CURVA DELTA = 60° 30' 32.00" | 46.2699 | 479.458.5275 | 479.458.5275 |
| G | I | RADIO = 472.1784 | 46.9112 | 479.418.4185 | 479.418.4185 |
| H | J | CENTRO DE CURVA DELTA = 472.1784 | 46.9112 | 479.418.4185 | 479.418.4185 |
| I | K | N 74° 53' 52.44" W | 2.4362 | 479.411.0268 | 479.411.0268 |
| J | L | N 14° 22' 57.48" E | 16.0320 | 479.411.0268 | 479.411.0268 |
| K | M | CENTRO DE CURVA DELTA = 60° 30' 32.00" | 16.0320 | 479.411.0268 | 479.411.0268 |
| L | M | RADIO = 472.1784 | 16.0320 | 479.411.0268 | 479.411.0268 |
| M | A | N 61° 14' 17.22" E | 9.4683 | 479.411.0268 | 479.411.0268 |
| A | A | N 63° 04' 40.33" E | 79.5516 | 479.491.3458 | 479.491.3458 |

SUPERFICIE = 9423.046 m²



SIMBOLOGIA PLANTA

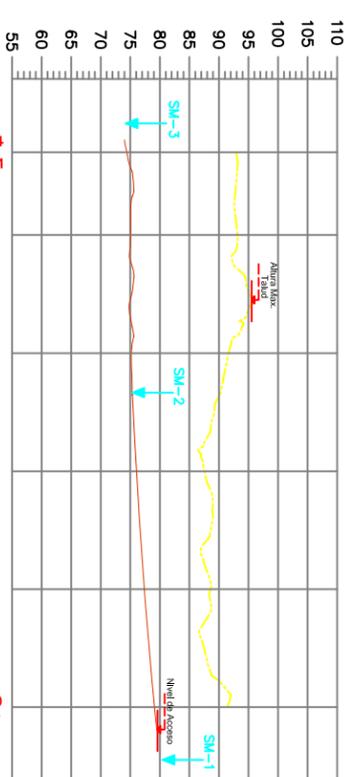
- CURVA MAESTRA
- CURVA ORDINARIA
- CASERMIENTO
- EJE DEL TRAZO TALUD
- TALUD DE PROYECTO 76°
- SONDEO MIXTO
- LINEA GEORADAR

SIMBOLOGIA SIMICA

- TENDIDO SIMICO
- PIUNTO DE TRINCO
- CONTACTO GEOSIMICO
- UNIDAD GEOSIMICA
- VEL. DE ONDA "V" (m/s)

SIMBOLOGIA ELECTRICA

- UNIDAD RECELETRICA
- CONTACTO RECELETRICO
- UNIDAD RECELETRICA RESERVIADO (del=0)



PERFIL TALUD

TALUD 76° COLINDANCIA NW

PLANTA Y PERFIL
GEORADAR, SONDEOS Y TOPOGRAFICO

PROYECTO: RESIDENCIAL MADIN
UBICACION: AGUAS ABAJO DE LA CORTINA DE LA PRESA MADIN
ATIZAPAN DE ZARAGOZA, EDO DE MEXICO

EL DISEÑO DE PROYECTO
EL DISEÑO DE CONSTRUCCION
EL DISEÑO DE OBRAS

LUGAR Y FECHA: CO, MEXICO, NOVIEMBRE DE 2013