



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**ESTABILIZACIÓN *DE UN TALUD EN LA CARRETERA MÉXICO –*  
*VERACRUZ, KM 227+380***

**DESARROLLO DE UN CASO PRÁCTICO**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA**

**JOSÉ LUIS MAGALLANES GONZÁLEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**ING. GABRIEL ÁLVAREZ BAUTISTA**

**Nezahualcóyotl, Estado de México, 2018**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

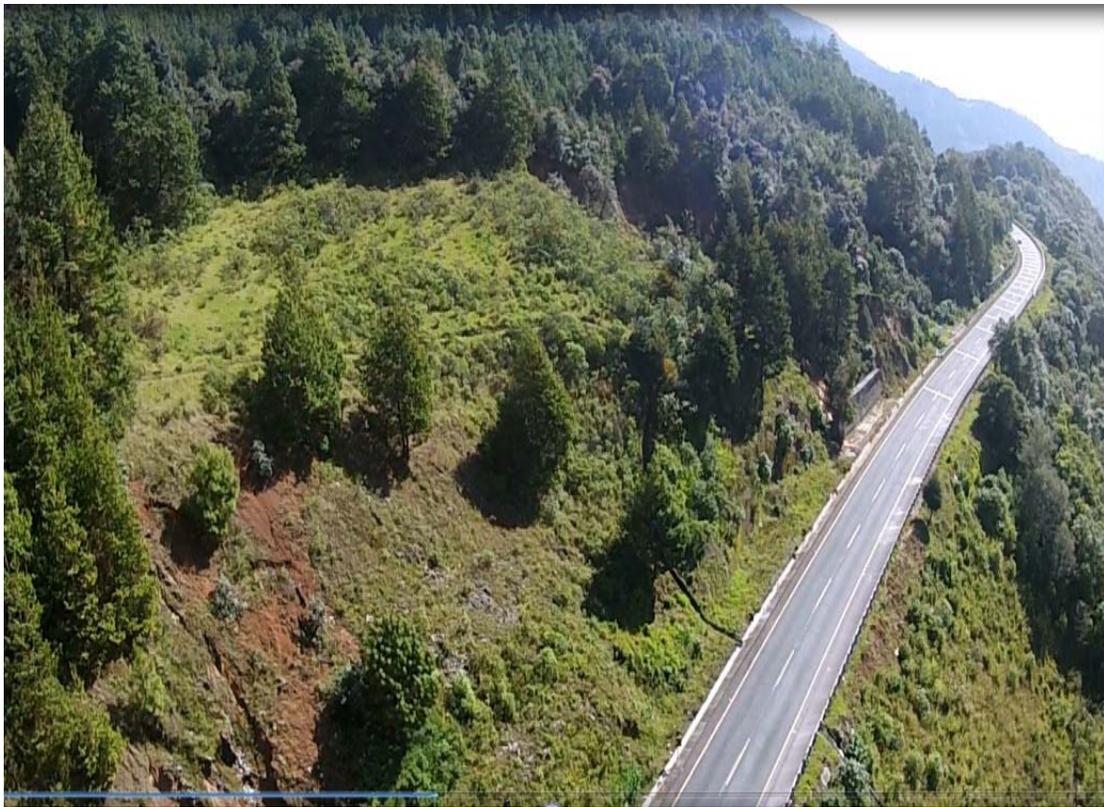
**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



**“ESTUDIO Y PROYECTO PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL TALUD  
KM 227+380 AL KM 227+500, LADO IZQUIERDO DEL CUERPO “A  
DE LA AUTOPISTA ACATZINGO - CD. MENDOZA”.**



**TRAMO  
ACATZINGO – CIUDAD MENDOZA**



Este proyecto es dedicado a las siguientes personas

M. en I. Pablo Lorenzo Sánchez por su apoyo durante los últimos años, quien me ha apoyado para la realización de este proyecto y de varios más, así como, su apreciable amistad y vivencias durante el tiempo de conocernos.

A la familia Alvares Gutiérrez debido a que su apoyo fue de fundamental importancia para lograr el objetivo planteado al inicio de la carrera.

A la empresa Geomax S.A. de C.V, por la oportunidad de poder iniciarme en el campo laboral incluyendo en ello a los compañeros de trabajo que han aportado algo a mi persona.

A demás personas que han estado conmigo en tiempos difíciles, así como en los buenos momentos.



## CONTENIDO

<b>1 ANTECEDENTES .....</b>	<b>5</b>
1.1 Descripción del sitio .....	8
1.1.1 Topografía .....	9
1.1.2 Características geométricas del talud y elementos estructurales.....	12
1.1.3 Geología Local.....	21
<b>2 SONDEOS EXPLORATORIOS.....</b>	<b>26</b>
2.1 Prueba de Penetración Estándar (SPT).....	26
2.2 Rock Quality Designation (RQD).....	28
2.3 Sondeo mixto 1 (SM-1) .....	31
2.4 Sondeo mixto 2 (SM-2) .....	42
2.5 Sondeo mixto 3 (SM-3) .....	50
<b>3 PRUEBAS DE LABORATORIO.....</b>	<b>58</b>
<b>4 MODELO GEOTÉCNICO .....</b>	<b>68</b>
4.1 Disposición estratigráfica .....	68
4.2 Propiedades mediante retroanálisis .....	73
4.3 Parámetros sísmicos.....	78
<b>5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....</b>	<b>80</b>
5.1 Alternativa 1 .....	81
5.2 Alternativa 2 .....	83
5.3 Alternativa 3 .....	85
5.4 resultados de análisis y selección de alternativa.....	87
<b>6 CONCLUSIONES.....</b>	<b>88</b>
6.1 Solución propuesta.....	89
6.1.1 Obras de drenaje .....	90
<b>ANEXOS.....</b>	<b>93</b>



## **1 ANTECEDENTES**

El proyecto de rehabilitación, construcción y modernización del sistema carretero en un país en desarrollo, como lo es México, es uno de los más importantes, necesarios y ambiciosos para mantener en constante crecimiento a la nación, ya que; existe un crecimiento en los múltiples ámbitos, entre los más importantes y bajo los cuales se derivan el resto son los siguientes; económico, social, cultural, comunicaciones y comercial.

Es importante tener sistemas carreteros que cumplan con los objetivos para los cuales han sido diseñados; deben ser cómodos, seguros, eficientes y económicos, garantizando con ello, una ampliación de la cobertura y accesibilidad de los servicios, logrando un progreso y respetando el medio ambiente.

Uno de los principales objetivos del gobierno federal, es mantener en las mejores condiciones las carreteras del país, entre una de estas autopistas esta la México -Veracruz, por medio de ella, Veracruz puede distribuir todas las mercancías que llegan a su puerto e incluso las mismas mercancías que ahí se producen, garantizando el crecimiento del estado y de todo el país.

México mantiene una relación comercial importante con los cinco continentes, una gran cantidad de productos que llegan al país, lo hacen a través del puerto de Veracruz, de aquí son trasladados en su mayoría a la Ciudad de México y posteriormente de forma subsecuente distribuidos a lo largo y ancho del país. Entre



los productos que se comercializan en el puerto son autos, productos a granel como arroz, trigo, maíz etc., y contenedores con diversos productos: ropa, zapatos, electrodomésticos, muebles, entre otros.

Actualmente el puerto de Veracruz, se encuentra en un proceso de ampliación y modernización, el cual contara 35 posiciones de atraque para embarcaciones de carga las cuales importaran y exportaran a cualquier parte del mundo miles de productos y materias primas. Para el año en curso se tiene lista la primera etapa de ampliación del puerto, lo que trae como consecuencia, el incremento de actividad en la región y por ende, un incremento del volumen de tránsito en las vías terrestres que comunican al Estado de Veracruz con el resto de la república; a raíz de esto se debe tener en óptimas condiciones de operación las carreteras por donde circulan miles de vehículos de carga.

Veracruz, es un estado muy importante, no solo por ser el destino de muchas mercancías importadas y exportadas, su no; también porque es un estado en el cual se cultivan una gran cantidad de frutas y verduras que se consumen en el país.

La autopista Acatzingo – Ciudad Mendoza, juega un papel importante en la comunicación de los Estados de Veracruz, Puebla y de la Ciudad de México, consiguientemente, se debe mantener las condiciones de servicio óptimas para su adecuado funcionamiento. Si un problema de operación se llegase a presentar en esta autopista causaría pérdidas económicas importantes para todo el país, por ello, se debe de prestar especial atención para evitar cualquier percance que provoque alteración en el flujo vehicular cotidiano.



El municipio de maltrata Veracruz está situado en una región con una topografía agreste la cual está conformada de suelos volcánicos y sedimentarios dispuestos en diferentes formaciones geológicas. Con relación a las características del suelo, se han presentado en diversas ocasiones, problemas de deslaves en temporada de lluvia, que han provocado varios accidentes e incluso obstrucción de las vialidades de esta región.

Para poder preservar las condiciones de servicio adecuadas a las vías de comunicación, se tienen que llevar a cabo supervisiones y monitoreo del estado actual de las autopistas, así como, llevar a cabo los estudios los estudios y análisis previos para anticipar cualquier problema que pueda desarrollar en la autopista.

A la fecha de realización del presente estudio y análisis del sitio, se han presentado derrumbes menores y agrietamientos en la ladera del corte ubicado en lado izquierdo del cuerpo A (dirección a Ciudad Mendoza y puerto de Veracruz) entre el km 227+320 y el km 227+460; los que pueden ser indicios de inestabilidad, por lo que. El presente informe tiene por objetivo evaluar la estabilidad del corte mencionado y plantear en su caso las medidas necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento de la autopista.



## 1.1 Descripción del sitio

El talud, se ubica entre el km 227+320 y km 227+460 en el lado izquierdo del cuerpo "A"; la ubicación, mediante el sistema de coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) del sitio es: Zona 14Q, Coordenada Este 678,133 m y coordenada Norte 2,082,343.0 m; la zona se conoce como Cumbres de Maltrata, el sitio se ubica al Noroeste de la población de Maltrata Veracruz. En la fotografía 1, se presenta una vista del sitio.



**Fotografía 1.** Vista aérea del talud km 227+380, lado izquierdo del cuerpo A.



### 1.1.1 Topografía

El sitio en estudio, forma parte del sistema montañoso de la Sierra Madre Oriental, donde existen terrenos agrestes origen de la tectónica de placas, debido a lo abrupto que es el terreno en esta región, es necesario conocer a detalle las características locales del lugar en estudio, el levantamiento topográfico de la zona es la forma apropiada de tener las características morfológicas del área de estudio y a partir de esto, se puede tener un conocimiento detallado de la geometría actual del talud. En el levantamiento topográfico se consideraron: obras de drenaje, como cunetas y lavaderos, fallas locales del talud, grietas en el suelo y estructura que forma parte de la autopista.

#

#

A continuación, se presenta la planta topográfica del talud ubicado en el km 227+380 con los detalles de obras complementarias y obras que forman parte de la autopista.

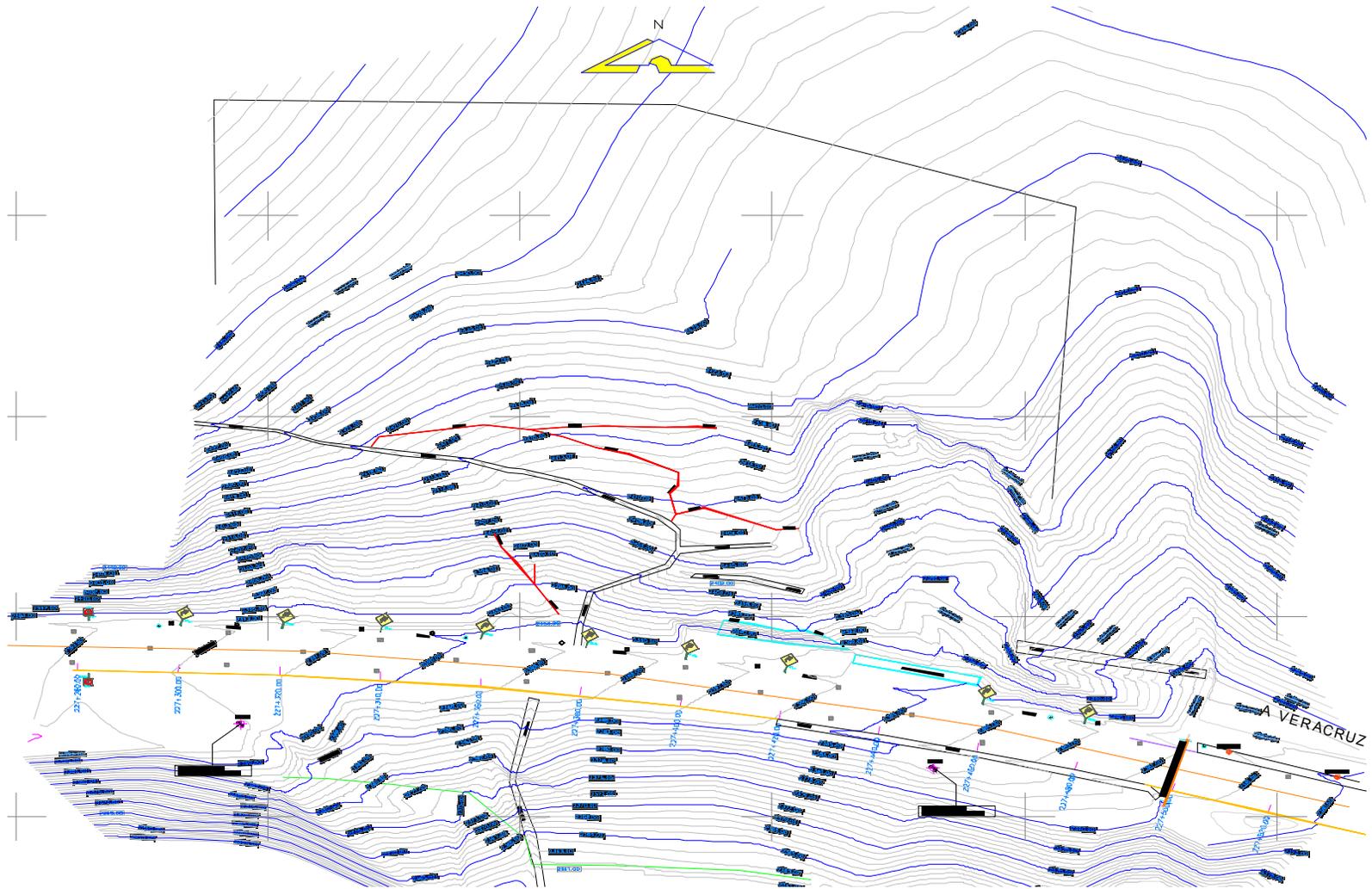
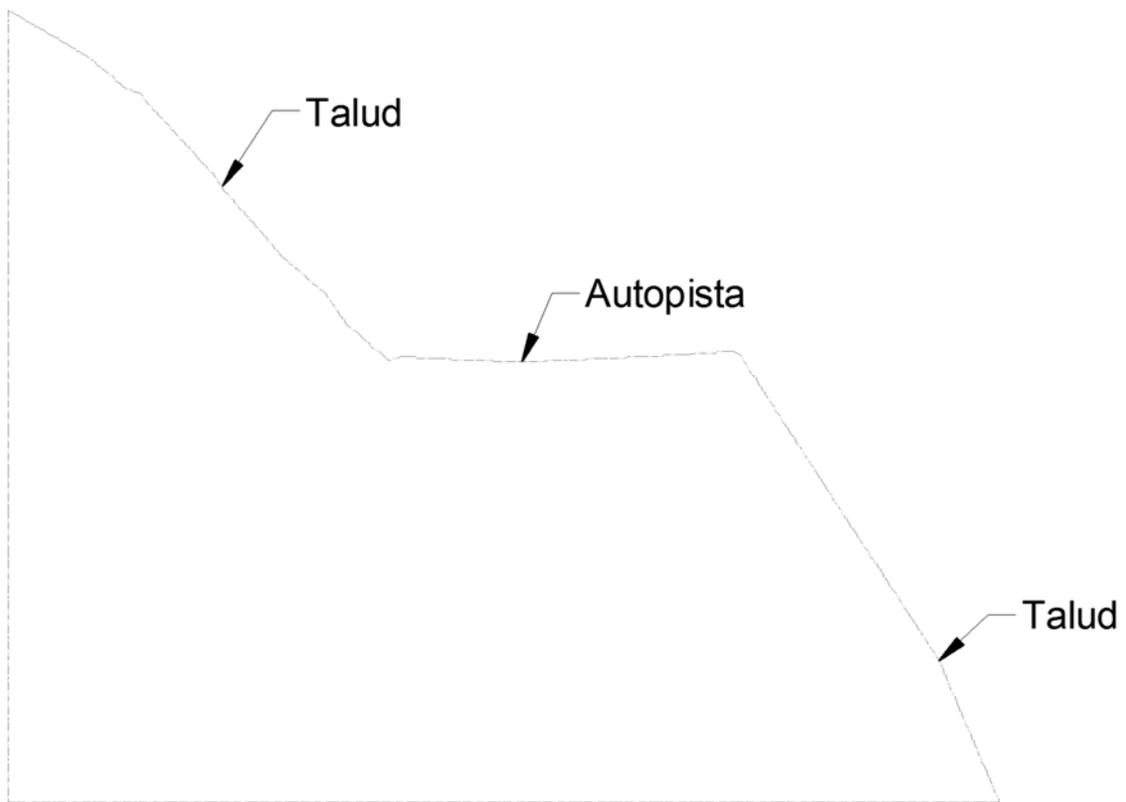


Figura 1. Planta topográfica del talud en estudio.



La altura total del talud es de aproximadamente 80 m, desde el pie hasta la corona del talud, tiene una longitud de 140 m; en su parte media, en una berma se ubica la autopista formando una sección típica para autopistas conocida como sección en balcón, tal como se aprecia en la figura 2. Se llevó a cabo un levantamiento topográfico entre el km 227+260 y el km 227+500.



**Figura 2.** Frun#udvhuodghcp #5: . 633 /#hffL%#h#edf%q1#

#

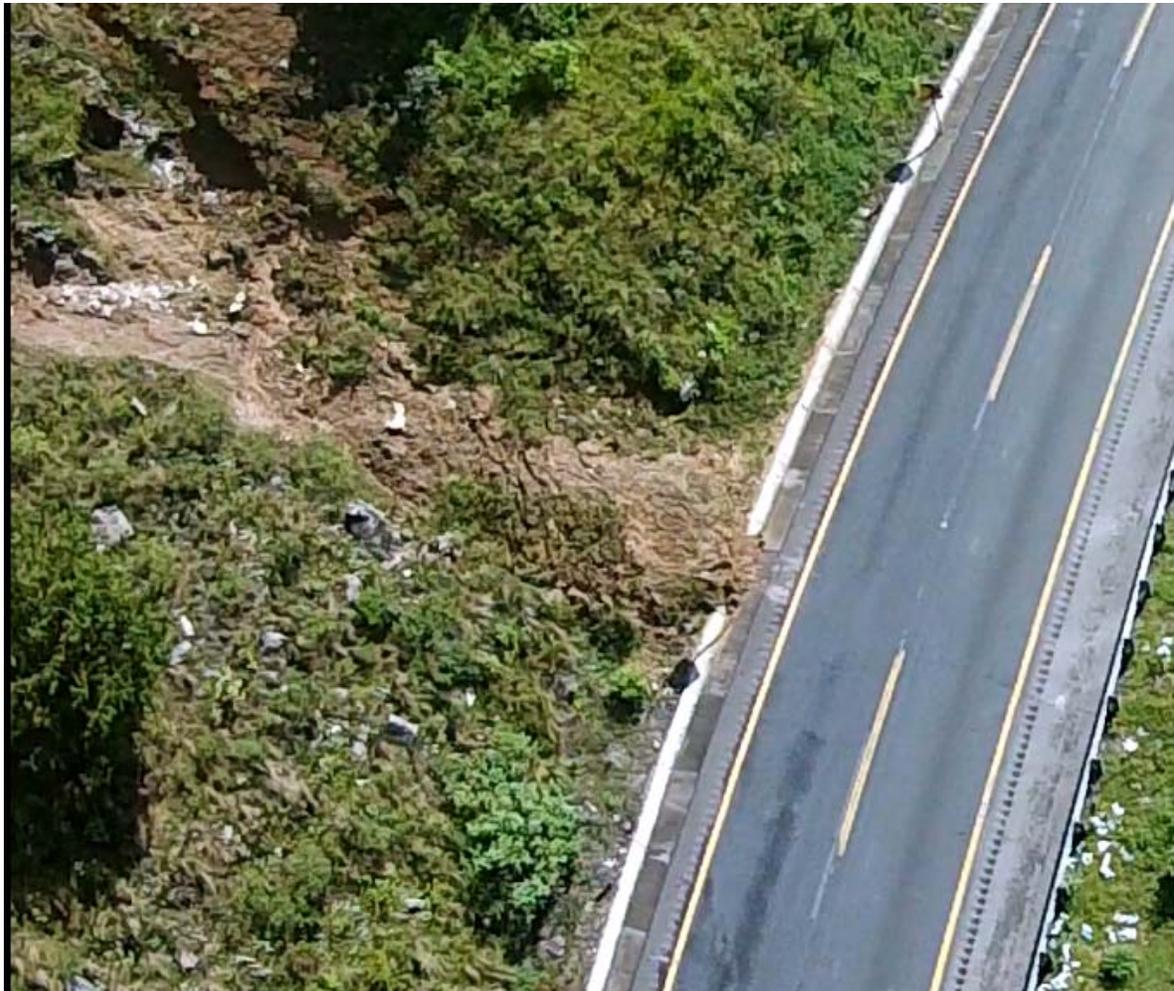
A continuación, se mencionan detalles de importancia levantados en el sitio de estudio:



### 1.1.2 Características geométricas del talud y elementos estructurales

En el corte se identificaron dos fallas locales, una en la parte Oeste del talud en el km 227+320, como se muestra a continuación en la fotografía 2.

#



#

**Fotografía 2.** Falla local ubicada en el km 227+320, lado Oeste del talud.



En el lado Este del corte se aprecia la segunda falla local de mayor magnitud ubicada entre el km 227+432 al km 227+457, como se aprecia en la fotografía 4, con la finalidad de evitar futuros percances en esta zona del talud fallada que afecte la operación de la autopista, fue colocado un muro de mampostería de piedra braza que tiene una función de alcancía.

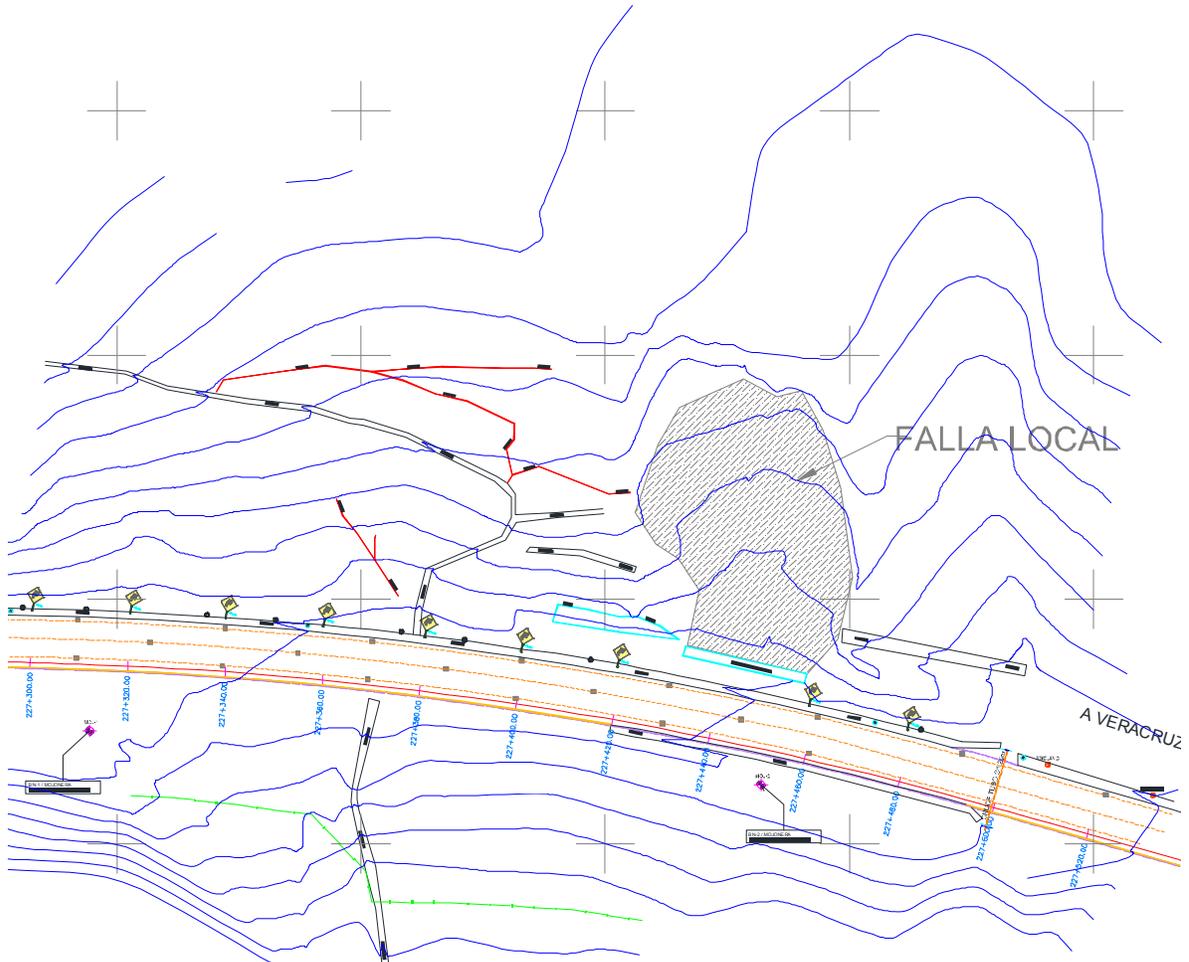
La función de alcancía consiste en tener un muro frente al talud fallado o con probabilidad de falla, el cual pueda contener el suelo proveniente del corte en caso de que esté presente un derrumbe o falla, evitando que el material sea depositado en la carretera provocando un percance, en la fotografía 3, se aprecia el muro alcancía mencionado.



**Fotografía 3.** Vista del talud dirección Veracruz, se observa el muro con función de alcancía construido que contiene suelo proveniente del talud previamente fallado apreciable en la fotografía 4.



A continuación se muestra en la figura 3 la ubicación de la falla local ocurrida en el talud en estudio.

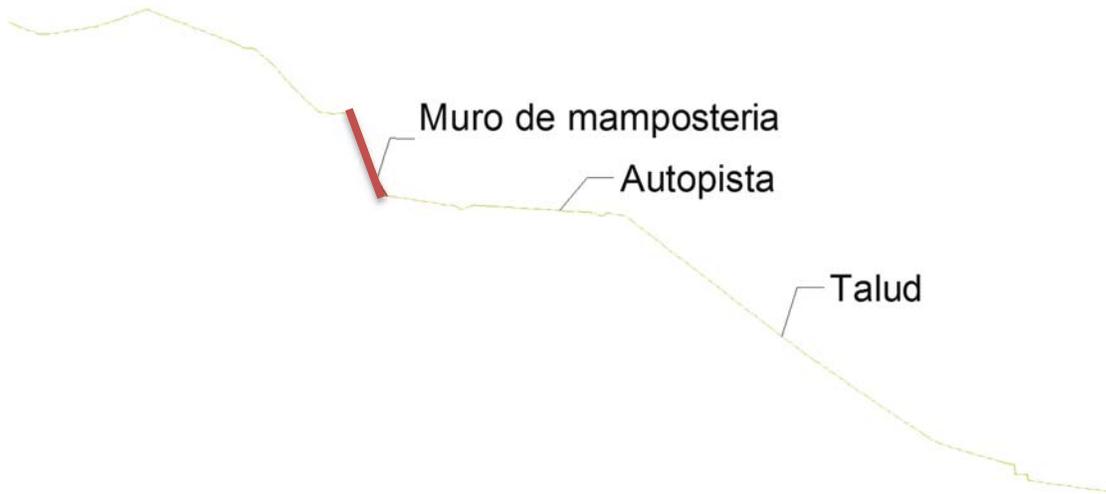


**Figura 3.** Falla local ubicada entre el km 227+432 al km 227+457, el área sombreada en el plano topográfico muestra la magnitud de la falla local.

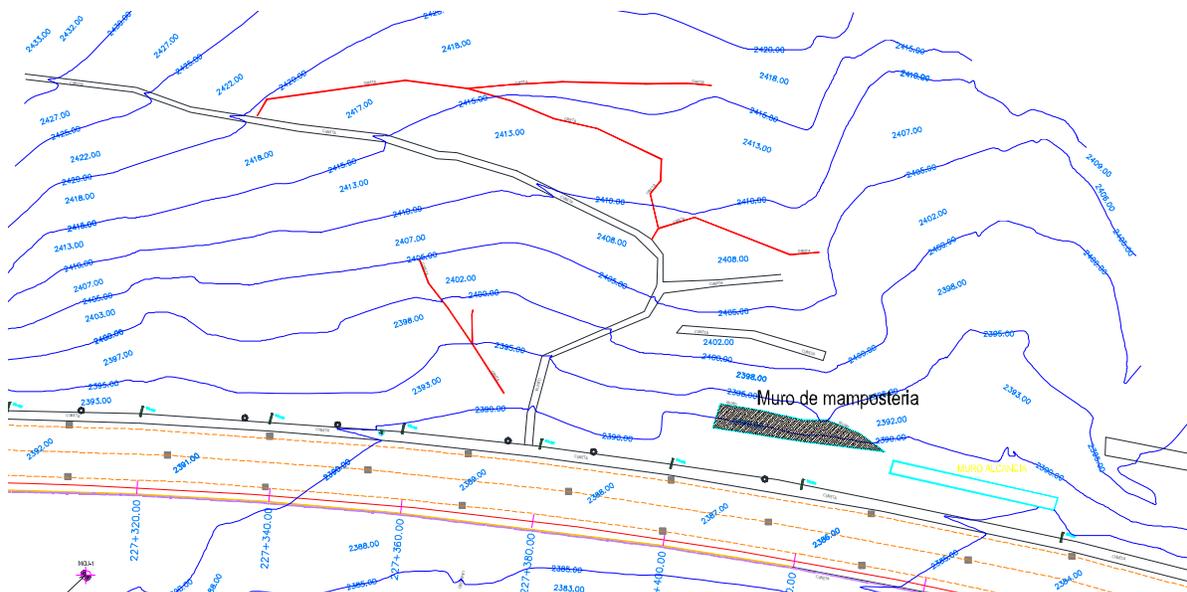


**Fotografía 4.** Vista del talud con previa de la segunda falla local, ubicada en la porción Este del sitio entre el km 227+432 al km 227+457, talud para el cual se diseñó el muro alcancía.

Entre el km 227+404 y el km 227+430, lado A de la autopista dirección Ciudad de México, parte del talud que se forma en la berma por donde pasa la autopista está cubierta por un muro de tabique rojo recocido como se aprecia en las figuras 4 y 5, que se aprecia húmedo, lo que da indicios de un flujo de agua, el muro mencionado se muestra en la fotografía 5.



**Figura 4.** Sección km 227+420, ubicación del muro de mampostería de tabique rojo, el área que ocupa el tabique rojo se encuentra sombreada con color rojo.



**Figura 5.** Planta topográfica, se aprecia sombreada el área donde se encuentra el muro de mampostería de tabique rojo entre el km 227+400 y el km 227+430.



**Fotografía 5.** Muro de mampostería en la berma que aloja a la autopista.



**Fotografía 6.** Vista noroeste del talud en estudio donde se aprecia el muro de mampostería.



En el cuerpo del talud existen lavaderos y contracunetas en precarias condiciones y en tramos incluso no existe revestimiento de las mismas, las cuales se levantaron topográficamente, así como. grietas que existen en la corona del talud, a continuación se muestran las fotografías en las fotografías 7, 8, 9 y 10.



**Fotografía 7.** Estado actual de contra cuneta ubicada en la corona del talud.



**Fotografía 8.** Estado actual de lavadero ubicado en el km 227+400.



**Fotografía 9.** Grieta reciente apreciable en la corona del talud.



**Fotografía 10.** Medición de la dimensión de la grieta formada en la corona a 15 metros aproximadamente de la contra cuneta, la grieta tiene un ancho de 40 centímetros.

La inclinación del talud es variable, a partir del inicio del corte, en los primeros 15 a 30 m de altura el ángulo de inclinación varía entre  $35^\circ$  y  $60^\circ$  y por arriba de este tramo la inclinación varía entre  $10^\circ$  y  $35^\circ$ .



### 1.1.3 Geología Local

Para conocer las condiciones del talud desde una perspectiva geológica, tiene por objetivo conocer a profundidad las características de la zona y determinar posibles riesgos geológicos. Por lo que se procedió a evaluar el terreno superficialmente en el sitio de estudio y zonas aledañas, realizándose un levantamiento geológico a semidetalle del tipo de roca o suelos existentes en el lugar, discontinuidades geológicas, grietas, fallas, oquedades o fracturas.

El grado de fracturamiento y calidad de la roca sirven para clasificar el macizo rocoso subyacente, estos datos a su vez son utilizados en el análisis geotécnico que conlleve a la solución de la problemática existente.

El Estado de Veracruz se ubica a lo largo de la costa del Golfo de México en la región centro-oriental de la República Mexicana. Su territorio abarca un área de 72,420 km<sup>2</sup>, tiene una forma alargada muy irregular cuya longitud máxima es de 745 km. Colinda al norte con el Estado de Tamaulipas, al poniente con los Estados de San Luis Potosí, Hidalgo y Puebla, al sur con los Estados de Oaxaca, Chiapas y Tabasco y al oriente con el Golfo de México.

Debido a su accidentada morfología y a los factores de origen antrópico, tales como deforestación, cortes en taludes inestables o asentamientos de poblaciones en sitios no aptos para este fin hacen que una buena parte del estado presente una gran vulnerabilidad ante ciertos fenómenos de origen natural (geológicos e hidrometeorológicos), como son los deslizamientos de tierra, que se presentan en el Estado en toda su gama de manifestaciones. Además, dentro del territorio



Veracruzano existen dos volcanes activos, el Pico de Orizaba y el San Martín Tuxtla; adicionalmente, las regiones centro y sur presentan una actividad sísmica importante debido a la tectónica de placas. En este sentido, y por lo anteriormente expuesto, el conocimiento geológico del Estado de Veracruz resulta de trascendental importancia, ya sea para mitigación de los peligro.

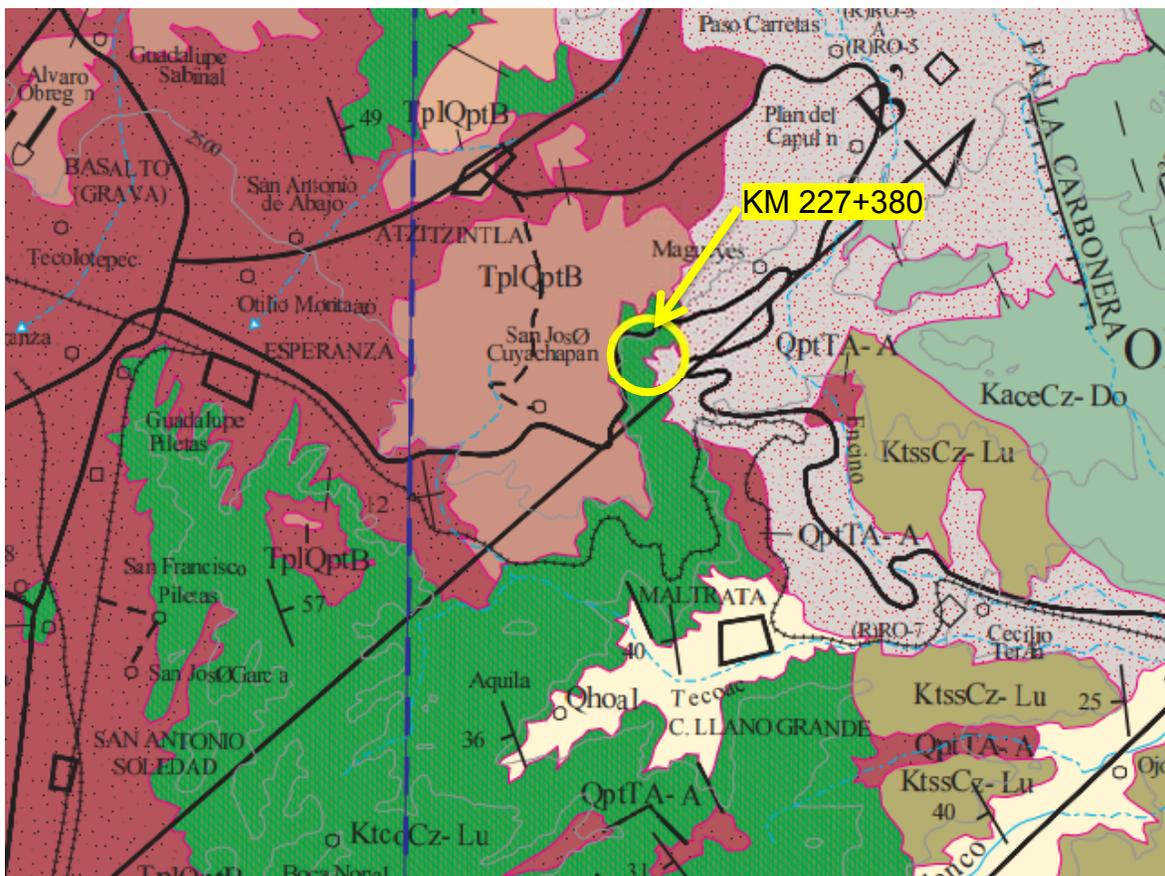
En algunos cortes a lo largo de la autopista, se tienen afloramientos de suelos y rocas muy variados desde rocas ígneas (tobas, basaltos, andesitas, lahares, aglomerados volcánicos) y sedimentarias (lutitas y calizas), en capas horizontales o plegadas.

Regionalmente los lineamientos son fallas laterales izquierdas y derechas las primeras con orientación NW-SE y las segundas presentan una orientación NE-SE. Se tienen otros lineamientos no menos importantes de fallas normales de rumbo NW y NE, estos se asocian a un vulcanismo fisural.

De la carta Geológica-Minera Orizaba E14-6 que abarca parte de tres Estados; Veracruz, Puebla y Oaxaca, se pudo obtener información de la geología regional previa a la visita para corroborar o descartar similitud en el sitio de estudio con respecto a la información recabada y plasmada en la carta geológica.



El km 227+380 considerando la información de la Carta Geológica Minera, el sitio se encuentra dentro de una formación de rocas calizas y Lutitas de origen sedimentario del Cretácico inferior y basaltos de origen volcánico del terciario Neógeno, a continuación se muestra en la figura 6 un fragmento de la carta geológica minera la ubicación del sitio de estudio y la geología que predomina en el sitio.



**Figura 6.** Geología Regional, Area de la carta geologica minera donde se aprecia el sitio en estudio delimitado por el círculo amarillo, las formaciones existentes en el sitio son calcilutitas y basaltos.



Después de la visita al sitio se determinó que el tipo de suelo y rocas que conforman el lugar son los siguientes: depósitos de talud, Calizas y Lutitas estratificadas, escorias Volcánicas, basaltos y rellenos de balasto. En el anexo 1, se adjunta el plano Geológico, elaborado a partir, de la información recabada en gabinete y campo del km 227+380.

A continuación, se muestran fotografías de los principales afloramientos de roca encontrados en el sitio de estudio.

En la fotografía 11 se aprecian las calizas que afloran en el sitio que se encuentran de forma plegada.



**Fotografía 11.** Vista del plegamiento de la roca caliza en el sitio en el lado izquierdo, dirección Ciudad de México, aproximadamente en el km 227+280.

En la ladera del lado derecho dirección Veracruz, existen bajo el depósito de talud, escorias y rocas basálticas, como se presenta en la fotografía 12.



**Fotografía 12.** Afloramiento de roca basáltica en la ladera derecha del corte

La parte principal del cuerpo del talud corresponde a un depósito de talud y suelos residuales, provenientes de la alteración de Lutitas; en esta formación se han presentado las fallas de talud anteriormente mencionadas en el apartado de topografía. En talud entre el km 227+200 al km 227+260, donde afloran las Calizas y las Lutitas está protegido con malla.



## 2 SONDEOS EXPLORATORIOS

Se llevaron a cabo tres sondeos que combinaron las técnicas de muestreo mediante penetración estándar y empleo de barriles NQ. En los suelos se aplicó la técnica de penetración estándar, se desarrolló a partir del número de golpes, de acuerdo con la norma vigente ASTM D1586 – 11, las rocas se muestrearon utilizando barriles con brocas de diamante NQ, obteniendo núcleos, determinado el porcentaje de recuperación y el RQD (Rock Quality Designation). Se realizaron también dos pozos a cielo abierto con la finalidad de obtener muestras alteradas e inalteradas del suelo y conocer la estratigrafía superficial del sitio.

A continuación, se definen aspectos generales de las técnicas empleadas en la campaña de exploración para la determinación de calidad de la roca y propiedades mecánicas del suelo en el talud:

### 2.1 Prueba de Penetración Estándar (SPT)

El SPT (standard penetration test) o ensayo de penetración estándar, es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para el muestreo en suelo, desarrollado por Terzaghi alrededor de 1927, es el ensayo in situ más popular y económico para obtener muestras alteradas de suelo y definir propiedades mecánicas a partir de la dificultad de muestreo.



La importancia y utilidad de la prueba de penetración estándar se fundamenta en las correlaciones realizadas en el campo y en el laboratorio en diversos suelos, preponderando en arenas, que permiten relacionar la compacidad, el ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) en arenas y el valor de la resistencia a la compresión simple ( $q_u$ ) en arcillas. En arenas, los valores obtenidos de N se asemejan al comportamiento del suelo debido a la aplicación de cargas por una estructura, en el caso de las arcillas plásticas, los valores de N suelen tener una discrepancia respecto al comportamiento mecánico del suelo.

Esta prueba se ejecuta, dejando caer un martillo que pesa 63.5 Kg sobre la barra de perforación, desde una altura de 76 cm, la barra de perforación transmite la fuerza a un tubo de 610 mm de longitud por 51 mm de ancho, el muestreador en la punta tiene un elemento nombrado zapata que es un anillo que se enrosca en el tubo, este elemento tiene filo en la punta y facilita el hincado del tubo en el suelo. El número de golpes N necesarios para producir una penetración de 30cm se considera la resistencia a la penetración. Por considerar la falta de apoyo y alteración de la estructura del suelo debido al muestreo anterior o el lavado del barreno, los golpes de los primeros 15cm. de penetración se desprecian por la alteración del suelo en ejecución del ensaye, subsecuentemente, se cuentan los golpes necesarios para la penetración de los siguientes 30cm, que constituyen el valor de N, ASTM International (2014).



El método de muestreo fue estandarizado desde 1958 como el ASTM D-1586, el cual se ha venido controlando desde entonces para obtener datos lo más representativos los sitios en estudio. A pesar de las rigurosas investigaciones y control de la prueba se realizan correcciones para tener datos con un cierto margen de seguridad y precisión, estas correcciones se aplican a los siguientes factores:

- El tipo y estado de los equipos de perforación
- La destreza de los operadores
- El tipo y estado de los tubos o cucharas muestreadores
- La dimensión y estado de las varillas
- La forma y tamaño del cabezote etc.

## 2.2 Rock Quality Designation (RQD)

Desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se define como el porcentaje de recuperación de núcleos de roca obtenidos con el barril NQ, cuya medida es mayor de 10 cm de longitud desde su parte superior hasta la parte inferior del núcleo.

De las muestras obtenidas en la exploración se tomara en cuenta como un solo núcleo aquellos para evaluar la propiedad de RQD, los fragmentos que presenten una rotura inducida por el trabajo de perforación o manejo de muestras se incluirán en la caracterización. Una fractura natural se distingue de una grieta inducida debido a que la discontinuidad en los fragmentos de roca se encuentra rellena de suelo o presentan oxidación, a diferencia de las fracturas inducidas que son fragmentos que se unen perfectamente unos con otros como un rompecabezas, González L., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C., (2002).



El RQD se considera en todos los fragmentos de roca incluyendo los fragmentos que den la medida sin importar el grado de alteración que presente la roca, el RQD se debe realizar por cada maniobra y por cada cambio litológico.

La longitud de perforación por maniobra no debe ser superior de los 1.50 metros de longitud por cuestiones prácticas y técnicas, el diámetro de los testigos oscila entre 4.8 y 5.0 centímetros, dependiendo el diámetro de la broca y maniobra de perforación.

El valor de RQD se obtiene aplicando la siguiente formula:

$$RQD = \frac{\sum \text{nucleos mayores de 10 cm}}{\text{Longitud de total de avance por maniobra}} \times 100$$

Una vez determinado el RQD, se clasifica el macizo rocoso dependiendo al valor obtenido acorde a lo siguiente:

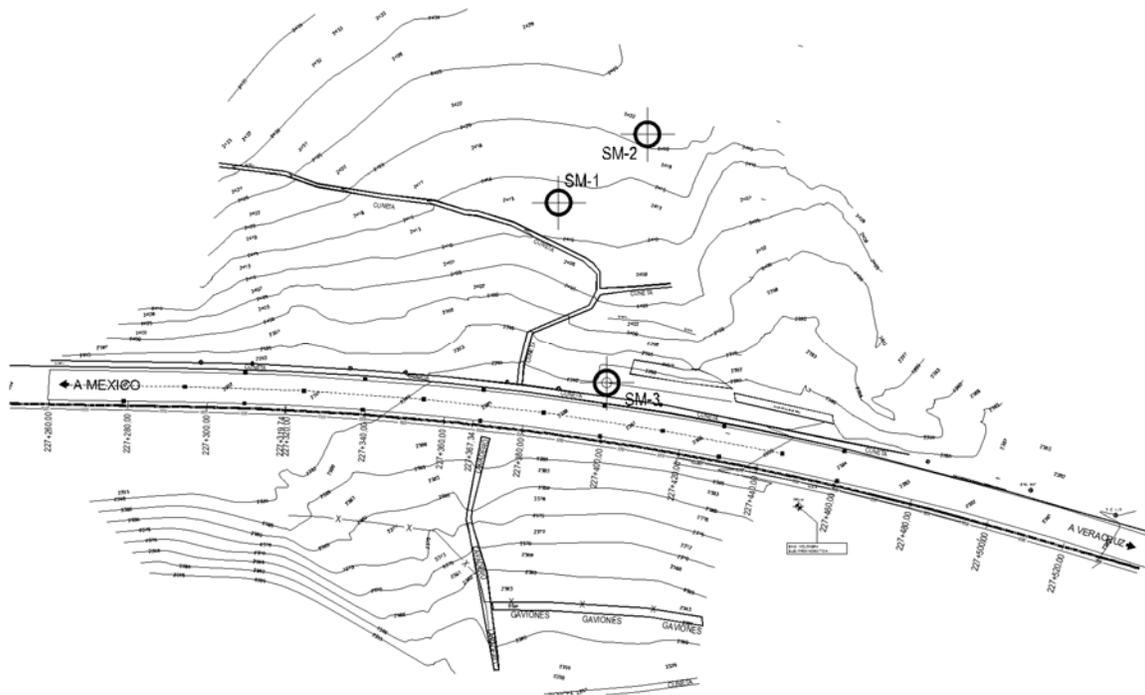
RQD%	Calidad
<25	Muy mala
25-50	Mala
50-75	Media
75-90	Buena
90-100	Muy buena

**Tabla 1.** Calidad de la roca determinada con el RQD.



Teniendo en cuenta los datos anteriores a considerar para determinar las condiciones de un macizo rocoso y un talud compuesto de suelo, se procede a verificar la exploración realizada para partir de aquí y determinar las características del talud a partir de los datos de exploración y muestreo.

A continuación se presenta la planta topográfica con la ubicación de los sondeos en la figura 7.



**Figura 7.** Ubicación de los sondeos en el corte del km 227+380, planta topográfica.



**Fotografía 13.** Ubicación de los sondos en el corte del km 227+380, fotografía aérea.

### 2.3 Sondeo mixto 1 (SM-1)

El sondeo 1 (SM-1), se realizó en la corona del talud al costado norte de la contracuneta, a 25 metros de altura respecto al nivel del pavimento de la autopista, a continuación, se muestra el reporte fotográfico de la campaña de exploración del sondeo SM-1.



**Fotografía 14.** Vista este de la ubicación del sondeo SM-1.



**Fotografía 15.** Vista sureste de la ubicación del sondeo SM-1.



**Fotografía 16.** Muestra alterada recuperada en los primeros metros con tubo partido.



**Fotografía 17.** Muestra alterada recuperada en la parte media del sondeo.



**Fotografía 18.** Muestra alterada recuperada en los últimos metros con tubo partido.



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO												
Proyecto:		ESTABILIZACION DE TALUDES					Ubicación:		AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO			
Sondeo:		SM-1					Perforadora:		LONG YEAR 38			
Coordenadas:		KM 227+380					Bomba:		MOYNO 3L6			
Nivel freático:							Fecha:		12/10/2016			
N	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación		
	De	A										
1	0.00	0.60	TP	2	4	6	0.60	0.46		Limo poco arcilloso negro con materia orgánica		
2	0.60	1.20	TP	3	5	7	0.60	0.40		P/S Limo poco arcilloso negro P/I Arcilla café oscuro		
3	1.20	1.80	TP	3	8	4	0.60	0.34		Arcilla café oscuro		
4	1.80	2.40	TP	4	7	5	0.60	0.38		Arcilla café oscuro		
5	2.40	3.00	TP	5	9	4	0.60	0.28		P/S Arcilla café oscuro P/I Arcilla rojiza		
6	3.00	3.60	TP	3	10	16	0.60	0.46		P/S Arcilla rojiza P/I Arcilla café claro		
7	3.60	4.20	TP	7	14	7	0.60	0.42		Arcilla limosa varios tonos		
8	4.20	4.80	TP	10	14	15	0.60	0.37		Arcilla limosa varios tonos		
9	4.80	5.40	TP	12	32	14	0.60	0.32		Limo arcilloso poco arenoso varios tonos		
10	5.40	6.00	TP	11	17	20	0.60	0.35		Limo arcilloso varios tonos		
11	6.00	6.60	TP	13	15	21	0.60	0.36		Limo arcilloso con grumos cementados		
12	6.60	7.20	TP	17	38	21	0.60	0.27		P/S Limo arcilloso P/I Limo arenoso con grumos cementados		
13	7.20	7.80	TP	16	26	15	0.60	0.30		Limo arcilloso con una capa de grumos cementados		
14	7.80	8.40	TP	10	12	13	0.60	0.50		Limo arcilloso varios tonos		
15	8.40	9.00	TP	21	32	17	0.60	0.37		P/S Limo arcilloso varios tonos P/I Limo arcilloso café oscuro		
SR	9.00	9.15	TP	15	50/30		0.15	0.00		Sin recuperación		
	9.15	9.60	BT				0.45					
16	9.60	10.20	TP	11	17	7	0.60	0.45		Limo arcilloso varios tonos		
17	10.20	10.80	TP	18	29	16	0.60	0.45		Limo arcilloso varios tonos		
Observaciones												
Ademe							Perforista:					
Prof. Sondeo		50.55 Metros					Supervisor:					



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO										
Proyecto:		ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación:		AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO		
Sondeo:		SM-1				Perforadora:		LONG YEAR 38		
Coordenadas:		KM 227+380				Bomba:		MOYNO 3L6		
Nivel freático:						Fecha:		12/10/2016		
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación
	De	A								
18	10.80	11.25	TP	14	50/30		0.45	0.30		Limo arcilloso varios tonos
	11.25	11.40	BT	AVANCE			0.15			
19	11.40	12.00	TP	7	17	9	0.60	0.37		Limo arcilloso varios tonos
20	12.00	12.45	TP	18	50/30		0.45	0.45		Limo arcilloso varios tonos con grumos cementados
	12.45	12.60	BT	AVANCE			0.15			
21	12.60	13.20	TP	15	45	22	0.60	0.40		Limo arcilloso varios tonos
22	13.20	13.50	TP	18	50/15		0.30	0.26		Limo arcilloso varios tonos con lentes de arena fina
	13.50	13.80	BT	AVANCE			0.30			
23	13.80	14.05	TP	21	50/10		0.25	0.20		Limo arcilloso varios tonos con grumos cementados
	14.05	14.40	BT	AVANCE			0.35			
24	14.40	15.00	TP	10	33	18	0.60	0.32		Limo arcilloso varios tonos con lentes de arena fina
SR	15.00	15.60	TP	17	38	29	0.60	0.00		Sin recuperación
25	15.60	15.90	TP	28	50/15		0.30	0.30		Limo arcilloso varios tonos con grumos cementados
	15.90	16.20	BT	AVANCE			0.30			
26	16.20	16.35	TP	50/15			0.15	0.09		Gravas empacadas en limo
	16.35	16.80	BT	AVANCE			0.45			
27	16.80	16.92	TP	50/12			0.12	0.10		Limo compactado poco arenoso varios tonos
	16.92	17.40	BT	AVANCE			0.48			
28	17.40	17.50	TP	50/10			0.10	0.09		Limo compactado poco arenoso varios tonos
	17.50	18.00	BT	AVANCE			0.50			
Observaciones										
Ademe										
Prof. Sondeo		50.55 Metros				Perforista:		Supervisor:		



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO										
Proyecto: ESTABILIZACION DE TALUDES					Ubicación: AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO					
Sondeo: SM-1					Perforadora: LONG YEAR 38					
Coordenadas: KM 227+380					Bomba: MOYNO 3L6					
Nivel freático:					Fecha: 12/10/2016					
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (m)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación
	De	A								
29	18.00	18.60	TP	16	25	27	0.60	0.25		Limo arenoso varios tonos
30	18.60	18.90	TP	35	50/15		0.30	0.30		Limo arenoso café oscuro con gravas aisladas
	18.90	19.20	BT	AVANCE			0.30			
31	19.20	19.40	TP	42	50/05		0.20	0.13		Limo arenoso café oscuro
	19.40	19.80	BT	AVANCE			0.40			
32	19.80	19.95	TP	50/15			0.15	0.10		Limo arenoso café oscuro
	19.95	20.40	BT	AVANCE			0.45			
33	20.40	20.60	TP	37	50/05		0.20	0.13		P/S Arcilla limosa café claro P/I Fragmentos de lutita
	20.60	21.00	BT	AVANCE			0.40			
34	21.00	21.20	TP	41	50/05		0.20	0.15		P/S Fragmentos de lutita P/I Limo arcilloso café claro
	21.20	21.60	TP	AVANCE			0.40			
35	21.60	21.90	TP	38	50/15		0.30	0.20		Limo poco arcilloso y arenoso café oscuro
	21.90	22.20	BT	AVANCE			0.30			
36	22.20	22.40	TP	42	50/05		0.20	0.10		Limo poco arcilloso y arenoso café oscuro
	22.40	22.80	BT	AVANCE			0.40			
37	22.80	22.90	TP	50/10			0.10	0.10		P/S Limo poco arcilloso café oscuro P/I Fragmentos de roca
	22.90	23.40	BT	AVANCE			0.50			
38	23.40	23.50	TP	50/10			0.10	0.10		Fragmentos de roca empacados en limo
	23.50	24.00	BT	AVANCE			0.50			
Observaciones										
Ademe					Perforista:					
Prof. Sondeo					Supervisor:					
50.55 Metros										



REGISTRO DE CAMPO															
Proyecto:				ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación:				AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO			
Sondeo:				SM-1				Perforadora:				LONG YEAR 38			
Coordenadas:				KM 227+380				Bomba:				MOYNO 3L6			
Nivel freático:								Fecha:				12/10/2016			
C	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación					
	De	A													
SR	24.00	24.10	TP	50/10			0.10	0.00		Sin recuperación					
	24.10	24.60	BT	AVANCE			0.50								
39	24.60	25.20	TP	7	27	16	0.60	0.26		Limo café oscuro					
40	25.20	25.35	TP	50/15			0.15	0.15		Limo poro arenoso cementado					
	25.35	25.80	BT	AVANCE			0.45								
41	25.80	25.95	TP	50/15			0.15	0.13		Limo poco arenoso café oscuro					
	25.95	26.40	BT	AVANCE			0.45								
42	26.40	26.65	TP	20	50/10		0.25	0.17		Limo poco arenoso con capas de arcilla varios tonos					
	26.65	27.00	BT	AVANCE			6.60								
43	27.00	27.20	TP	31	50/05		0.20	0.16		Limo arenoso con capas de arcilla compactado varios tonos					
	27.20	27.60	BT	AVANCE			0.40								
44	27.60	27.75	TP	50/15			0.15	0.10		Limo arenoso compactado varios tonos					
	27.75	28.20	BT	AVANCE			0.45								
45	28.20	28.30	TP	50/10			0.10	0.09		Limo arenoso compactado varios tonos					
	28.30	28.80	BT	AVANCE			0.50								
46	28.80	29.10	TP	27	50/15		0.30	0.27		Limo arenoso compactado varios tonos					
	29.10	29.40	BT	AVANCE			0.30								
47	29.40	29.70	TP	31	50/15		0.30	0.25		Limo arenoso compactado varios tonos					
	29.70	30.00	BT	AVANCE			0.30								
Observaciones															
Ademe															
Prof. Sondeo				50.55 Metros				Perforista:							
								Supervisor:							



## REGISTRO DE CAMPO

		REGISTRO DE CAMPO									
Proyecto: ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación: AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO							
Sondeo: SM-1				Perforadora: LONG YEAR 38							
Coordenadas: KM 227+380				Bomba: MOYNO 3L6							
Nivel freático:				Fecha: 12/10/2016							
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación	
	De	A									
48	30.00	30.60	TP	9	20	15	0.60	0.17		Limo varios tonos con capas de arcilla	
49	30.60	31.20	TP	6	30	21	0.60	0.23		Limo café oscuro	
50	31.20	31.80	TP	17	31	18	0.60	0.24		Limo poco arcilloso café claro	
51	31.80	32.40	TP	21	33	22	0.60	0.22		Limo poco arcilloso café claro	
52	32.40	33.00	TP	18	35	17	0.60	0.21		Limo poco arcilloso café claro	
53	33.00	33.60	TP	29	39	19	0.60	0.20		Limo poco arcilloso café claro	
54	33.60	34.20	TP	32	41	17	0.60	0.26		Limo poco arcilloso café claro	
55	34.20	34.80	TP	30	29	27	0.60	0.16		Limo poco arcilloso café claro	
56	34.80	35.40	TP	18	31	34	0.60	0.19		Limo poco arcilloso café claro	
57	35.40	35.70	TP	31	50/15		0.30	0.29		Limo con capas de arcilla varios tonos	
	35.70	36.00	BT	AVANCE			0.30				
58	36.00	36.25	TP	32	50/10		0.25	0.19		Limo arcilloso compactado varios tonos	
	36.25	36.60	BT	AVANCE			0.35				
59	36.60	36.90	TP	35	50/15		0.30	0.22		Limo arcilloso compactado varios tonos	
	36.90	37.20	BT	AVANCE			0.30				
60	37.20	37.45	TP	41	50/10		0.25	0.19		Limo arcilloso compactado varios tonos	
	37.45	37.80	BT	AVANCE			0.35				
61	37.80	38.00	TP	38	50/05		0.20	0.15		Limo arcilloso compactado varios tonos	
	38.00	38.40	BT	AVANCE			0.40				
62	38.40	38.60	TP	31	50/05		0.20	0.20		Limo arcilloso compactado varios tonos	
Observaciones:											
Ademe:				Perforista:							
Prof. Sondeo: 50.55 Metros				Supervisor:							



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO									
Proyecto: ESTABILIZACION DE TALUDES					Ubicación: AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO				
Sondeo: SM-1					Perforadora: LONG YEAR 38				
Coordenadas: KM 227+380					Bomba: MOYNO 3L6				
Nivel freático:					Fecha: 12/10/2016				
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes		Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación
	De	A							
	38.60	39.00	BT	AVANCE		0.40			
63	39.00	39.30	TP	17	50/15	0.30	0.18		Limo arcilloso varios tonos
	39.30	39.60	BT	AVANCE		0.30			
64	39.60	39.85	TP	21	50/10	0.25	0.16		Limo arcilloso varios tonos
	39.85	40.20	BT	AVANCE		0.35			
65	40.20	40.47	TP	32	50/12	0.27	0.17		Limo arcilloso varios tonos
	40.47	40.80	BT	AVANCE		0.33			
66	40.80	41.05	TP	34	50/10	0.25	0.15		Limo arcilloso varios tonos
	41.05	41.40	BT	AVANCE		0.35			
67	41.40	41.60	TP	18	50/05	0.20	0.13		Limo arcilloso varios tonos
	41.60	42.00	BT	AVANCE		0.40			
68	42.00	42.28	TP	25	50/13	0.28	0.17		Limo arcilloso varios tonos
	42.28	42.60	BT	AVANCE		0.32			
69	42.60	42.86	TP	34	50/11	0.26	0.15		Limo arcilloso varios tonos
	42.86	43.20	BT	AVANCE		0.34			
70	43.20	43.45	TP	36	50/10	0.25	0.16		Limo arcilloso varios tonos
	43.45	43.80	BT	AVANCE		0.35			
71	43.80	44.00	TP	38	50/05	0.20	0.20		Limo arcilloso varios tonos
	44.00	44.40	BT	AVANCE		0.40			
72	44.40	44.55	TP	50/15		0.15	0.12		Limo arcilloso varios tonos
Observaciones									
Ademe					Perforista:				
Prof. Sondeo: 50.55 Metros					Supervisor:				



REGISTRO DE CAMPO										
Proyecto:		ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación:		AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO		
Sondeo:		SM-1				Perforadora:		LONG YEAR 38		
Coordenadas:		KM 227+380				Bomba:		MOYNO 3L6		
Nivel freático:						Fecha:		12/10/2016		
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes		Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación	
	De	A								
	44.55	45.00	BT	AVANCE		0.45				
73	45.00	45.15	TP	50/15		0.15	0.13		Limo poco arcilloso compactado	
	45.15	45.60	BT	AVANCE		0.45				
74	45.60	45.74	TP	50/14		0.14	0.12		Limo poco arcilloso compactado	
	45.74	46.20	BT	AVANCE		0.46				
75	46.20	46.31	TP	50/11		0.11	0.07		Limo poco arcilloso compactado	
	46.31	46.80	BT	AVANCE		0.49				
76	46.80	46.90	TP	50/10		0.10	0.10		Limo poco arcilloso compactado	
	46.90	47.40	BT	AVANCE		0.50				
77	47.40	47.53	TP	50/13		0.13	0.09		Limo poco arcilloso compactado	
	47.53	48.00	BT	AVANCE		0.47				
78	48.00	48.15	TP	50/15		0.15	0.10		Limo poco arcilloso compactado con gravas aisladas	
	48.15	48.60	BT	AVANCE		0.45				
79	48.60	48.72	TP	50/12		0.12	0.09		Limo poco arcilloso compactado con gravas aisladas	
	48.72	49.20	BT	AVANCE		0.48				
80	49.20	49.35	TP	50/15		0.15	0.12		Limo arcilloso compactado	
	49.35	49.80	BT	AVANCE		0.45				
81	49.80	49.90	TP	50/10		0.10	0.07		Limo arcilloso compactado	
	49.90	50.40	BT	AVANCE		0.50				
82	50.40	50.55	TP	50/15		0.15	0.13		Limo arcilloso compactado	
Observaciones										
Ademe						Perforista:				
Prof. Sondeo						Supervisor:				
50.55 Metros										

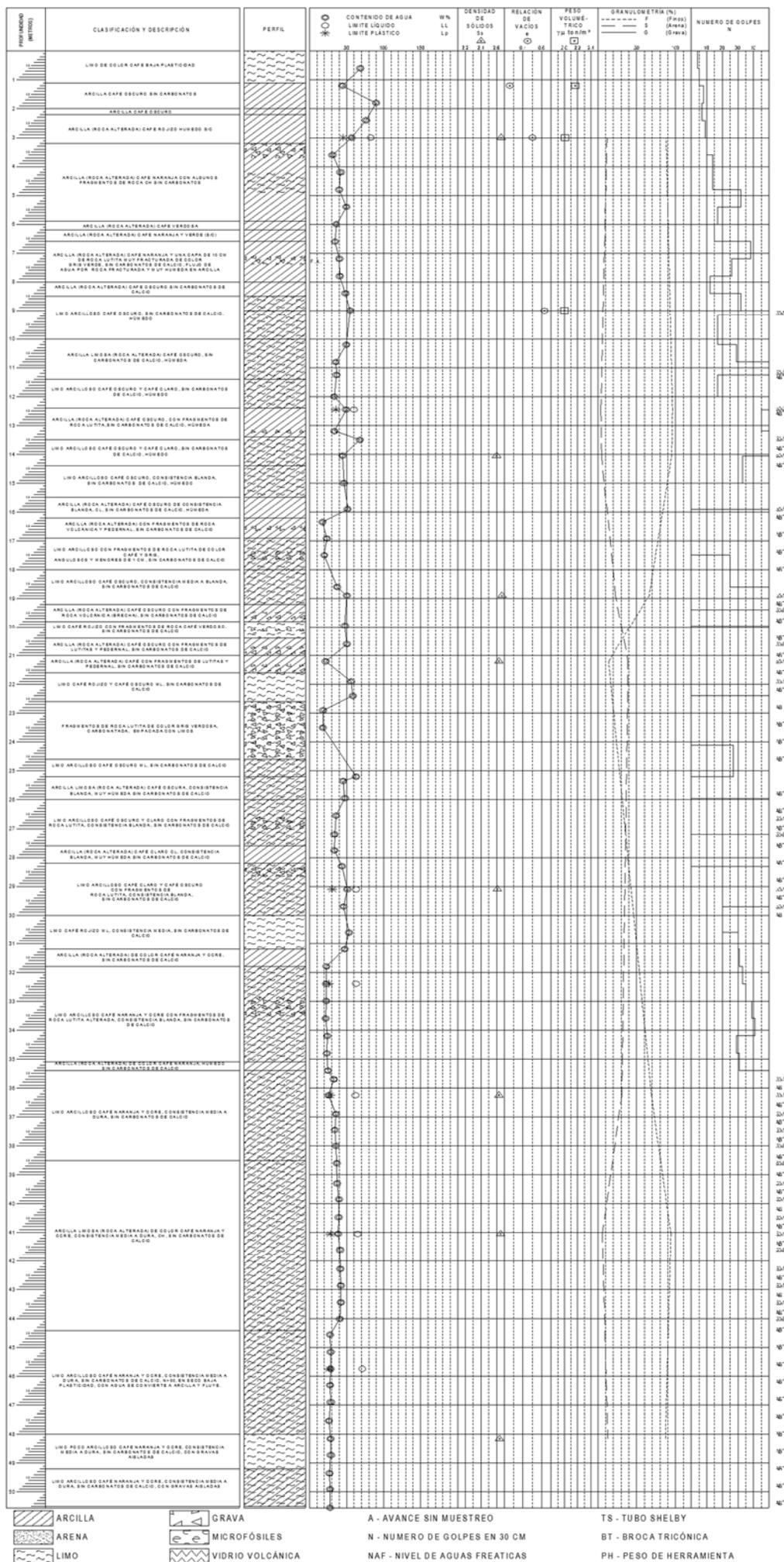


Figura 8: Perfil del sondeo SPT-1, de 0.0 a 50.0 m de profundidad.



## 2.4 Sondeo mixto 2 (SM-2)

El sondeo Mixto 2 (SM-2) se localiza a 29 metros del sondeo SM-1 hacia el noreste, se encuentra a 32 metros sobre el nivel del pavimento de la autopista, a continuación se muestran fotografías de la ubicación del sondeo SM-2.



**Fotografía 19.** Vista oeste del sondeo mixto (SM-2)



**Fotografía 20.** Vista sur del sondeo mixto (SM-2).



**Fotografía 21.** Muestra alterada, obtenida en los primeros metros de exploración.



**Fotografía 22.** Muestra alterada sondeada en la parte intermedia del talud



**Fotografía 23.** Muestra alterada obtenida en los últimos metros de exploración.



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO														
Proyecto:			ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación:			AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO				
Sondeo:			SM-2				Perforadora:			LONG YEAR 38				
Coordenadas:			KM 227+380				Bomba:			MOYNO 3L6				
Nivel freático:							Fecha:			18/10/2016-20/10/2016				
N°	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (m)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación				
	De	A												
1	0.00	0.60	TP	1	2	1	0.60	0.13		Limo poco arcilloso rojizo				
2	0.60	1.20	TP	2	4	2	0.60	0.17		P/S Limo arcilloso P/I Arcilla café oscuro				
3	1.20	1.80	TP	3	6	4	0.60	0.36		Limo arcilloso café oscuro				
4	1.80	2.40	TP	4	7	6	0.60	0.38		Limo arcilloso varios tonos				
5	2.40	3.00	TP	3	13	9	0.60	0.29		Limo arcilloso varios tonos				
6	3.00	3.60	TP	4	9	7	0.60	0.50		Limo arcilloso varios tonos				
7	3.60	4.20	TP	7	18	11	0.60	0.36		Limo arcilloso varios tonos				
8	4.20	4.80	TP	8	25	15	0.60	0.38		P/S Limo arcilloso varios tonos P/I Limo café oscuro				
9	4.80	5.40	TP	2	9	7	0.60	0.44		Arcilla limosa varios tonos				
10	5.40	6.00	TP	7	17	11	0.60	0.35		Arcilla limosa varios tonos				
11	6.00	6.60	TP	4	14	8	0.60	0.47		Arcilla limosa varios tonos				
12	6.60	7.20	TP	8	28	19	0.60	0.43		P/S Limo arenoso varios tonos P/I Limo café oscuro				
13	7.20	7.80	TP	6	12	15	0.60	0.59		Limo café oscuro con lente de arena fina				
SR	7.80	8.40	TP	10	57	25	0.60	0.00		Sin recuperación				
14	8.40	9.00	TP	5	16	10	0.60	0.58		P/S Limo café oscuro P/I Arcilla limosa verdosa				
15	9.00	9.60	TP	8	18	14	0.60	0.46		Arcilla limosa varios tonos				
16	9.60	10.20	BT	7	26	15	0.60	0.40		P/S Arcilla varios tonos P/Limo café oscuro				
17	10.20	10.80	TP	5	18	15	0.60	0.30		Limo café oscuro				
18	10.80	11.40	TP	8	25	17	0.60	0.40		Limo café oscuro				
Observaciones														
Ademe														
Prof. Sondeo				30.00 Metros				Perforista:						
								Supervisor:						



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO											
Proyecto:		MURO DE CONTENCION					Ubicación:		AUTOPISTA PUEBLA - ORIZABA		
Sondeo:		SM-2					Perforadora:		LONG YEAR 38		
Coordenadas:		KM 227+380					Bomba:		MOYNO 3L6		
Nivel freático:							Fecha:		18/10/2016-20/10/2016		
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (r)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación	
	De	A									
19	11.40	12.00	TP	7	21	17	0.60	0.50		Arcilla Limosa varios tonos	
20	12.00	12.60	TP	17	30	18	0.60	0.25		Limo café oscuro	
21	12.60	13.20	TP	19	28	17	0.60	0.32		Limo café oscuro	
22	13.20	13.80	TP	3	12	5	0.60	0.40		Limo café oscuro	
23	13.80	14.40	TP	8	7	12	0.60	0.42		P/S Limo café oscuro P/I Limo café con arena fina	
24	14.40	15.00	TP	PH	22	16	0.60	0.40		Limo arcilloso varios tonos con gravas chicas	
SR	15.00	15.60	TP	PH	13	14	0.60	0.00		Sin recuperación	
25	15.60	16.20	TP	7	21	17	0.60	0.44		P/S Limo café oscuro P/I Arcilla poco arenosa con gravas	
26	16.20	16.80	TP	17	28	17	0.60	0.30		Arcilla poco limosa con gravas aisladas chicas	
27	16.80	17.40	TP	22	29	20	0.60	0.34		Arcilla poco limosa con gravas aisladas chicas	
28	17.40	18.00	TP	29	39	22	0.60	0.30		P/S Arcilla limosa P/I Limo arenoso varios tonos	
29	18.00	18.45	TP	17	50/30		0.45	0.34		Limo arcilloso con gravas chicas	
	18.45	18.60	BT	AVANCE			0.15				
30	18.60	19.20	TP	7	23	20	0.60	0.30		Limo arenoso poco arcilloso con gravas medianas aisladas	
31	19.20	19.80	TP	17	31	19	0.60	0.27		Limo arenoso poco arcilloso varios tonos	
32	19.80	20.40	TP	21	39	30	0.60	0.29		Limo arenoso poco arcilloso varios tonos	
33	20.40	20.70	TP	20	50/15		0.30	0.27		Limo arenoso con fragmentos de lutita	
	20.70	21.00	BT	AVANCE			0.30				
34	21.00	21.30	TP	31	50/15		0.30	0.25		Limo arenoso poco arcilloso con fragmentos de lutita	
	21.30	21.60	BT	AVANCE			0.30				
Observaciones:											
Ademe						Perforista:					
Prof. Sondeo						Supervisor:					
30.00 Metros											



REGISTRO DE CAMPO										
Proyecto:		ESTABILIZACION DE TALUDES					Ubicación:		AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO	
Sondeo:		SM-2					Perforadora:		LONG YEAR 38	
Coordenadas:		KM 227+380					Bomba:		MOYNO 3L6	
Nivel freático:							Fecha:		18/10/2016-20/10/2016	
N°	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes		Longitud de avance (m)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación	
	De	A								
35	21.60	21.85	TP	31	50/10	0.25	0.17		Limo arenoso con pequeñas gravas aisladas	
	21.85	22.20	BT	AVANCE		0.35				
36	22.20	22.45	TP	37	50/10	0.25	0.15		Limo arenoso poco arcilloso varios tonos	
	22.45	22.80	BT	AVANCE		0.35				
37	22.80	23.00	TP	28	50/05	0.20	0.13		Limo arenoso poco arcilloso varios tonos	
	23.00	23.40	BT	AVANCE		0.40				
38	23.40	23.60	TP	32	50/05	0.20	0.18		Limo arenoso varios tonos con lentes de arena fina	
	23.60	24.00	BT	AVANCE		0.40				
39	24.00	24.35	TP	19	50/20	0.35	0.30		Limo arcilloso poco arenoso con pequeñas gravas aisladas	
	24.35	24.60	BT	AVANCE		0.25				
40	24.60	24.90	TP	28	50/15	0.30	0.25		Limo arcilloso poco arenoso con gravas aisladas	
	24.90	25.20	BT	AVANCE		0.30				
41	25.20	25.45	TP	29	50/10	0.25	0.29		Limo arcilloso poco arenoso	
	25.45	25.80	BT	AVANCE		0.35				
42	25.80	26.15	TP	21	50/20	0.35	0.24		Limo café oscuro	
	26.15	26.40	BT	AVANCE		0.25				
43	26.40	26.70	TP	32	50/15	0.30	0.23		Limo café oscuro	
	26.70	27.00	BT	AVANCE		0.30				
44	27.00	27.35	TP	23	50/20	0.35	0.27		Limo café oscuro	
	27.35	27.60	BT	AVANCE		0.25				
Observaciones										
Ademe						Perforista:				
Prof. Sondeo						Supervisor:				
30.00 Metros										



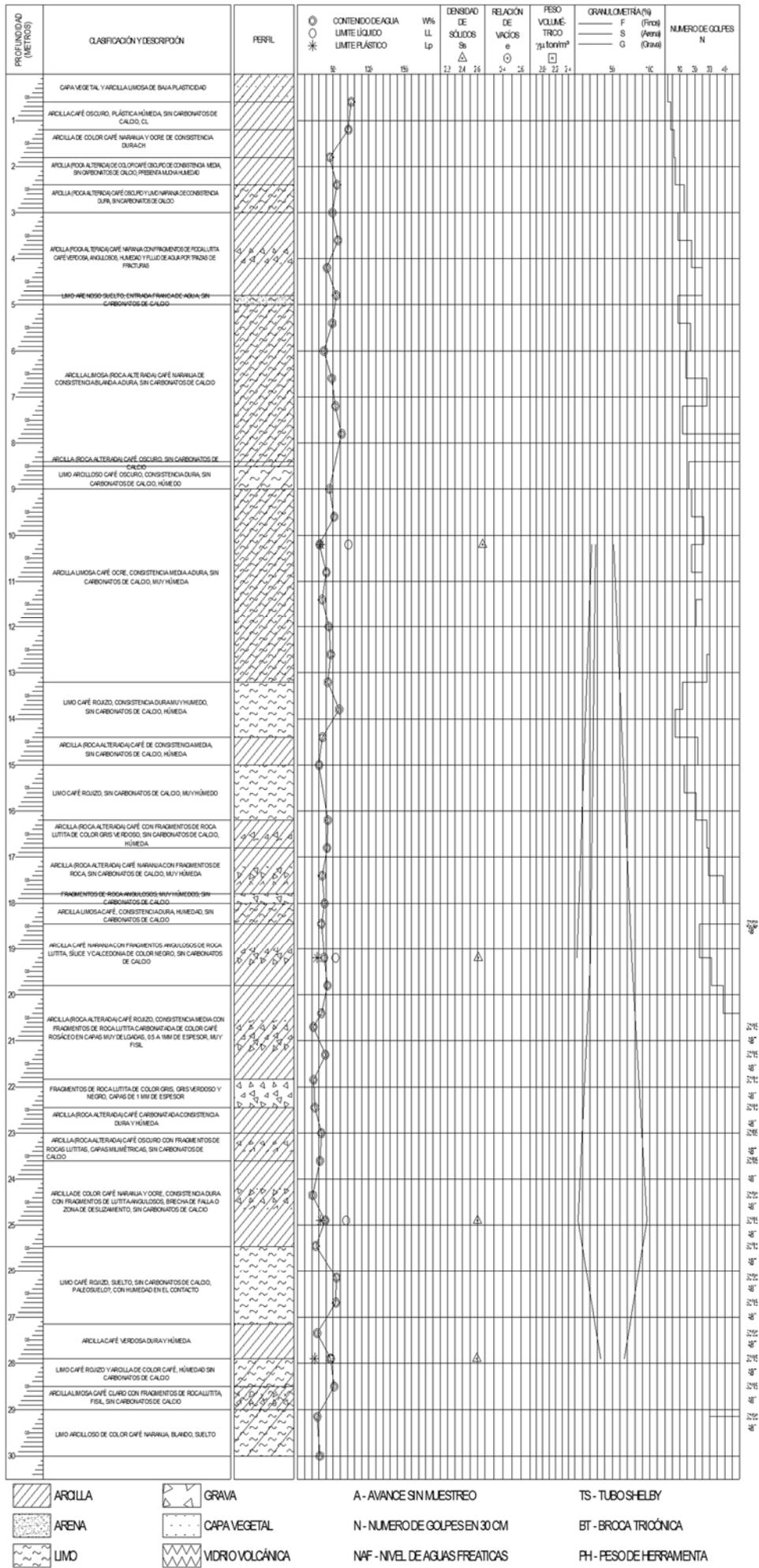


Figura 9. Perfil del sondeo SM-2.



## 2.5 Sondeo mixto 3 (SM-3)

El sondeo mixto 3 (SM-3), se realizó a un costado de la autopista a una elevación de 2389.86 metros sobre el nivel del mar aproximadamente, en las fotografías siguientes se muestra la ubicación del sondeo.



**Fotografía 24.** Vista norte del sondeo mixto 3 (SM-3).



**Fotografía 25.** Vista noreste del sondeo mixto 3 (SM-3).



**Fotografía 26.** Muestra alterada, obtenida con el barril NQ.



**Fotografía 27.** Núcleo de roca, obtenido con el barril NQ.



## REGISTRO DE CAMPO

REGISTRO DE CAMPO										
Proyecto:			ESTABILIZACION DE TALUDES				Ubicación:		AUTOPISTA CD MENDOZA - ACATZINGO	
Sondeo:			SM-3				Perforadora:		LONG YEAR 38	
Coordenadas:			KM 227+380				Bomba:		MOYNO 3L6	
Nivel freático:							Fecha:		21/10/2016 AL 24/10/2016	
No	Profundidad (m)		Herramienta	No de Golpes			Longitud de avance (m)	Recuperación (m)	RQD	Clasificación
	De	A		15 cm	30 cm	15 cm				
1	0.00	0.45	TP	2	50/30		0.45	0.28		Arena limosa con gravas y material de relleno
	0.45	0.60	BT	AVANCE			0.15			
2	0.60	1.05	TP	18	50/30		0.45	0.35		Arena media limosa con gravas y material de relleno
	1.05	1.20	BT	AVANCE			0.15			
3	1.20	1.65	TP	21	50/30		0.45	0.34		Arena media limosa con gravas medianas y material de relleno
	1.65	1.80	BT	AVANCE			0.15			
4	1.80	2.40	TP	2	4	3	0.60	0.10		Arena media limosa con gravas medianas y material de relleno
5	2.40	3.00	TP	6	7	5	0.60	0.26		Arena media limosa con gravas medianas y material de relleno
6	3.00	3.60	TP	5	11	8	0.60	0.23		P/S Arena media limosa con gravas medianas y material de relleno P/I Limo arcilloso ca
7	3.60	4.20	TP	3	8	10	0.60	0.30		Limo arcilloso café claro con gravas grandes
8	4.20	4.50	TP	13	50/15		0.30	0.21		Limo arcilloso café claro con gravas grandes
	4.50	4.80	BT	AVANCE			0.30			
9	4.80	4.90	TP	50/10			0.10	0.10		Limo arcilloso café claro con gravas grandes
	4.90	5.40	BT	AVANCE			0.50			
10	5.40	6.00	BNQ				0.60	0.17		Fragmento de roca empacada en limo arcilloso
11	6.00	7.00	BNQ				1.00	0.50		Fragmento de roca fracturada empacada en limo arcilloso
12	7.00	8.00	BNQ				1.00	0.45		Fragmento de roca fracturada (lutita)
13	8.00	9.00	BNQ				1.00	0.30		Toba fracturada y empacada en limo arcilloso
14	9.00	10.00	BNQ				1.00	0.40		Toba fracturada y empacada en limo arcilloso
Observaciones										
Ademe							Perforista:		ENRIQUE ADRIANO JACINTO	
Prof. Sondeo			25.00 Metros				Supervisor:			



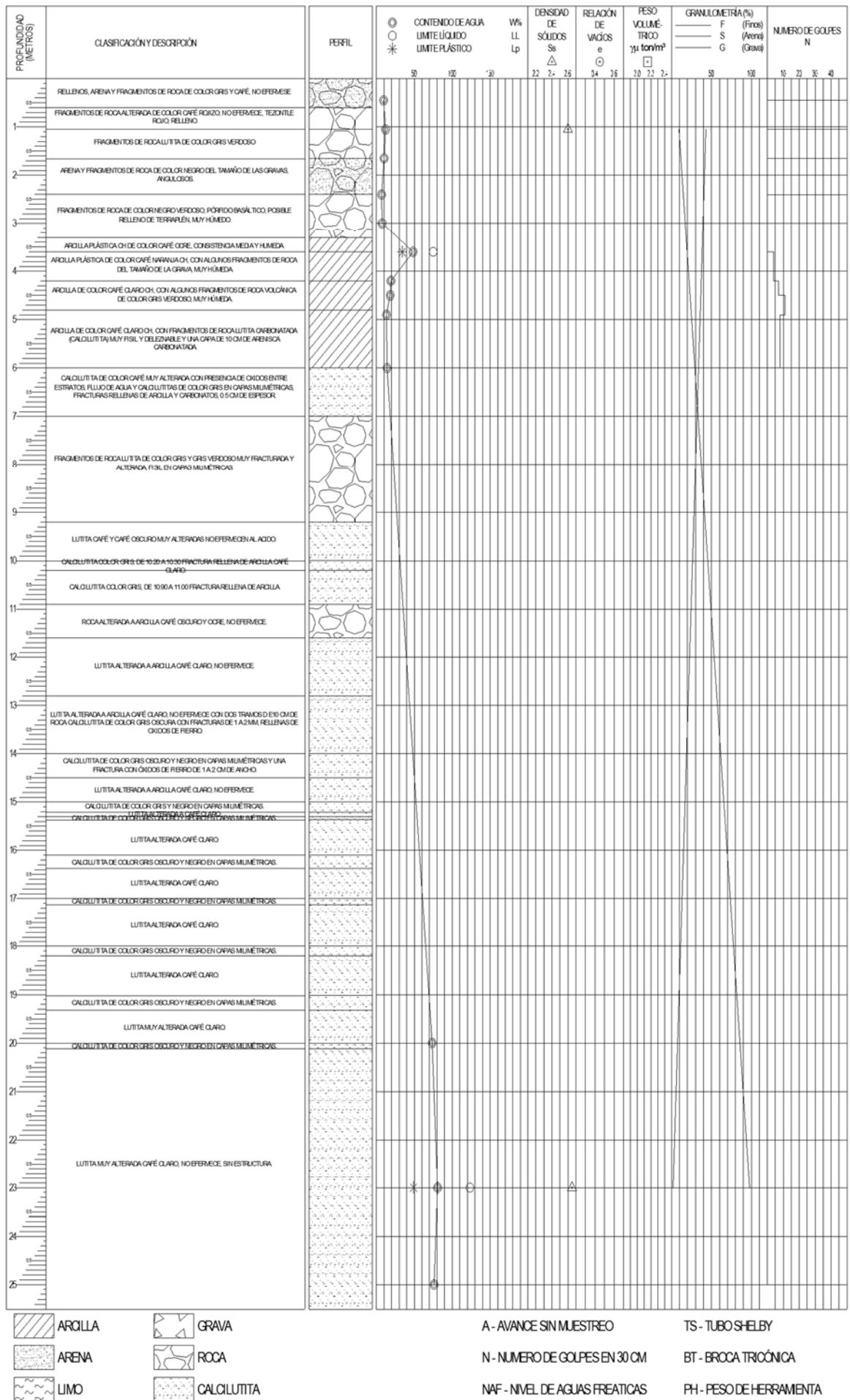


Figura 10: Perfil del sondeo SM-3.



Con base a los resultados obtenidos de la exploración en campo a partir de los sondeos se tiene lo siguiente:

### **Sondeo SM-1**

Se realizó en la parte media de la ladera del lado izquierdo y se llevó hasta 50 m de profundidad, en general se muestreo suelos residuales, conformados por arcillas y limos:

En los primeros 19.0 m de profundidad la resistencia a la penetración estándar es errática variando desde 10 hasta más de 50 golpes

Entre las profundidades de 19.0 m y 30.0 m la resistencia a la penetración estándar resulto ser superior a los 50 golpes

Entre las profundidades de 30.0 y 35.0 m la resistencia a la penetración estándar disminuye, variando entre 20 y 40 golpes

A partir de 35.0 m la resistencia la penetración estándar fue superior a los 50 golpes.



### **Sondeo SM-2**

Se ubicó en la cercanía de la falla de talud ubicada en el lado Este del tramo, sobre la corona del talud; se exploró hasta 30 m un depósito de talud conformado por limos y arcillas provenientes del intemperismo de calizas, lutitas y calcilutitas.

A la profundidad de 20.5 m la resistencia a la penetración estándar varía entre 5 y 40 golpes, a partir de los 20.5 y hasta 29.1 m la resistencia la penetración estándar es mayor de 50 golpes

Desde los 29.1 a los 30 m de profundidad la resistencia a la penetración estándar disminuye a 30 golpes.

### **Sondeo SM-3**

Se realizó en la parte baja del talud junto al acotamiento del lado izquierdo de la autopista, por supuesto en el cuerpo A. Se llevó hasta 25 m:

Desde la superficie hasta la profundidad de 1.5 m se exploraron rellenos y fragmentos de rocas alteradas color gris verdoso

Entre las profundidades de 1.5 m y 4.3 se muestreo arcillas de alta plasticidad (CH) de consistencia húmeda con fragmentos de calcilutitas fisiles y deleznable en consistencia húmeda con un número de golpes 11, estos suelos sobreyacen a calcilutitas, lutitas que se exploraron principalmente mediante barril NQ.



Correlacionando la información de los sondeos realizados se concluye lo siguiente:

De los sondeos SM- 1 y SM-2 se deduce que en el depósito de talud o en los suelos residuales hasta profundidades de 19.0 m y 20.5 m respectivamente la resistencia a la penetración estándar es errática pero en general menor a 50 golpes, este estrato sobreyace a suelos del depósito de talud con resistencias mayores a 50 golpes, con la intercalación de al menos un lente de suelos blandos. El sondeo SM-3 revela que en el pie del talud los suelos residuales están saturados y son arcillas provenientes de lutitas que sobreyacen a rocas sedimentarias. En la fotografía 7 se presenta la ubicación de la realización del sondeo SM-1.



### 3 PRUEBAS DE LABORATORIO

Con las muestras obtenidas en la campaña de exploración se realizaron los siguientes ensayos índice bajo sus normativas correspondientes, a partir de muestras alteradas:

- Contenido de humedad natural (ASTM D 2216)
- Clasificación SUCS (ASTM D 2488)
- Límite plástico (ASTM D 4318)
- Límite líquido (ASTM D 4318)
- Granulometría por mallas (ASTM D 422)
- Determinación de peso volumétrico de la roca

Las pruebas índice o ensayos: son las propiedades físicas que tiene el suelo y mediante las cuales se puede identificar el tipo de suelo a partir de las muestras alteradas que se obtuvieron en la campaña de exploración, así como inferir su origen del suelo a partir de estos ensayos.

#### Muestras alteradas

Se determina muestras alteradas a aquellas que han perdido la estructura de origen a causa de su extracción con un método mecánico o manual, esta muestra de suelo solo conserva propiedades físicas.

En la campaña de exploración donde fue necesario implementar el barril NQ para el muestreo, se obtuvieron núcleos de roca a los cuales se les realizó ensayo de compresión simple, con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de la roca.



Las propiedades mecánicas de un suelo o de la roca: son el comportamiento que presenta la estructura del suelo o roca ante la aplicación de una fuerza sobre ella.

No fue posible obtener muestras inalteradas de los materiales durante la realización de los sondeos, pues su dureza impide el hincado del tubo Shelby y en los pozos a cielo abierto no se lograron labrar muestras, pues el material es deleznable sin firmeza para el labrado o bien contiene lajas de roca.

A continuación se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio realizadas a las muestras obtenidas en la campaña de exploración:

Los núcleos fueron sometidos a la prueba de compresión axial y los resultados obtenidos son los siguientes:

Identificación	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Peso (g)	Altura cabeceada (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso Vol. (t/m <sup>3</sup> )	Observaciones
km 227+380 SM-3 M-14	4.7	10.0	475.8	10.5	1177	2.734	Falla columnada



## Sondeo mixto 1 (SM-1)

Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Peso volumétrico húmedo (t/m <sup>3</sup> )	Granulometría (%).			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
					Grava	Arena	Finos				
1	0.00-0.60	68.5									Limo arenoso café oscuro.
2	0.60-1.20	44.2									Limo arcillo arenoso café oscuro.
3	1.20-1.80	89.9									Limo arcillo arenoso café oscuro.
4	1.80-2.40	76.3									Limo arcillo arenoso café oscuro.
5	2.40-3.00	56.6	2.66			12	88	82.8	45.3	MH	Limo arcillo arenoso café oscuro.
6	3.00-3.60	30.9									Limo arcillo arenoso café claro amarillento.
7	3.60-4.20	41.9									Limo arcillo arenoso café claro amarillento.
8	4.20-4.80	40.1									Limo arcillo arenoso café claro amarillento.
9	4.80-5.40	49.5									Limo arcillo arenoso café claro amarillento.
10	5.40-6.00	36									Limo arcillo arenoso café claro amarillento.
11	6.00-6.60	34.3									Limo arcillo arenoso café oscuro.
12	6.60-7.20	40.4									Limo arenoso café claro.
13	7.20-7.80	40.9									Limo arenoso café claro amarillento.
14	7.80-8.40	48.4									Limo arenoso café claro.
15	8.40-9.00	54.8									Limo arcillo arenoso café claro y amarillento.
SR	9.00-9.15	--									--
16	9.60-10.20	49.8									Limo arcillo arenoso café claro y amarillento.
17	10.20-10.80	35.3									Limo arcillo arenoso café oscuro y amarillento.
18	10.80-11.25	36.6									Limo arcillo arenoso café oscuro y amarillento.
19	11.40-12.00	33.2									Limo arcillo arenoso café claro amarillento y café oscuro.
20	12.00-12.45	49.2				4	96	60.1	35.5	MH	Limo arcillo arenoso café claro amarillento y café oscuro.



Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Peso volumétrico húmedo (t/m³)	Granulometría (%)			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
					Grava	Arena	Finos				
21	12.60-13.20	33.5									Limo arcillo arenoso café oscuro y café claro amarillento.
22	13.20-13.50	68									Limo arcillo arenoso café oscuro.
23	13.80-14.05	44.4	2.6			5	95				Limo arcillo arenoso café oscuro.
24	14.40-15.00	46.3									Limo arcillo arenoso café oscuro y café claro.
25	15.60-15.90	51.4									Limo arcillo arenoso café oscuro.
26	16.20-16.35	17.5									Arena limosa café claro y gris oscuro.
27	16.80-16.92	23.1									Limo arenoso café claro.
28	17.40-17.50	19.9									Limo arenoso café claro.
29	18.00-18.60	36.9									Limo arenoso café claro.
30	18.60-18.90	50.2	2.67		11	23	66				Limo arenoso café oscuro con gravas.
31	19.20-19.40	--									--
32	19.80-19.95	47.7									Limo arenoso café oscuro.
33	20.40-20.60	50.2									Limo arcillo arenoso café claro.
34	21.00-21.20	21.9	2.63		47	39	14				Grava arena limosa café claro y amarillento.
35	21.60-21.90	56.2									Limo arenoso café oscuro.
36	22.20-22.40	58.5									Limo arenoso café oscuro.
37	22.80-22.90	18.3									Limo arcillo arenoso café claro.
38	23.40-23.50	17.8									Limo arcillo arenoso café claro con gravas aisladas.
SR	24.00-24.10	--									--
39	24.60-25.20	62.7									Arcilla limo arenosa café.
40	25.20-25.35	45.3									Arcilla limo arenosa café oscuro.



Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Peso volumétrico húmedo (t/m³)	Granulometría (%).			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
					Grava	Arena	Finos				
41	25.80-25.95	47.7									Arcilla limo arenosa café oscuro.
42	26.40-26.55	35.9									Arcilla limo arenosa café claro.
43	27.00-27.20	33.8									Arcilla limo arenosa café claro.
44	27.60-27.75	33.5									Arcilla limo arenosa café claro.
45	28.20-28.30	43.5									Arcilla limo arenosa café claro.
46	28.80-29.10	50.9	2.61				62.6	30.8	CH		Arcilla limo arenosa café oscuro.
47	29.40-29.70	45.6									Arcilla limo arenosa café oscuro.
48	30.00-30.60	53.2									Arcilla limo arenosa café oscuro.
49	30.60-31.20	47.2									Arcilla limo arenosa café oscuro.
50	31.20-31.80	22.8									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
51	31.80-32.40	22.5					62.6	26.2	CH		Arcilla areno limosa café claro amarillento.
52	32.40-33.00	22.7									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
53	33.00-33.60	21.5									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
54	33.60-34.20	23.7									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
55	34.20-34.80	23.2									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
56	34.80-35.40	24.6									Arcilla areno limosa café claro amarillento.
57	35.40-35.70	32.9									Arcilla areno limosa café claro amarillento y café oscuro.
58	36.00-36.25	25.2	2.63			31	69	61.9	28.3	CH	Arcilla areno limosa café claro amarillento y café oscuro.
59	36.60-36.90	35.4									Arcilla areno limosa café claro amarillento y café oscuro.
60	37.20-37.45	33.9									Arcilla areno limosa café oscuro y café claro amarillento.



Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Peso volumétrico húmedo (t/m³)	Granulometría (%)			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
					Grava	Arena	Finos				
61	37.80-38.00	35.7									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
62	38.40-38.60	36.8									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
63	39.00-39.30	37.1									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
64	39.60-39.85	39.7									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
65	40.20-40.47	39.5									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
66	40.80-41.05	38.4	2.65			6	94	64.9	28.3	CH	Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
67	41.40-41.60	41.2									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
68	42.00-42.28	41.6									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
69	42.60-42.86	42.1									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
70	43.20-43.45	42.1									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
71	43.80-44.00	40.9									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
72	44.40-44.55	27.6									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
73	45.00-45.15	28.6									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
74	45.60-45.74	28.2						71.3	26.4	CH	Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
75	46.20-46.31	27.8									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
76	46.80-46.90	28.7									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
77	47.40-47.53	26.1									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
78	48.00-48.15	28.3	2.64			13	87				Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
79	48.60-48.72	28.7									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
80	49.20-49.35	27.1									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
81	49.80-49.90	27.7									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
82	50.40-50.55	27.6									Arcilla limo arenosa café claro amarillento.



## Sondeo mixto 2 (SM-2)

Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Granulometría (%).			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
				Grava	Arena	Finos				
1	0.00-0.60	75.3								Arcilla limo arenosa café oscuro.
2	0.60-1.20	71.4								Arcilla limo arenosa café oscuro.
3	1.20-1.80	45.2								Arcilla limo arenosa café claro y amarillento.
4	1.80-2.40	55.4								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
5	2.40-3.00	49								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
6	3.00-3.60	56.7								Arcilla limo arenosa café claro y amarillento.
7	3.60-4.20	41.1								Arcilla limo arenosa café claro y amarillento.
8	4.20-4.80	54.3								Arcilla limo arenosa café oscuro.
9	4.80-5.40	48.8								Arcilla limo arenosa café claro.
10	5.40-6.00	36.9								Arcilla limo arenosa café claro y amarillento.
11	6.00-6.60	48								Arcilla limo arenosa café claro y amarillento.
12	6.60-7.20	53.1								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
13	7.20-7.80	61.7								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
SR	7.80-8.40	--								--
14	8.40-9.00	44.8								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
15	9.00-9.60	51.3								Arcilla limo arenosa café oscuro y amarillento.
16	9.60-10.20	31	2.67	22	28	52	71.5	32.6	CH	Arcilla areno limosa café claro con gravas.
17	10.20-10.80	40.4								Arcilla areno limosa café claro con gravas.
18	10.80-11.40	34.5								Arcilla areno limosa café claro con gravas.
19	11.40-12.00	43.9								Arcilla limo arenosa café claro y oscuro.



Mta.	Profundidad (m)	w (%)	Ss	Granulometría (%)			Límite	Límite	SUCS	Clasificación
				Grava	Arena	Finos	líquido	plástico		
20	12.00-12.60	46.5								Arcilla limo arenosa café claro y oscuro.
21	12.60-13.20	42.6								Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
22	13.20-13.80	58.4								Arcilla limo arenosa café oscuro.
23	13.80-14.40	34.8								Arcilla limo arenosa café claro con gravas aisladas.
24	14.40-15.00	30.2								Arcilla limo arenosa café claro con gravas aisladas.
SR	15.00-15.60	--								Arcilla limo arenosa café claro con gravas aisladas.
25	15.60-16.20	42.5								Arcilla limo arenosa café claro con gravas aisladas.
26	16.20-16.80	41.5								Arcilla limo arenosa café claro.
27	16.80-17.40	34.4								Arcilla limo arenosa café claro.
28	17.40-18.00	37.9								Arcilla limo arenosa café claro.
29	18.00-18.45	33.4								Arcilla limo arenosa café claro.
30	18.60-19.20	37.6	2.61	3	21	76	53.3	27.7	CH	Arcilla limo arenosa café claro con gravas aisladas.
31	19.20-19.80	41.9								Arcilla limo arenosa café claro.
32	19.80-20.40	33.6								Arcilla limo arenosa café claro.
33	20.40-20.70	22.2								Arcilla limo arenosa café claro.
34	21.00-21.30	39.1								Arcilla limo arenosa café claro.
35	21.60-21.85	22.5								Arcilla limo arenosa café claro.
36	22.20-22.45	24.2								Arcilla limo arenosa café claro.
37	22.80-23.00	33.4								Arcilla limo arenosa café claro.
38	23.40-23.60	31.5								Arcilla limo arenosa café claro.
39	24.00-24.35	21.1								Arcilla limo arenosa café claro.
40	24.60-24.90	38.8	2.6		4	96	67.9	32.6	CH	Arcilla limo arenosa café claro.
41	25.20-25.45	25.4								Arcilla limo arenosa café claro.
42	25.80-26.15	54.7								Arcilla limo arenosa café oscuro.



### Sondeo mixto 3 (SM-3)

Mta.	Profundidad (m)	w (%)	S <sub>s</sub>	Granulometría (%)			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
				Grava	Arena	Finos				
1	00.00-0.45	9.4								Grava arenosa limosa café oscuro y gris oscuro.
2	0.60-1.05	11.8	2.6	48	43	9				Grava arenosa limosa gris oscuro.
3	1.20-1.65	10								Grava arenosa limosa gris oscuro.
4	1.80-2.40	7								Grava arenosa gris oscuro.
5	2.40-3.00	7.3								Grava arenosa gris oscuro.
6	3.00-3.60	48.5					75	34	CH	Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
7	3.60-4.20	19.2								Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
8	4.20-4.50	18.2								Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
9	4.80-4.90	13.2								Arcilla limo arenosa café claro amarillento.
10	5.40-6.00	13.9								Arcilla limo arenosa gris claro.
11	6.00-7.00									Fragmentos de roca caliza interestratificada con limo arcillo arenoso café claro.
12	7.00-8.00									Grava gris oscuro hasta de 2" y arena arcillosa.
13	8.00-9.00									Grava gris oscuro hasta de 2" y arena arcillosa.
14	9.00-10.00									Grava hasta de 1" y boleto interestratificado con arcilla, limo arenoso café claro y rojizo.
15	10.00-11.00									Roca caliza interestratificada con arcilla limo arenosa gris claro y betas café rojiza.
16	11.00-11.60									Arcilla limo arenosa café claro amarillento y café oscuro.
17	11.60-12.80									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
18	12.80-14.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
19	14.00-15.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.



Mta.	Profundidad (m)	w (%)	S <sub>s</sub>	Granulometría (%).			Límite líquido	Límite plástico	SUCS	Clasificación
				Grava	Arena	Finos				
20	15.00-16.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
21	16.00-17.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
22	17.00-18.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
23	18.00-19.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
24	19.00-20.00	73.6								Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
25	20.00-21.00									Arcilla limo arenosa gris claro, interestratificada con roca caliza.
26	21.00-22.00									Arcilla limo arenosa gris claro y café claro amarillento.
27	22.00-23.00	80.6	2.65		2	98	123.4	49.1		Arcilla limo arenosa gris claro y café claro amarillento.
									CH	
28	23.00-24.00									Arcilla limo arenosa gris claro y café claro amarillento.
29	24.00-25.00	76								Arcilla limo arenosa gris claro y café claro amarillento.



## 4 MODELO GEOTÉCNICO

### 4.1 Disposición estratigráfica

Una verdadera labor ingenieril consiste en determinar el modelo geomecánico con el cual se tendrá que analizar el problema y concretar el origen del mismo. El modelo se obtiene a partir, de recopilar los resultados obtenidos de los trabajos de geología, reportes de exploración de sondeos y las pruebas de laboratorio. El conjunto de información de campo recabada se analiza e interpreta a manera de encontrar una relación que lleve a una conclusión que se ajuste para la interpretación del problema.

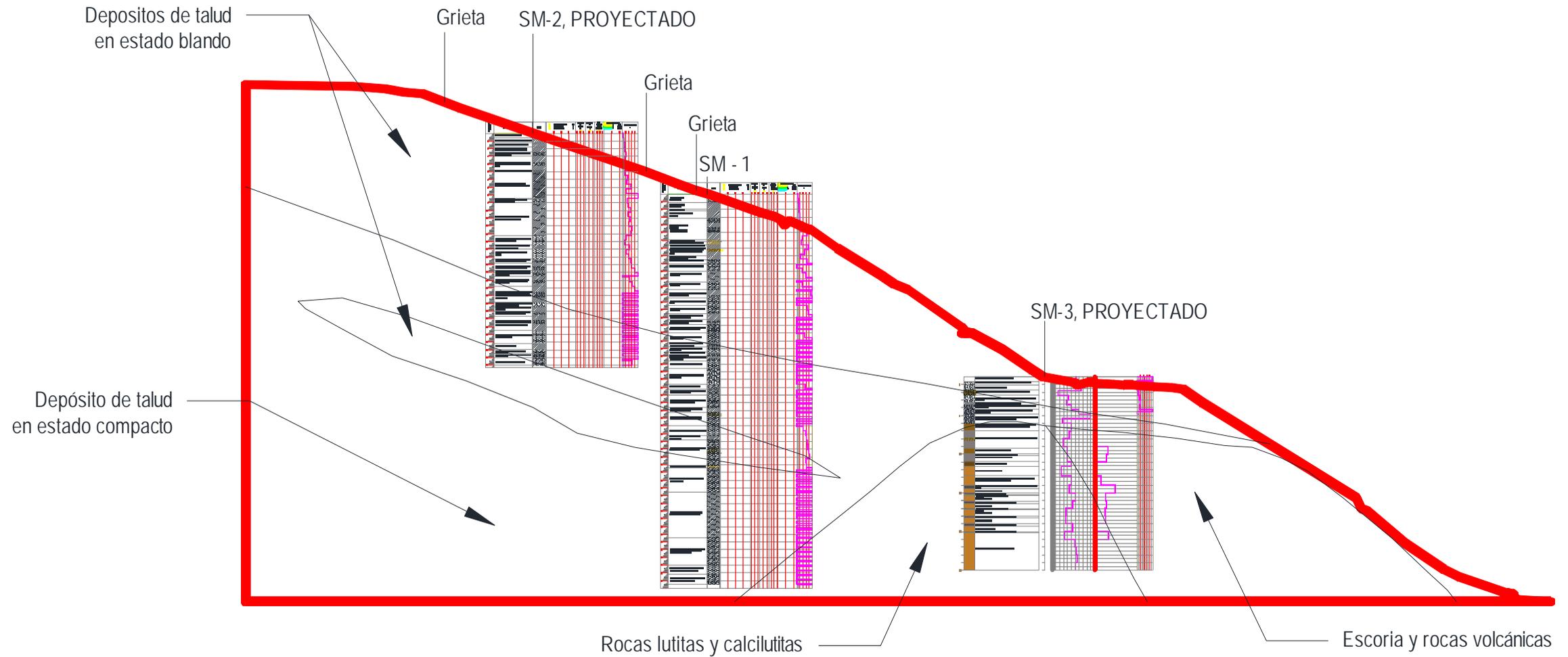
Las características geométricas del talud: se obtienen de las secciones transversales y una o más secciones longitudinales de la topografía, la sección o secciones transversales con mejor representación general del talud son la base geométrica para el análisis, Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso, (1980).

El modelo geomecánico: es una representación geométrica de la disposición estratigráfica del suelo, al cual se asignan propiedades mecánicas por estrato para poder realizar un cálculo de análisis numérico. La interpretación numérica del suelo nos permite tener un fundamento comprobable teóricamente y de mayor exactitud, para poder determinar el origen del problema que está presentando un suelo al ser expuesto al ambiente y a hechos antrópicos.



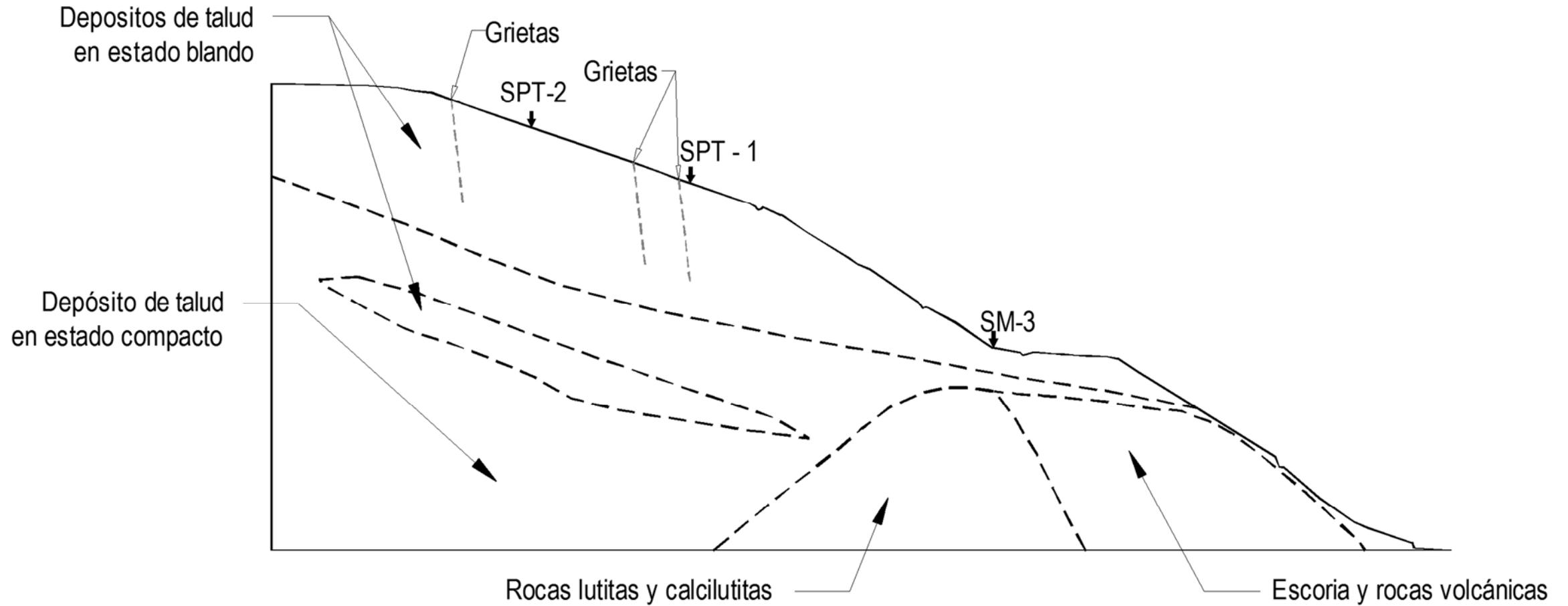
A partir de la información recabada se logró determinar un modelo geomecánico, en la figura 3 se muestra el modelo determinado a partir de los datos recabados de campo y laboratorio.

En la figura 11, se muestra el modelo geomecánico del talud en estudio, resultado de la interpretación y correlación de la información geológica, resultados de la exploración y muestreo en campo, interpretación de los resultados de las pruebas realizadas en laboratorio y criterio en base a la experiencia adquirida con proyectos similares al estudiado.



**Figura 11.** Modelo geomecánico en el corte del km 227+380, con proyección de perfiles estratigráficos resultado de la campaña de exploración.

El resultado de la interacción de la información recabada en campo y gabinete dan como resultado el modelo geomecánico siguiente:



**Figura 12.** Modelo geomecánico propuesto para realizar análisis de estabilidad



En el modelo geomecánico propuesto se localizaron 4 unidades geotécnicas las cuales se describen a continuación:

### **UNIDAD GEOTECNICA 1**

**Depósitos de talud en estado blando.** Se estableció esta unidad considerando que son suelos residuales o un posible depósito de talud, donde la resistencia a la penetración estándar es menor a 50 golpes. Están constituidos por limos y arcillas provenientes de la intemperización de las lutitas, las calizas y las calcilutitas. Esta unidad se ubica en la ladera a la izquierda de la autopista hasta profundidades del orden de 20 m, también existen dentro del depósito de talud o de los suelos residuales compactos lentes de esta unidad.

### **UNIDAD GEOTECNICA 2**

**Suelos residuales en estado compacto.** Esta unidad geotécnica en general subyace a los depósitos o suelos residuales en estado blando y está constituida por arcillas y limos residuales cuya roca madre la constituyen las lutitas, las calizas y las calcilutitas. La resistencia a la penetración estándar es superior a 50 golpes.

### **UNIDAD GEOTECNICA 3**

**Rocas calizas y calcilutitas.** Son rocas calizas, lutitas y calcilutitas, estratificadas y plegadas, afloran en los cortes de la carretera en el lado izquierdo, se pueden observar en la fotografía 5.



## UNIDAD GEOTECNICA 4

**Escoria y rocas volcánicas.** Esta unidad aflora en la parte media de la ladera derecha del corte superficialmente se observan principalmente escorias y basaltos.

No se identificó en los sondeos la presencia del nivel freático. Se identificaron en varios sitios escurrimientos superficiales.

### 4.2 Propiedades mediante retroanálisis

Para obtener los parámetros del modelo geomecánico no se dispone ensayos en muestras inalteradas, ni de ensayos in situ; se cuenta con los ensayos indirectos de penetración estándar, muestras alteradas con algunas de sus propiedades índice (pruebas de contenido de humedad, límites de consistencia, granulometrías y ensayos de compresión simple de la roca), la geología del sitio (identificación del tipo de suelos y las rocas), con esta información se determinó los parámetros de análisis.

Se procedió a realizar un retroanálisis; suponiendo que el factor de seguridad del talud es cercano a la unidad, pues el talud posee grietas en su cuerpo sobre la corona y se han desarrollado deslizamientos locales en el talud, por estas razones, el talud en estudio se considera inestable, con un factor de seguridad muy cercano a 1.



El análisis del factor de seguridad se realizó aplicando el método de Bishop simplificado, cuya metodología se resume en las siguientes expresiones:

$$F_s = \frac{\sum_1^m \left[ c_i \Delta x_i + N_i \tan \phi_i \left[ \frac{1}{M_i \theta} \right] \right]}{\sum_1^m [W_i \text{seno} \theta_i]} \quad (1)$$

$$M_i \theta = \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \theta_i \tan \phi_i}{F_s} \right) \quad (2)$$

donde

- $F_s$  Factor de seguridad contra la falla del talud;
- $c_i$  Cohesión a lo largo de la superficie de falla de la dovela  $i$ ;
- $\Delta x_i$  Espesor de la dovela  $i$ ;
- $W_i$  Peso de la dovela  $i$ ;
- $N_i$  Esfuerzo normal a la superficie de falla de la dovela  $i$ ;
- $\phi_i$  Ángulo de fricción a lo largo de la superficie de falla  $i$ , y
- $\theta_i$  Ángulo entre la vertical donde actúa el peso y la normal a la superficie de falla de la dovela  $i$ .

El método bishop, es un análisis utilizado para estimar el factor de seguridad de un talud, la interpretación del factor se hace a partir de la proyección de una falla circular en el material que lo conforma. El método sirve exclusivamente para obtener un análisis de falla circular en suelos.



Bishop (1955) presentó un método utilizando Dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las Dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales o sea que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón se utiliza una versión simplificada de su método.

Para poder entender con claridad el método es necesario tener presentes los significados de los siguientes términos:

**Estabilidad:** es cualquier elemento que puede mantenerse en una posición siempre y cuando no exista una fuerza externa que cambie su estado de inercia.

**Talud:** es una superficie del terreno con una forma inclinada que se mantiene estable debido a las propiedades mecánicas del suelo y geométricas del terreno.

**Dovela:** es un elemento que forma parte de un conjunto de elementos en forma de cuña, el grupo de estos elementos generan una superficie circular teórica en el talud, esta zona es el círculo de falla hipotético.

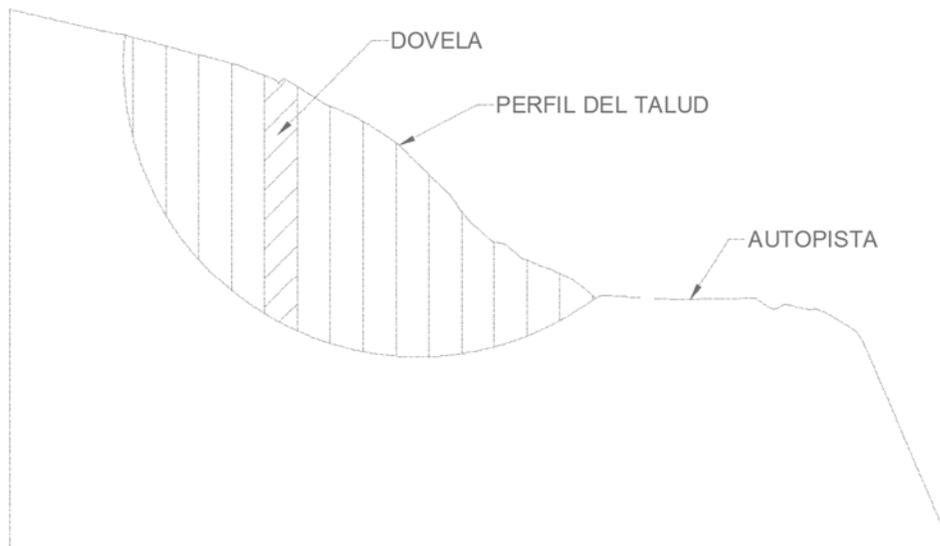
**Factor de seguridad:** es un valor teórico que se le asigna en este caso a un talud, para determinar la probabilidad de falla del suelo por la acción de fuerzas externas (aplicación de cargas) e internas (peso propio), este valor se obtiene al dividir el momento resistente de un elemento contra el momento actuante ocasionado por acciones externas e internas, a continuación se muestra la ecuación a realizar para determinar el factor de seguridad:



$$\text{Factor de Seguridad} = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{momento actuante}}$$

Una definición del factor de seguridad contra la falla de un talud, es la del valor resultante de dividir la resistencia al corte disponible del suelo, a lo largo de una superficie crítica de deslizamiento, por la resistencia al corte requerida para mantener el equilibrio (Bishop, 1955)

La interpretación de la posible falla de un talud en una forma circular como ya se mencionó, se hace a partir de un análisis de dovelas; que son un conjunto de elementos que forman un arco o círculo, a continuación en la figura 13 se muestra un ejemplo donde se aprecia una dovela sombreada de un conjunto de las mismas, consideradas para hacer el análisis del factor de seguridad de un talud.



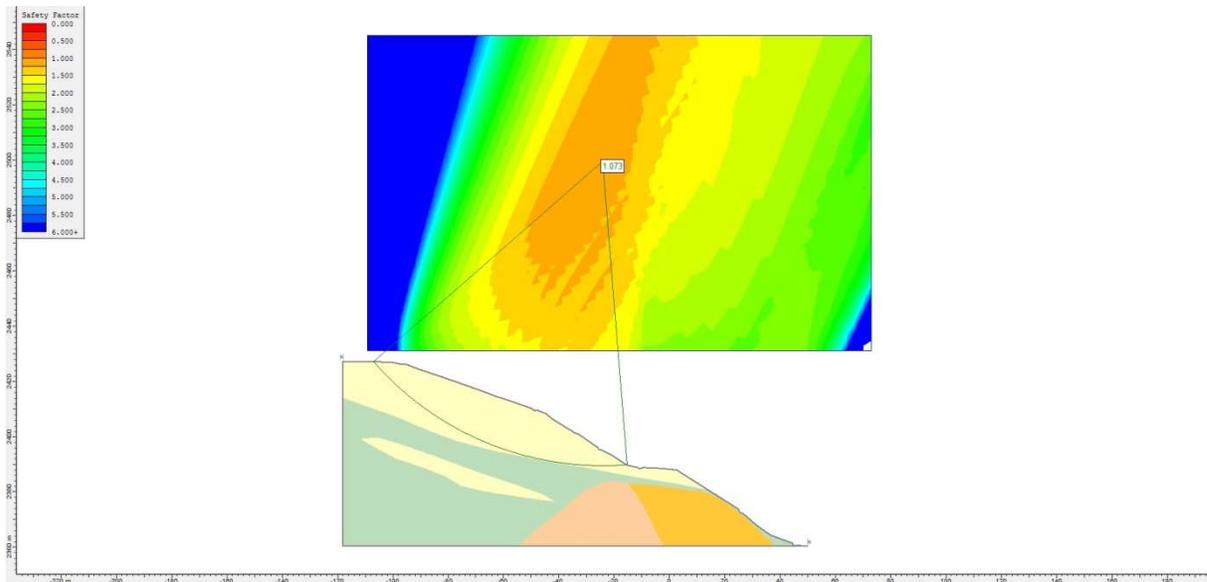
**Figura 13.** ejemplo de un conjunto de dovelas que forman un área circular o zona de falla.



Existen una gran variedad de métodos que determinan el factor de seguridad y el círculo de la falla teórica del talud, sin embargo el resultado entre los mismos es muy similar por lo tanto para realizar el análisis de este talud se escogió este método que es uno de los más conocidos y empleados en el campo laboral.

Para evaluar las condiciones actuales del talud, se llevó a cabo un análisis empleando el método bishop con los parámetros seleccionados del retroanálisis considerando un factor sísmico del sitio, a continuación, se muestra el análisis inicial calculado con las características del talud a la fecha de realización del presente estudio.

Para el calculo del factor de seguridad del talud de una forma practica, eficiente y grafica, se empleo un programa de procesamiento electrónico, los resultados del analisis se presentan en la figura 14.



**Figura 14.** Resultados de los análisis del factor de seguridad, ajustando las propiedades, para un factor de seguridad de 1.0, en el corte del km 227+380



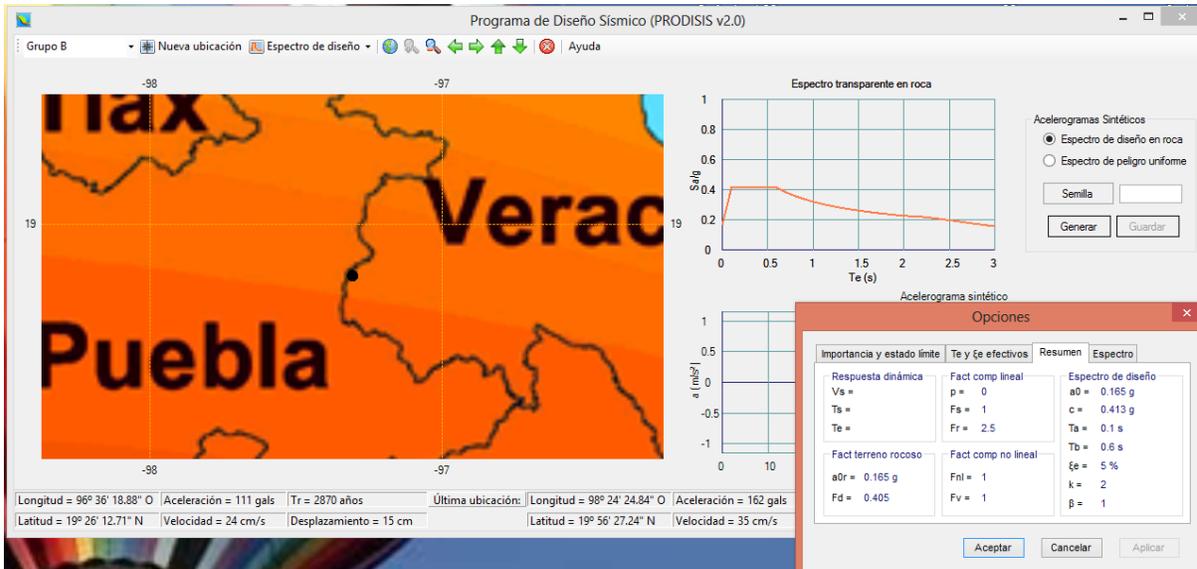
Las propiedades consideradas para un primer análisis del talud con las condiciones actuales, se presentan en la tabla 2 y se establecen para el modelo geomecánico.

**Tabla 2.** Propiedades obtenidas mediante el retroanálisis

Unidad geotécnica	Peso volumétrico (ton/m <sup>3</sup> )	Cohesión (ton/m <sup>2</sup> )	Fricción (grados)
Depósito de talud o suelos residuales en estado blando	1.8	6	5
Depósito de talud en estado compacto	1.9	15	10
Rocas calizas y calcilutitas	1.9	20	20
Escorias y rocas volcánicas	1.8	5	30

#### 4.3 Parámetros sísmicos

Para evaluar las acciones sísmicas que pudieran afectar la estabilidad del talud, los parámetros sísmicos de la zona, se extrajeron del programa Prodisis de la Comisión Federal de Electricidad, Comisión Federal de Electricidad, (2008), cuyos resultados se presentan en la figura 15.



**Figura 15.** Parámetros sísmicos en la zona de acuerdo con el programa Prodisis del CFE

Para determinar el coeficiente sísmico al que deben sujetarse los análisis de estabilidad del corte mediante el método pseudoestático, se operó la siguiente expresión, obtenida del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad [1].

$$K_h = \frac{a_0}{1 + 3a_0} \quad (3)$$

Donde

$K_h$  Coeficiente sísmico horizontal, y

$a_0$  Aceleración máxima del terreno en roca normalizada con respecto a la gravedad.

Con base en lo anterior, el coeficiente sísmico estático resulta de 0.11.



## 5 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Para lograr la estabilidad del talud, se realizó una propuesta de tres alternativas de estabilización, se llevaron a cabo un análisis de estabilidad proyectando las propuestas de solución usando el método de Bishop para el cálculo de factor de seguridad, presentado en el capítulo precedente y usando las propiedades de la tabla 1 deducidas mediante el retroanálisis.

El factor de seguridad, se asume que es igual para todos los puntos a lo largo de la superficie de falla, por lo tanto este valor representa un promedio del valor total en toda la superficie de falla. El término superficie de falla se utiliza para referirse a una superficie asumida a lo largo de la cual puede ocurrir el deslizamiento o rotura del talud. Sin embargo, este deslizamiento o rotura no ocurre a lo largo de esas superficies si el talud es diseñado adecuadamente.

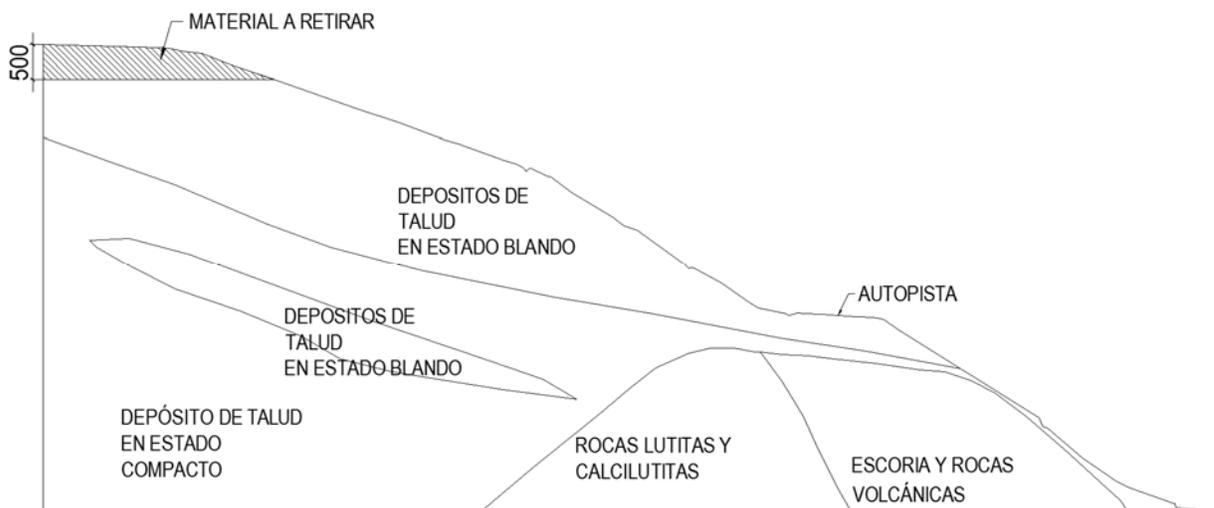
Los análisis de equilibrio límite tienen algunas limitaciones las cuales están relacionadas principalmente porque no tienen en cuenta las deformaciones. Como los métodos de equilibrio límite se basan solamente en la estática y no tienen en cuenta las deformaciones, las distribuciones de presiones en muchos casos no son realistas.

A continuación se muestran las alternativas propuestas para lograr la estabilización del talud logrando un incremento del factor de seguridad.

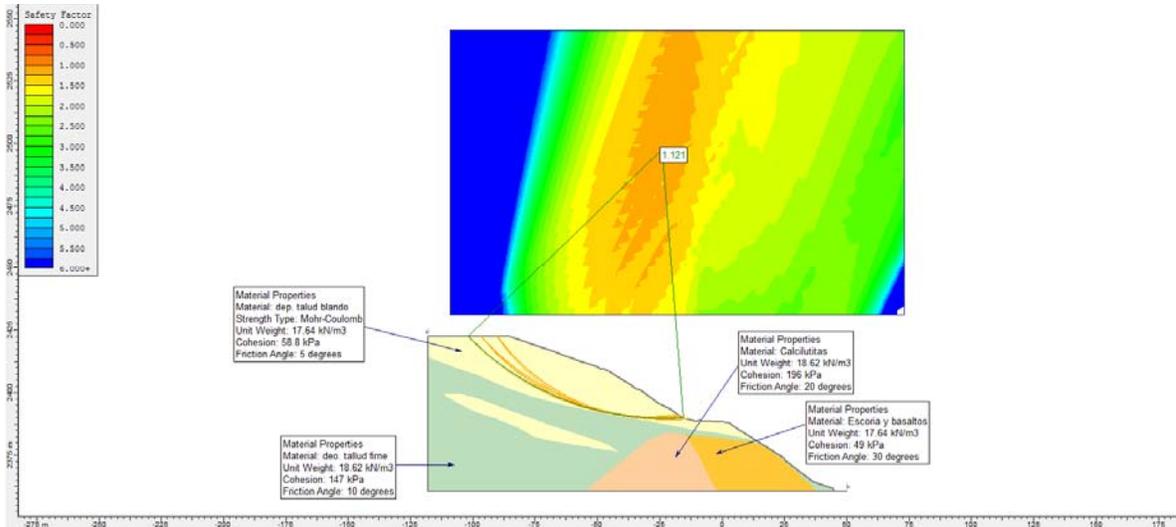


## 5.1 Alternativa 1

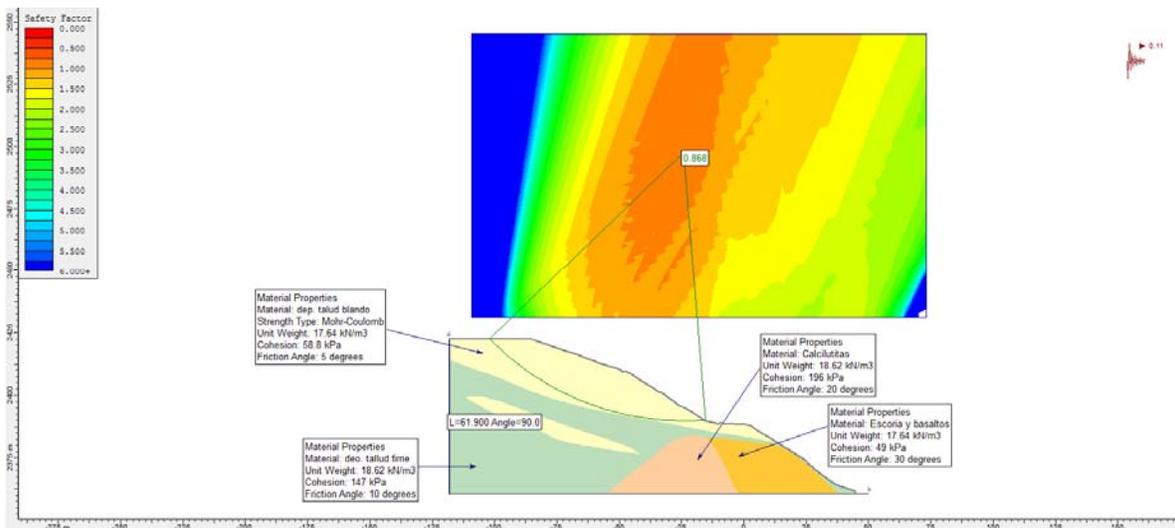
Se consideró realizar un corte y retiro de material de 5 m al talud desde la corona hacia abajo como se muestra en la figura 16 y se determinó su factor de seguridad, los resultados se presentan en la figura 17.



**Figura 16.** Sección representativa del km 227+380 con proyección de los 5 metros de suelo a retirar, en la parte superior del talud se aprecia sombreado el material a retirar.



**Figura 17.** Resultados de los análisis de estabilidad en el corte del km 227+380, considerando que se realiza un corte en el talud de 5 m de espesor, el factor de seguridad resultó de 1.121.



**Figura 18.** Resultados de los análisis de estabilidad en el corte del km 227+380, considerando un factor sísmico de 0.11, en el talud después del corte de 5 m de espesor, el factor de seguridad resultó de 0.868.

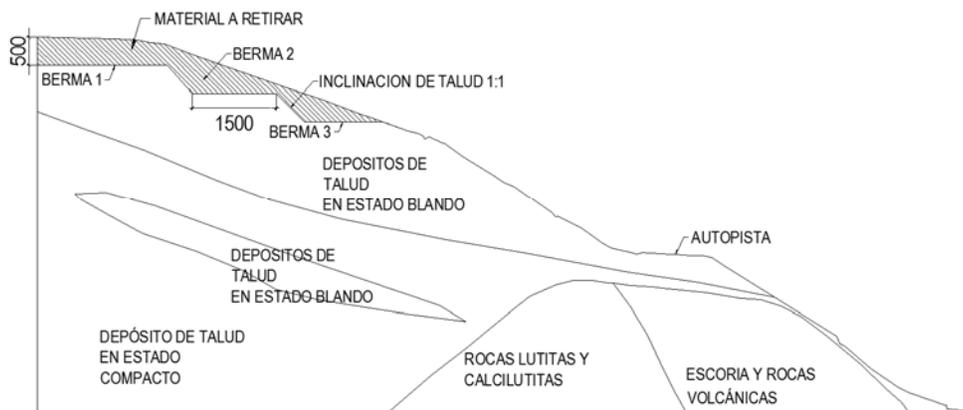


## 5.2 Alternativa 2

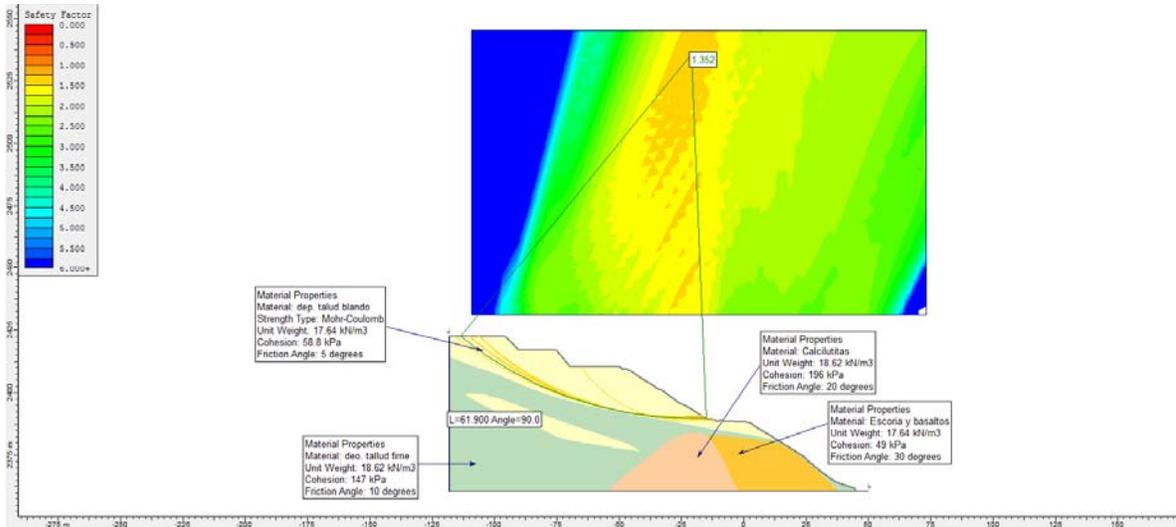
En la segunda alternativa, se analizó la estabilidad del talud proyectando un sistema de bermas en la parte superior el talud como se muestra en la figura 19, se proyectaron tres bermas hasta la altura de la primer contracuneta, cada berma se representó con las dimensiones de 5 metros de altura por 15 metros de ancho como se muestra en la figura 20.

Una berma es un corte de un talud en forma de un escalón, la cual tiene por objeto retirar material de un corte para reducir los esfuerzos generados debido al peso del suelo.

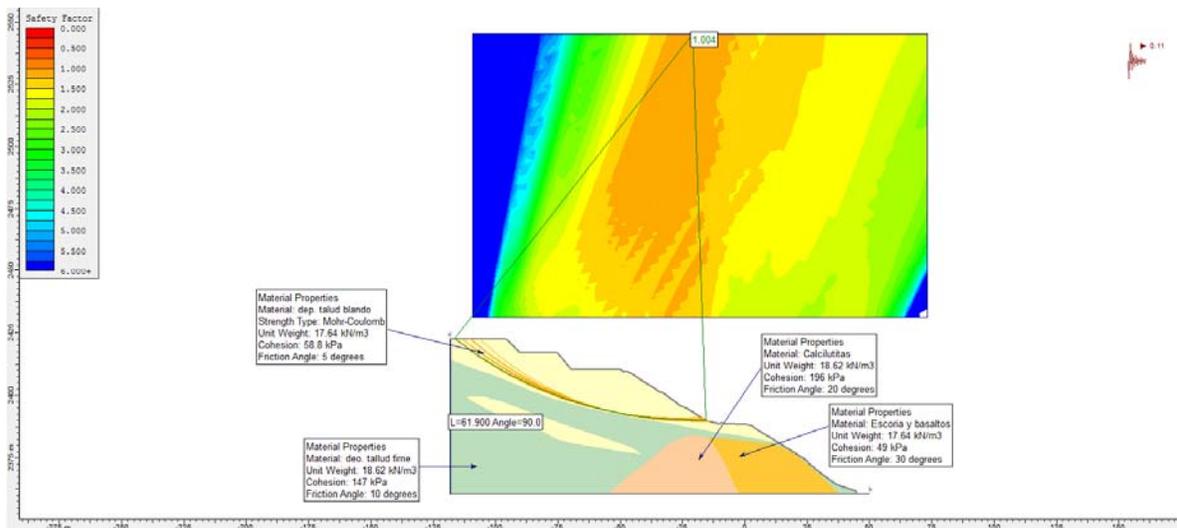
A continuación se muestra en la figura 19, las tres bermas propuestas.



**Figura 19.** Sección representativa del km 227+380 con proyección de las tres bermas y el área de suelo a retirar y realizando un tendido con una inclinación en los taludes formados en cada berma de 1:1, la proyección de cambio de geometría del talud por retiro de material se realizó hasta la contracuneta, en la parte superior del talud se aprecia sombreado el material a retirar.



**Figura 20.** Resultados de los análisis de estabilidad en el corte del km 227+380, considerando la proyección de 3 bermas, por debajo de la parte más alta hasta la contracuneta existente, el factor de seguridad resultó de 1.352.



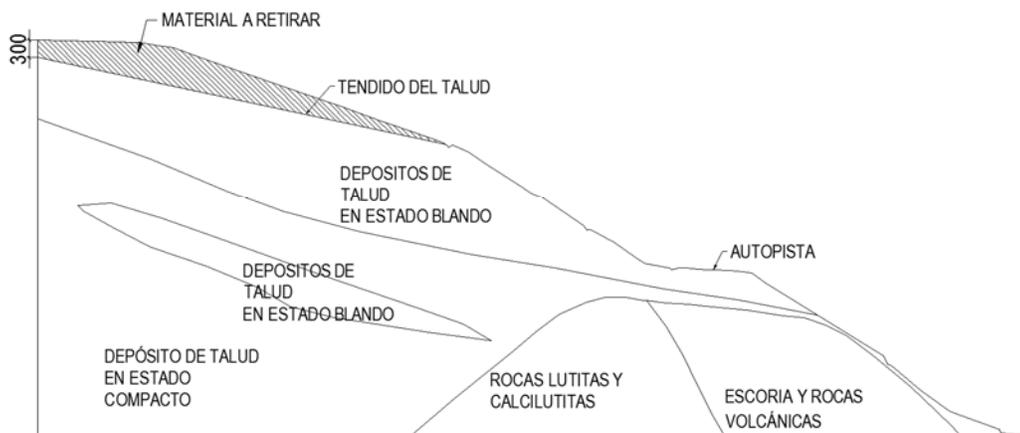
**Figura 21.** Resultados de los análisis de estabilidad en el corte del km 227+380, considerando la proyección de 3 bermas, por debajo de la parte más alta hasta la primer contracuneta existente, considerando un factor sísmico de 0.11, el factor de seguridad resultó de 1.004.



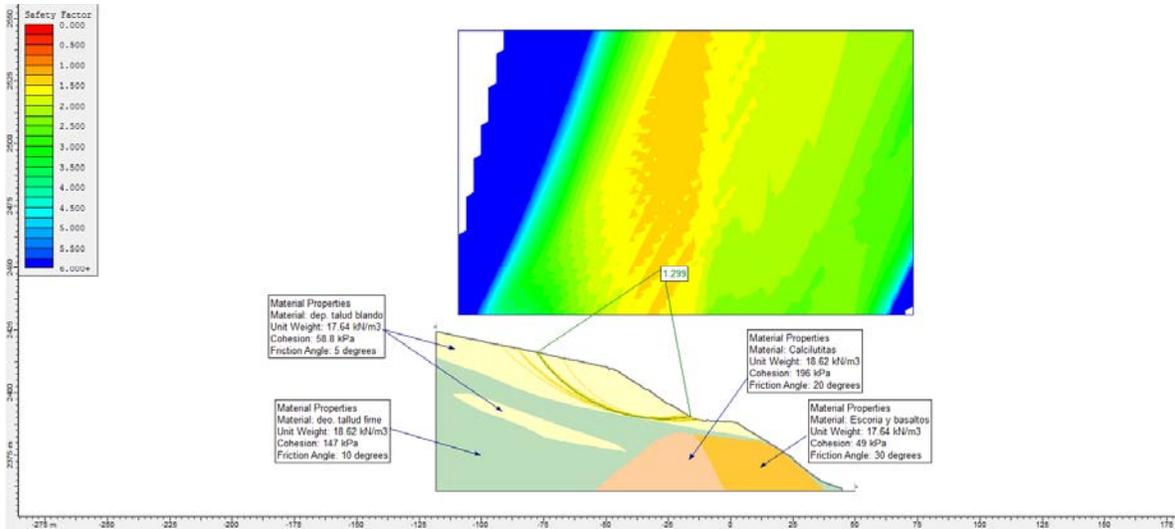
### 5.3 Alternativa 3

Como una tercera opción para solucionar el problema de estabilidad del corte se analizó la sección del talud con un tendido o cambio de pendiente como se muestra en la figura 22, los resultados de análisis se presentan en la figura 23 en condiciones estáticas, de igual forma se analizó las condiciones dinámicas con respecto a un factor sísmico como se muestra en la figura 24.

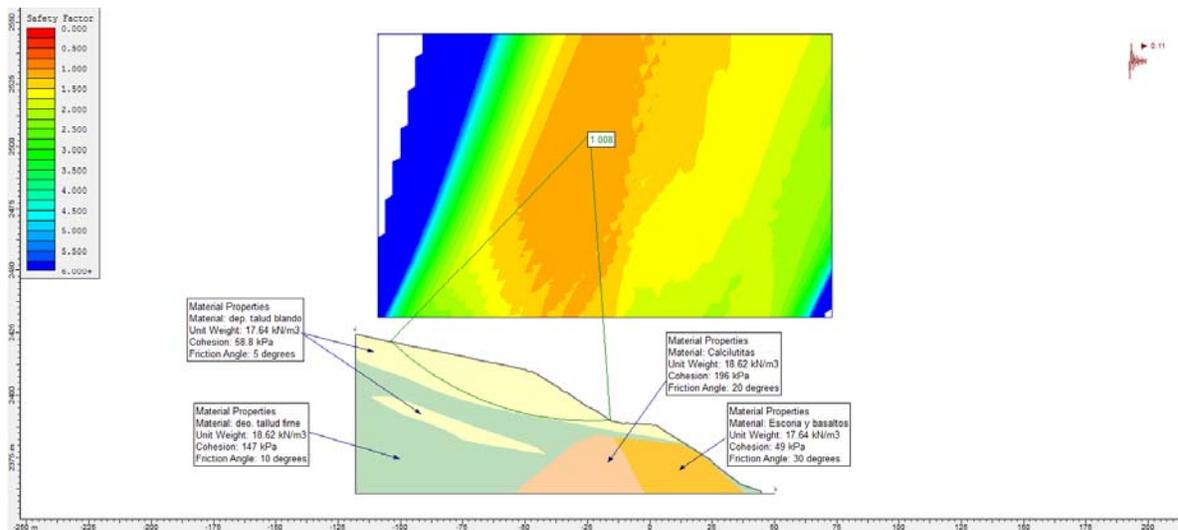
El tendido propuesto al corte, consiste en retirar una cuña de suelo con una dimensión de 3 metros en la parte superior y reduciendo su dimensión a cero en la parte inferior cerca del hombro del talud que coincide con la ubicación de la contracuneta, esto con el objetivo de reducir los esfuerzos generados por peso propio del suelo, a continuación se muestra en la figura 6 una representación de la solución recomendada.



**Figura 22.** Sección representativa del km 227+380, considerando que se tiende el talud desde 3 m por debajo de la parte más alta hasta la primer contracuneta.



**Figura 23.** Resultados de los análisis de estabilidad en el corte del km 227+380, considerando que se tiende el talud desde 3 m por debajo de la parte más alta hasta la contracuneta, el factor de seguridad resultó de 1.299.



**Figura 24.** Resultados de los análisis de estabilidad en condiciones sísmicas en el corte del km 227+380, considerando un factor sísmico de 1.1, proyectando que se tiende el talud desde 3 m por debajo de la parte más alta hasta la primer contracuneta, el factor de seguridad resultó ligeramente mayor de 1.008.



#### 5.4 resultados de análisis y selección de alternativa

Con los resultados obtenidos se demuestra que se mejora sustancialmente la estabilidad del corte tendiéndolo. Cabe señalar que el factor de seguridad específico del talud podría ser mayor que los calculados, puesto que se ha partido de un retroanálisis suponiendo que el talud tiene un factor de seguridad de 1.0 y por lo tanto esta en falla incipiente, lo cual es conservador.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el cálculo del factor de seguridad partiendo de propiedades del suelo obtenidas mediante un retroanálisis.

Condición	Factor de seguridad	Factor de seguridad con influencia sísmica
Talud en estado actual	1.0	
Corte de 5 m	1.121	0.868
Sistema de bermas	1.352	1.008
Corte de 3 m y tendido	1.299	1.008

**Tabla 3.** Resultado de análisis de falla circular considerando análisis estáticos y dinámicos.



## 6 CONCLUSIONES

El diagnóstico del corte en el cuerpo A del talud de los lados izquierdo y derecho entre los km 227+380 al 227+500 de la autopista Acatzingo – Ciudad Mendoza contempla los siguientes puntos.

- a) En el sitio se aprecian grietas y deslizamientos menores que son indicios de un bajo factor de seguridad del talud. Existen también importantes zonas que demuestran fallas de talud con anterioridad, sobretodo en la zona Este del corte.
- b) El talud se desarrolla principalmente en suelos residuales y depósitos de talud, provenientes geológicamente de lutitas, calizas y calcilitas intemperizadas.
- c) Se realizaron tres sondeos, el sondeo SM-1, se ubicó en la parte central de la ladera izquierda, se llevó hasta 50 m de profundidad explorándose solamente suelos residuales. El sondeo SM-2 se llevó hasta 30 m explorándose solamente también suelos residuales. El sondeo SM-3 se realizó a un lado del acotamiento de la carretera en el pie de la ladera, desde la superficie hasta 4.3 m se exploraron suelos, bajo ellos se exploraron rocas sedimentarias mediante barril NQ.
- d) Se estableció la disposición estratigráfica mediante la interpretación de los levantamientos geológicos, los resultados de los sondeos y las pruebas de laboratorio. Mediante retroanálisis se determinaron los parámetros que establecen el modelo geomecánico.



- e) Se llevaron a cabo análisis de estabilidad proyectando un corte y retiro de material de 5 metros de espesor en la alternativa 1, un sistema de 3 bermas como segunda alternativa de solución y en la tercer alternativa se consideró tender el talud retirando 3 metros de espesor de suelo, se valoraron sus resultados realizando análisis de factores de seguridad, el resultado de los análisis de factores de seguridad se muestran a continuación:

Condición	Factor de seguridad	Factor de seguridad con influencia sísmica
Talud en estado actual	1.0	
Corte de 5 m	1.121	0.868
Sistema de bermas	1.352	1.008
Corte de 3 m y tendido	1.299	1.008

### 6.1 Solución propuesta

Consiste en recortar la corona del talud 3 m medidos verticalmente tal como se indica en el plano del proyecto ejecutivo, este corte se extenderá desde la contracuneta hasta el contorno delimitado por la curva de nivel 2423.00.

En el plano del proyecto ejecutivo se muestra con una línea punteada como está actualmente el terreno natural y con una línea continua la configuración que tomara el talud con el corte realizado en base a lo recomendado.



En la región donde se localiza la falla local previa ubicada entre el km 227+410 y el km 227+440, presenta una topografía irregular para lo cual se hará una reconstrucción que consiste en hacer un afine del talud dando una configuración uniforme mejorando tanto condiciones de estabilidad como apariencia. Tomando una sección de este talud el afine se hará desde el nivel localizado al pie del talud finalizara después del hombro del mismo.

#### 6.1.1 Obras de drenaje

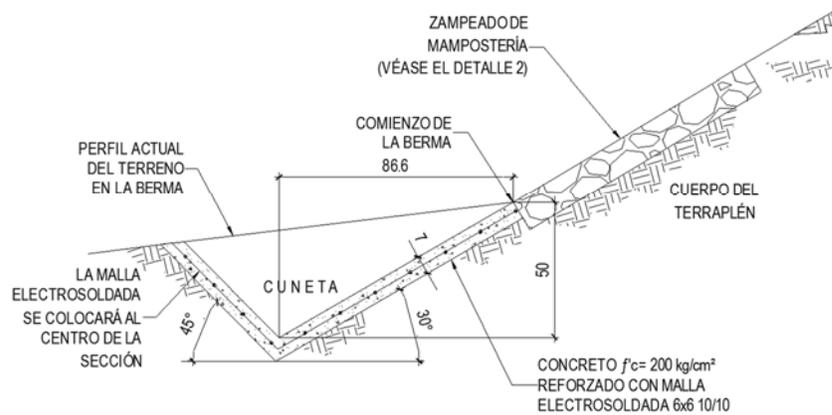
El sistema de cunetas y contracunetas evita el flujo de agua sobre la superficie del talud impidiendo la erosión de la superficie, la infiltración del agua en el cuerpo del talud que implica el desarrollo de presiones de poro y evitando el desarrollo de fuerzas de filtración demeritan la estabilidad del talud, por ello es importante interceptar el agua que fluye a través del cuerpo guiándola hasta un cauce o zona donde no ocasione un daño o presente un riesgo al tránsito vehicular en este caso.

Tomando en cuenta la importancia de un sistema de captación de agua una vez realizado el corte propuesto y tendido del talud ubicado del km 227+340 al km 227+410 y el perfilado del talud previamente caído ubicado del km 227+410 al km 227+440, se realizará la colocación del sistema de drenaje a base de cunetas y contracunetas que permitirán mantener las nuevas condiciones, interceptando el agua que corre sobre la superficie del talud.

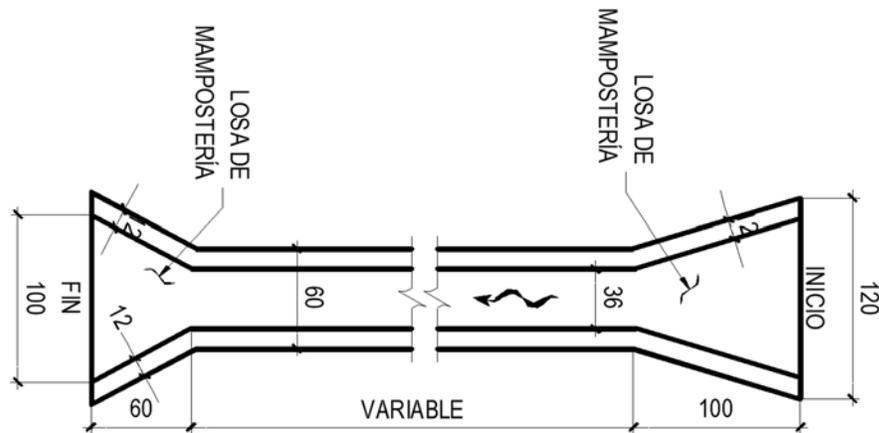


Las cunetas seguirán la configuración del terreno más favorable para un drenaje adecuado en los cuales se pondrán reductores de velocidad en las pendientes pronunciadas.

A continuación se, muestran los detalles de las obras de drenaje a realizar para el proyecto ejecutivo:



**Figura 25.** Detalle de contracuneta de proyecto para desalojar agua pluvial.



**Figura 26.** Detalle de lavadero de proyecto.

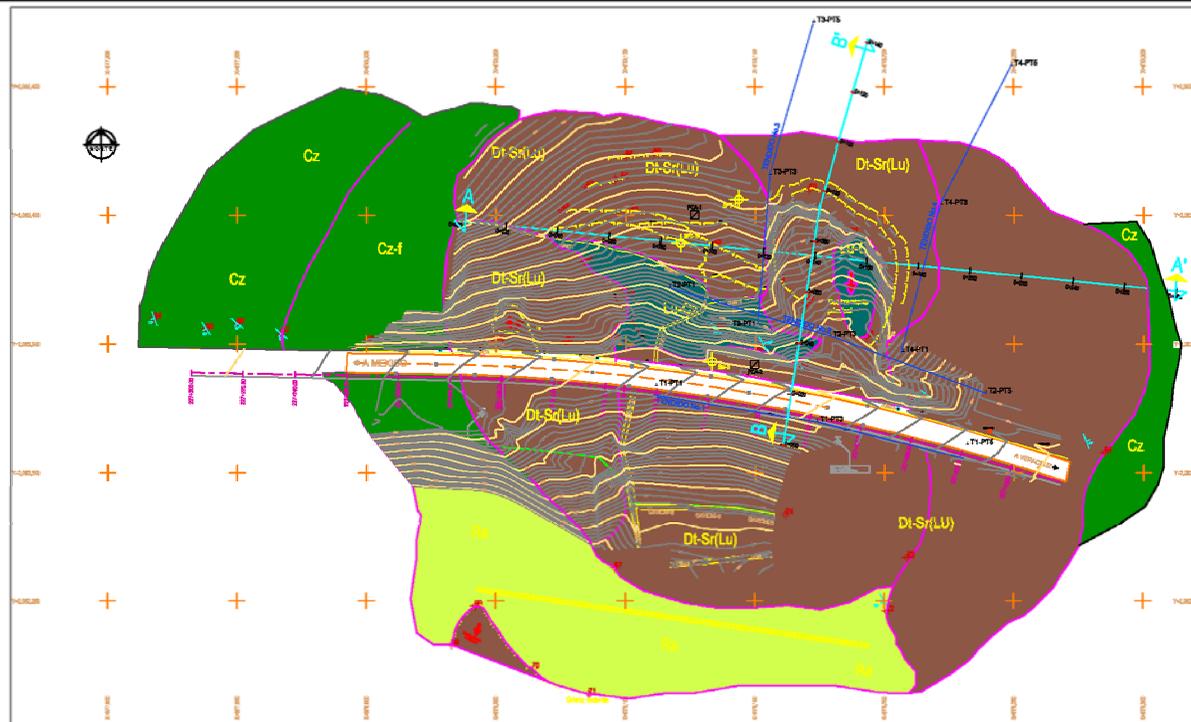


## REFERENCIAS

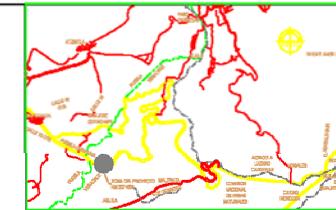
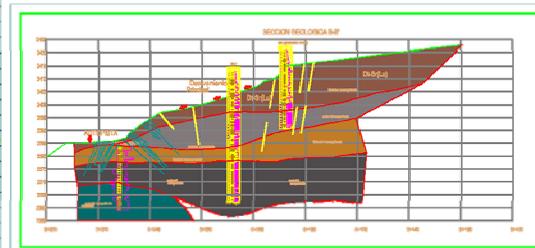
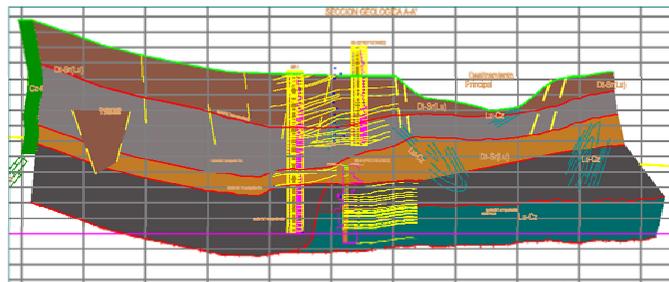
1. Comisión Federal de Electricidad, (2008), **Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo**, México.
2. Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso, (1980) **Mecánica de Suelos**, Tomo III, Editorial Limusa.
3. González L., Ferrer M., Ortuño L. & Oteo C,. (2002). Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Educación, S.A. p. 326.
4. ASTM International (2014). Norma D1586 – 11, Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils.



## ANEXOS



PLANTA



CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

SIMBOLOGIA

- Población artificial y built-up.
- Rocas calizas de color rojo, altamente delgadas y fragmentadas con intercalación de lutitas.
- Rocas calizas muy fracturadas.
- Lutitas de color gris y amarillo en capas muy delgadas con intercalación de lutitas y margas.
- Lutitas de color gris y amarillo en capas muy delgadas con intercalación de lutitas y margas.
- Depósito de fango y fango mediano producido de la alteración de la roca subyacente. Cuñeteo indica rasos regionales y rasos locales.
- Contacto geológico.
- Contacto geológico fallado.
- Línea o línea de desplazamiento.
- Tendido geológico.
- Desplazamiento perfilado.
- Carretera.
- Vías de ferrocarril.
- Zanja de riego y represa.
- Punto geológico en campo posicionado con GPS.
- Sondeo exploratorio.
- Pozo o shaft abierto.
- Contorno.

Nota:

1. Las alturas de los puntos en metros se obtienen restando el valor de la cotación del punto.
2. Contorno de 10 metros de altura y 5 metros de ancho.
3. Contorno de 10 metros.



NO.	DESCRIPCIÓN	FECHA	OTRO
<b>ESTUDIO Y PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN DEL TALUDES DE CORTES GEOLOGICO</b>			
AUTORES ANTONIO AGUIRRE	TÍTULO	DE 2018	
REVIS. INGENIERO	FORMADO EN	INGENIERO (C.I.)	

