

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



**TESIS**

**“ANÁLISIS GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL MÉTODO  
RMR, DE UN MACIZO ROCOSO UBICADO EN EL KM 40  
DE LA CARRETERA LINARES – ITURBIDE”**

**PRESENTA**

**MAGDALENY GARZA PÉREZ**

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

**NOVIEMBRE, 2017**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA**



LA TESIS

**ANÁLISIS GEOMEcÁNICO UTILIZANDO EL MÉTODO RMR, DE UN  
MACIZO ROCOSO UBICADO EN EL KM 40 DE LA CARRETERA  
LINARES – ITURBIDE**

ELABORADA POR  
**MAGDALENY GARZA PÉREZ**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL  
GRADO DE **MAESTRÍA EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Vo. Bo.

DIRECTOR DE TITULACIÓN

---

**M.C. EFRAÍN ALVA NIÑO**

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

NOVIEMBRE 2017



# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA



LA TESIS

### ANÁLISIS GEOMECÁNICO UTILIZANDO EL MÉTODO RMR, DE UN MACIZO ROCOSO UBICADO EN EL KM 40 DE LA CARRETERA LINARES – ITURBIDE

ELABORADA POR

**MAGDALENY GARZA PÉREZ**

HA SIDO ACEPTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL  
GRADO DE **MAESTRO EN CIENCIAS GEOLÓGICAS**

Vo. Bo.

COMITÉ DE TITULACIÓN

---

M.C. EFRAÍN ALVA NIÑO

---

DR. JOSÉ ROSBEL CHAPA GUERRERO

---

M.C. ANDRÉS RAMOS LEDEZMA

LINARES, NUEVO LEÓN, MÉXICO

NOVIEMBRE 2017

Por este medio declaro bajo propuesta que el presente trabajo ha sido realizado de manera personal, bajo el apoyo y recomendaciones del Comité de Titulación, utilizando únicamente los medios y procedimientos descritos en el mismo.

Magdaleny Garza Pérez

Noviembre, 2017

*A mis padres **Eliud** y **Raquel**, que lucharon siempre para sacarme adelante, aunque todo el entorno pintase de una manera negativa, nunca se rindieron y esto es para ustedes por ese esfuerzo tan grande.*

## Agradecimientos

En primera instancia a Dios por guiar me en cada paso y permitirme llegar hasta aquí.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León en especial a la Facultad de Ciencias de la Tierra por haberme permitido formarme académicamente hasta el día de hoy.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por brindar el apoyo económico durante estos dos años que fue muy bien aprovechado.

A mi comité de asesores por su apoyo y correcciones en el presente trabajo, que con su ayuda se pudo llegar a finalizar esta tesis, a mi titular M.C Efraín Alva Niño, y mis coasesores M.C Andrés Ramos Ledezma y Dr. José Rosbel Chapa Guerrero.

Al Dr. Fernando Velasco por todo el apoyo que brindó así como el brindar la motivación necesaria para hacer las cosas mejor.

A todo el personal docente y administrativo de la Facultad de Ciencias de la Tierra.

Familia muchísimas gracias por darme el apoyo en los momentos necesarios y por aportar su granito de arena, gracias; Tíos, Ramiro, Mario, Guillermo, Betty, a mis abuelos y a mi hermana Belinda, porque sé que esto es motivo de orgullo para ustedes, ¡los quiero!

A Jorge, Adrián, Cesar y Manuel por toda la paciencia y apoyo que me brindaron durante la realización de este proyecto.

A todos mis compañeros que me apoyaron tanto en campo como en el laboratorio, muchas gracias por su tiempo, Murillo, Chava, Ángelo, Laura, Fanny, Diego, Memo, Gil y Chuy.

Carlos, gracias por todo, no tengo las palabras correctas para agradecer el apoyo incondicional que me has brindado siempre, en especial por hacer a un lado tus pendientes y resolver mis dudas. Jovany te debo mucho, gracias por estar siempre con la mejor disposición de apoyarme.

A todos mis compañeros y amigos de posgrado por hacer de estos dos años una excelente estancia en la facultad, Margil, Ana Julia, Miriam, Desi, Ana Isabel, Christian, Merlo, Chucho, Meme, Xavi, Raúl, Panny, Simón y Sahid.

A mis amigos por sus buenos deseos siempre, Maury, Erika, Flor, Andrés, Caro, Paty y Eliud.

A ti **Gerardo** por ser un gran apoyo siempre junto con toda tu familia, pero en especial a lo largo de este trabajo, por tener la paciencia necesaria, por apoyar los altos y bajos que se me presentaron durante estos dos años y darme el aliento de siempre seguir adelante.

**¡GRACIAS POR TODO!**

# Contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Capítulo I .....</b>	<b>1</b>
<b>    1.- Generalidades .....</b>	<b>1</b>
<b>        1.1 Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>        1.2 Localización.....</b>	<b>3</b>
<b>        1.3 Hipótesis.....</b>	<b>4</b>
<b>        1.4 Objetivo.....</b>	<b>4</b>
<b>        1.5 Metodología.....</b>	<b>5</b>
<b>        1.6 Antecedentes.....</b>	<b>8</b>
<b>Capítulo II .....</b>	<b>10</b>
<b>    2.- Geología.....</b>	<b>10</b>
<b>        2.1 Marco geológico regional.....</b>	<b>10</b>
<b>        2.2 Marco geológico local.....</b>	<b>13</b>
<b>Capítulo III .....</b>	<b>20</b>
<b>    3.-Métodos geomecánicos .....</b>	<b>20</b>
<b>        3.1 Caracterización del macizo rocoso .....</b>	<b>20</b>
<b>            3.1.1 Clasificación geomecánica RMR .....</b>	<b>21</b>
<b>            3.1.2 Clasificación de Índice Q .....</b>	<b>26</b>
<b>        3.2 Cálculo del RMR del macizo rocoso.....</b>	<b>30</b>
<b>        3.3 Cálculo del índice Q.....</b>	<b>35</b>
<b>Capítulo IV.....</b>	<b>37</b>
<b>    4.- Análisis cinemático .....</b>	<b>37</b>
<b>        4.1 Introducción .....</b>	<b>37</b>

<b>4.2 Círculo de Mohr .....</b>	<b>37</b>
<b>4.3 Redes estereográficas .....</b>	<b>38</b>
<b>4.4 Deslizamientos .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4.1 Introducción .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4.2 Clasificación de movimientos.....</b>	<b>48</b>
<b>4.5 Análisis de estabilidad.....</b>	<b>53</b>
<b>Capítulo V.....</b>	<b>69</b>
<b>5.-Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>69</b>
<b>Capítulo VI.....</b>	<b>71</b>
<b>6.-Bibliografía .....</b>	<b>71</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>77</b>

Figura 1.- Mapa conceptual que resume la definición de ingeniería geológica según González de Vallejo et al., (2002) .....	1
Figura 2-. Ubicación de los 4 afloramientos (estaciones) en el área de estudio siendo la estación 2 la de más relevancia .....	3
Figura 3-. Formatos de campo normalizados para la obtención de datos geomecánicos de campo propuestos por Romana <i>et al.</i> ,(2003) (Ver anexo IV). ....	6
Figura 4.- Procedimiento para la obtención de núcleos. A) Proceso de obtención de núcleos, B) Núcleos con relación 2:1, C) Perfeccionamiento de las bases del núcleo. ....	7
Figura 5.-Porción de la Columna estratigráfica de la SMO (tomado y modificado de Michalzik, 1988). ....	11
Figura 6.-Geología estructural de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz de Antuñano et. al., 2000). ....	13
Figura 7.- Se muestra las intercalaciones de lutita con caliza de la Formación Agua Nueva.....	14
Figura 8.- Estilos principales de diaclasado (tomado y modificado de Twiss R. y Moores E 1973).....	16
Figura 9.-Clasificación de diaclasas de acuerdo a su geometría (tomado de <a href="http://slideplayer.es/slide/3274210/">http://slideplayer.es/slide/3274210/</a> ) .....	16
Figura 10.- Principales sistemas de diaclasas (tomado de <a href="http://slideplayer.es/slide/3274210/">http://slideplayer.es/slide/3274210/</a> ) .....	17
Figura 11.- Red estereográfica con la concentración de polos de los datos estructurales de estratificación de las cuatro estaciones así como los círculos máximos de estas mismas. ....	17
Figura 12.- Estación 1: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha.....	18
Figura 13.- Estación 2: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha.....	18

Figura 14.- Estación 3: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha.....	19
Figura 15.- Estación 4.- Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha.....	19
Figura 16.- Gráfico esfuerzo deformacion de las muestras analizadas .....	31
Figura 17.- Esclerómetro o Martillo de Schmidt marca Proceq. ....	31
Figura 18.- Tomada y modificada de <a href="https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OrginalSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf">https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OrginalSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf</a> .....	32
Figura 19.- Circulo de Mohr.....	38
Figura 20.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la primera estación con relación al círculo envolvente (circulo amarillo) para encontrar los planos de debilitamiento.....	39
Figura 21.- Red estereográfica que representa la estratificación presente en el área de estudio.....	40
Figura 22.- Dato estructural del corte de talud de la estación 2 .....	40
Figura 23.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la primera estación.....	42
Figura 24.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la segunda estación.....	42
Figura 25.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la tercera estación.....	43
Figura 26.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la cuarta estación.....	43
Figura 27.- Nomenclatura de las partes de un talud (tomada de Suarez Díaz 1998) .....	45
Figura 28.- Nomenclatura de las partes de un deslizamiento (tomada de Suarez Díaz 1998). .....	47

Figura 29.-Clasificación de movimientos (modificado de González de Vallejo et al., 2002) .....	48
Figura 30.- Ejemplo de un movimiento circular (modificado de González de Vallejo et al., 2002) .....	49
Figura 31.- .-Ejemplo de deslizamientos de tipo flujo (modificado de Corominas y García Yagüe, 1997). ....	50
Figura 32.- Ejemplificación de un caído (modificada de Suarez Díaz 1998). ....	51
Figura 33.- Proceso de falla por volcamiento (tomada y modificada de Suarez Díaz 1998). ....	52
Figura 34.- Ejemplos de desplazamientos laterales (modificado de Corominas y García Yagüe, 1997). ....	53
Figura 35.- Representación estereográfica de una rotura plana en una discontinuidad en relación con la orientación del talud ( tomado y modificado de González de Vallejo et al., 2002).....	55
Figura 36.- Perfil de la estación número 2 representativo para el talud de estudio, el cual es dividido en 4 dovelas para obtener el factor de seguridad, las líneas continuas dentro del perfil señalan el echado general en relación con el corte del talud.....	60
Figura 37.- Esquema de una dovela de acuerdo al método de Fellenius ( tomado y modificado de Sanhueza Plaza. y Rodríguez Cifuentes, 2013).....	61
Figura 38.- Perfil de la estación número 3, el cual es dividido en 4 dovelas para obtener el factor de seguridad, las líneas continuas dentro del perfil señalan el echado general en relación con el corte del talud. ....	66

Tabla 1.- Clasificación del RMR (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	22
Tabla 2.- Índice de calidad de la roca (tomado de González de Vallejo et al., 2002)	
.....	23
Tabla 3.- Valores para el espaciado de las diaclasas (tomado de González de Vallejo et al., 2002) .....	23
Tabla 4.- Valores de acuerdo a la abertura de las diaclasas (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	23
Tabla 5.- Valores de acuerdo a la presistencia de las diaclasas (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	24
Tabla 6.- Valores para la rugosidad de las diaclasas (tomado de González de Vallejo et al.,.....	24
Tabla 7.- Valores para las características de las diaclasas (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	24
Tabla 8.- Valoración de acuerdo con el tipo de relleno que presenten las discontinuidades (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	24
Tabla 9.- Valores para las características de acuerdo a la humedad (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	25
Tabla 10.- Clasificación de acuerdo con el puntaje obtenido del RMR (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	25
Tabla 11.-Características geomecánicas (tomado de González de Vallejo et al., 2002).....	25
Tabla 12.- Valores de los parámetros del índice Q (tomado de González de Vallejo et al., 2002) .....	27
Tabla 13.- Valores de los parámetros de alteración de discontinuidades del índice Q (tomado de González de Vallejo et al., 2002.....	28
Tabla 14.- Valores de los parámetros de las condiciones tensionales de la roca del índice Q (tomado de González de Vallejo et al., 2002 .....	29
Tabla 15.-Valores establecidos para el puntaje de Q (Valores de los parámetros del índice Q (tomado de González de Vallejo et al., 2002) .....	30
Tabla 16.- Ejemplo de datos obtenidos en una estación geomecánica, en campo perpendicularmente a la estratificación .....	33

Tabla 17.- Promedio obtenido de las mediciones en campo para la obtención del RQD .....	34
Tabla 18.-valores adoptados para el cálculo de factor de seguridad. ....	57
Tabla 19.- Propiedades de la roca, así como el ángulo de rozamiento del talud que se está trabajando.....	61
Tabla 20.- Datos sobre el cálculo de cada una de las dovelas.....	61
Tabla 21.- regresión de la cohesión en la cálculo de análisis de seguridad para en método de Fellenius. ....	63
Tabla 22.- valores adoptados para el cálculo de factor de seguridad .....	64
Tabla 23.- Datos sobre el cálculo de cada una de las dovelas.....	66

## Resumen

La falta de atención de los aspectos geológicos (factor condicionante) es la causa de la mayoría de los problemas geotécnicos. La ingeniería geológica es primordial para el entendimiento de los problemas geológicos con respecto a la interacción con el medio ambiente, y de esta manera es posible presentar las medidas de remediación necesarias para evitar un desastre, las cuales son tomadas en cuenta dependiendo del área con la que se esté trabajando.

El agua a manera de precipitaciones, ríos, canales, nivel freático, tuberías dañadas, etc., es uno de los factores desencadenantes de mayor incidencia en el comportamiento de los materiales (macizos rocosos y/o suelos), los procesos geológicos pueden modificar el comportamiento de los materiales incidiendo sobre el medio físico, y occasionando de esta manera problemas geotécnicos.

Para determinar las condiciones en las que se encuentra el terreno a tratar es necesario poner énfasis en ciertos aspectos, los cuales son estudiados a través de la geotecnia, en este caso la geomecánica, la cual es una disciplina encargada de estudiar tanto el comportamiento como las características mecánicas que llegan a conformar las rocas del macizo en cuestión.

Se empleó el método de clasificación geomecánica RMR (ROCK MASS RATING) propuesto por Bieniawski en los 80's que funciona como un parámetro para clasificar la calidad del macizo rocoso desde un punto de vista ingeniero geológico, para así con datos complementarios llegar a establecer los parámetros del macizo rocoso con fines de estabilidad de ladera, determinando el grado de riesgo y generando medidas necesarias para hacer frente a los posibles daños que se pudiesen generar. Una vez obtenidos estos resultados se sometieron a la comprobación sobre que la estabilidad de un macizo rocoso está relacionada directamente con la distribución y orientación de las discontinuidades, así como sus dimensiones y arreglos de sus bloques, entre otros factores, y ver las causas por las cuales el talud se encuentra de manera metaestable.

## **Abstract**

The lack of attention of geological factors (conditioning factor) is the cause of most geotechnical problems. Geological engineering is essential for the understanding of the geological problems with respect to the interaction with the environment, in this way it is possible to present the remediation measures necessary to avoid a disaster, which are taken into consider depending on the area with which is working.

On the other hand, water (precipitation, rivers, channels, water table, damaged pipes, etc.) is one of the most important factors in the behavior of materials (rock masses and / or soils), geological processes modify the performance of the materials affecting the physical environment, and thus causing geotechnical problems.

To determine the conditions in which the land is to be treated, it is necessary to emphasize certain aspects which are studied through geotechnics, in this case geomechanics, which is a discipline in charge of studying both behavior and characteristics mechanical that come to form the rocks of the massif in question.

The RMR (ROCK MASS RATING) method proposed by Bieniawski in the 80's will be used as a parameter to classify the quality of the rock mass from a geological engineer point of view, so with complementary data to establish the parameters of the rocky mass for the purpose of slope stability, determining the degree of risk and generating necessary measures to deal with possible damages that could be generated. Once the results are obtained, they will be checked to see if the stability of a rock mass is directly related to the distribution and orientation of the discontinuities, as well as its dimensions and arches, among other factors, and to see the causes of the discontinuities, which the slope is metastable.

# Capítulo I

## 1.- Generalidades

### 1.1 Introducción

La Ingeniería Geológica (Figura 1) como definición hace referencia al estudio aplicado y solución de los problemas geológicos con respecto a la interacción que puedan tener con el medio que lo rodea, ya sea de manera directa o indirecta (González de Vallejo *et al.*, 2002). Esta ciencia tiene como fin el dar a conocer los factores geológicos que pueden ser significativos en el comportamiento mecánico de las masas estudiadas, esto para que puedan ser tomados en cuenta para ofrecer soluciones o evitar en algún momento cualquier riesgo geológico que se presente.

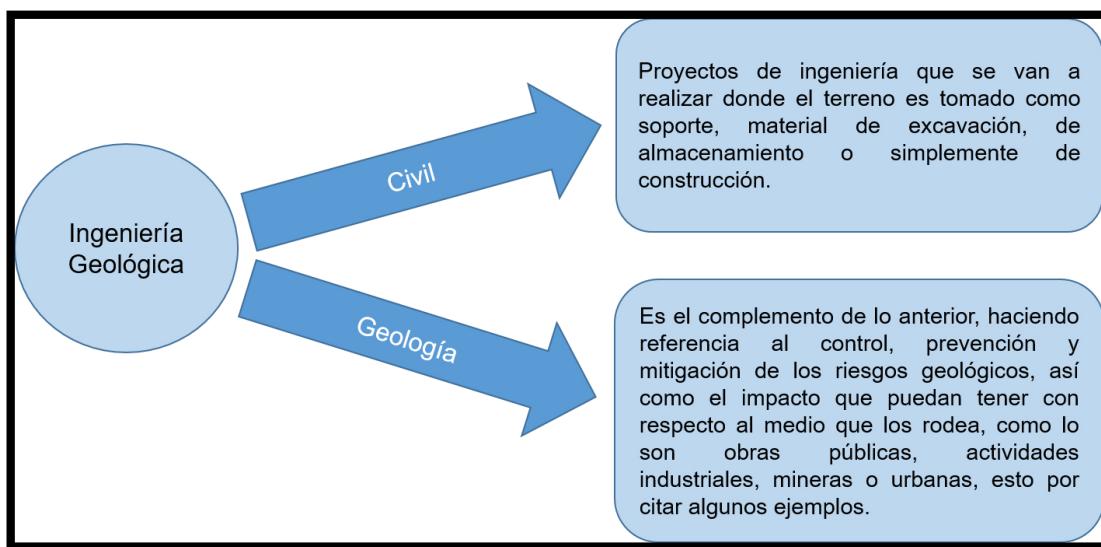


Figura 1.- Mapa conceptual que resume la definición de ingeniería geológica según González de Vallejo *et al.*, (2002).

Las clasificaciones geomecánicas se utilizan en estudios geotécnicos con el objetivo de determinar y evaluar de manera cuantitativa y cualitativa la calidad de los terrenos a tratar, con el fin de definir aspectos de construcción, diseño, soporte y estabilidad.

Estas clasificaciones se han convertido en una herramienta habitual para el reconocimiento de los macizos rocosos en los que van a construirse obras de ingeniería.

En los criterios de diseño de un talud su geometría estará definida por la interacción de la obra que se va a realizar, siendo imprescindible el uso de la mecánica de suelos y la mecánica de rocas para poder optimizar su diseño y en el caso de que sea inevitable la estabilidad “natural” aplicar las medidas necesarias de contención y diseño. Las más utilizadas son la RMR y la Q, consideradas para determinar el grado de sostenimiento.

La clasificación de Bieniawski el RMR (ROCK MASS RATING) es un método para llegar a un resultado como evaluación de las propiedades del macizo rocoso, así como la clasificación Q de Barton clasifica los macizos rocosos y permite estimar parámetros geotécnicos del macizo.

El resultado del movimiento de un talud, por lo general, tiende a ser catastrófico, por la pérdida de muchas vidas, así como bienes materiales.

## 1.2 Localización

El área de estudio se localiza en la carretera No. 58, sobre el km 40 dentro del municipio de Iturbide Nuevo León. En esta zona se puede observar un área muy despejada con escasa vegetación, denotando bloques muy fracturados (Figura 2). El área fue dividida en 4 estaciones tomando la primera en el sentido de la dirección Linares-Iturbide.

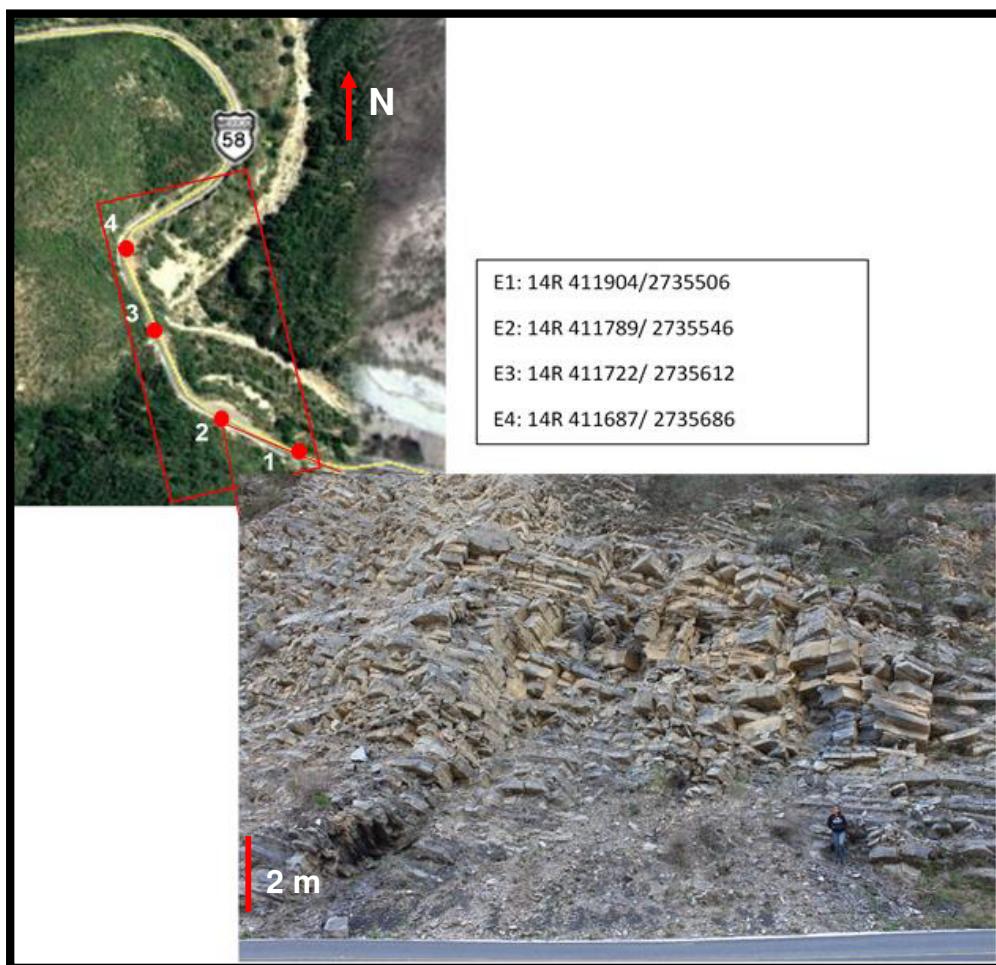


Figura 2-. Ubicación de los 4 afloramientos (estaciones) en el área de estudio siendo la estación 2 la de más relevancia

### **1.3 Hipótesis**

La estabilidad de un macizo rocoso está relacionada directamente con la distribución y orientación de las discontinuidades (estratificación, diaclasas, fallas, etc.) así como sus dimensiones, arreglos de sus bloques, entre otros factores que condicionan en teoría que este macizo tienda a moverse (deslizarse). Una vez tomados en cuenta los condicionantes antes mencionados, mediante estudios previos, se demostrará por qué aun contando con las condiciones para su deslizamiento este se mantiene de una manera metaestable.

### **1.4 Objetivo**

Establecer los parámetros del macizo rocoso con fines de estabilidad de ladera, mediante la clasificación del RMR en complemento de las pruebas de campo en conjunto con las de laboratorio, determinando el grado de riesgo y generando medidas necesarias para hacer frente a los posibles daños que se pudiesen generar.

## 1.5 Metodología

Primeramente se realizó una consulta bibliográfica para establecer los sistemas o métodos más recientes de clasificación de estabilidad, haciendo una síntesis de las revisiones bibliográficas para pasar a seleccionar la metodología a utilizar en el campo y laboratorio, y simultáneamente hacer un mapeo geológico y geotécnico a diferentes escalas, realizar las respectivas pruebas de campo y laboratorio, el análisis cinemático de los taludes y de ésta manera hacer las propuestas de medidas de prevención y saneamiento y la elaboración de un mapa de riesgos geológicos.

Se inició con la búsqueda comparativa de diversos métodos geomecánicos encontrando como complemento el Índice Q con el RMR. Propuesto inicialmente para determinar la calidad de un macizo rocoso en túneles, adaptado posteriormente para taludes, ambos métodos se complementan ya que incluyen un número suficiente de datos para evaluar los factores que afectan en la estabilidad. Mientras Bieniawsk en 1989 procura darle más importancia a la orientación que tienen las discontinuidades, Barton *et al.*, (2011) no la incluyen y dan mayor relevancia a las propiedades de los sistemas de fracturas más desfavorables, tomando como parámetros de evaluación el tamaño de los bloques, la resistencia al esfuerzo cortante entre bloques y los esfuerzos activos. Se tomó un formato de campo propuesto por Romana *et al.*( 2003) para llegar a su obtención de estos métodos de una manera sencilla (Figura 3).

En campo se recolectaron más de 200 datos estructurales para determinar el análisis cinemático, así como muestras de roca del talud, para pasar a obtener testigos en el laboratorio con medidas de 10 cm de longitud y 5 cm de ancho (Figura 4), para después ser llevadas al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil para ser falladas en la máquina Instron 600DX, la cual es para obtener la resistencia a la compresión simple de la roca (compresión uniaxial),con la finalidad de obtener una combinación de diferentes ensayos para llegar a proponer las medidas de prevención para el área de trabajo.

CAPÍTULO 1

GARZA PÉREZ, M. 2017

Figura 3-. Formatos de campo normalizados para la obtención de datos geomecánicos de campo propuestos por Romana *et al.*,(2003) (Ver anexo IV).

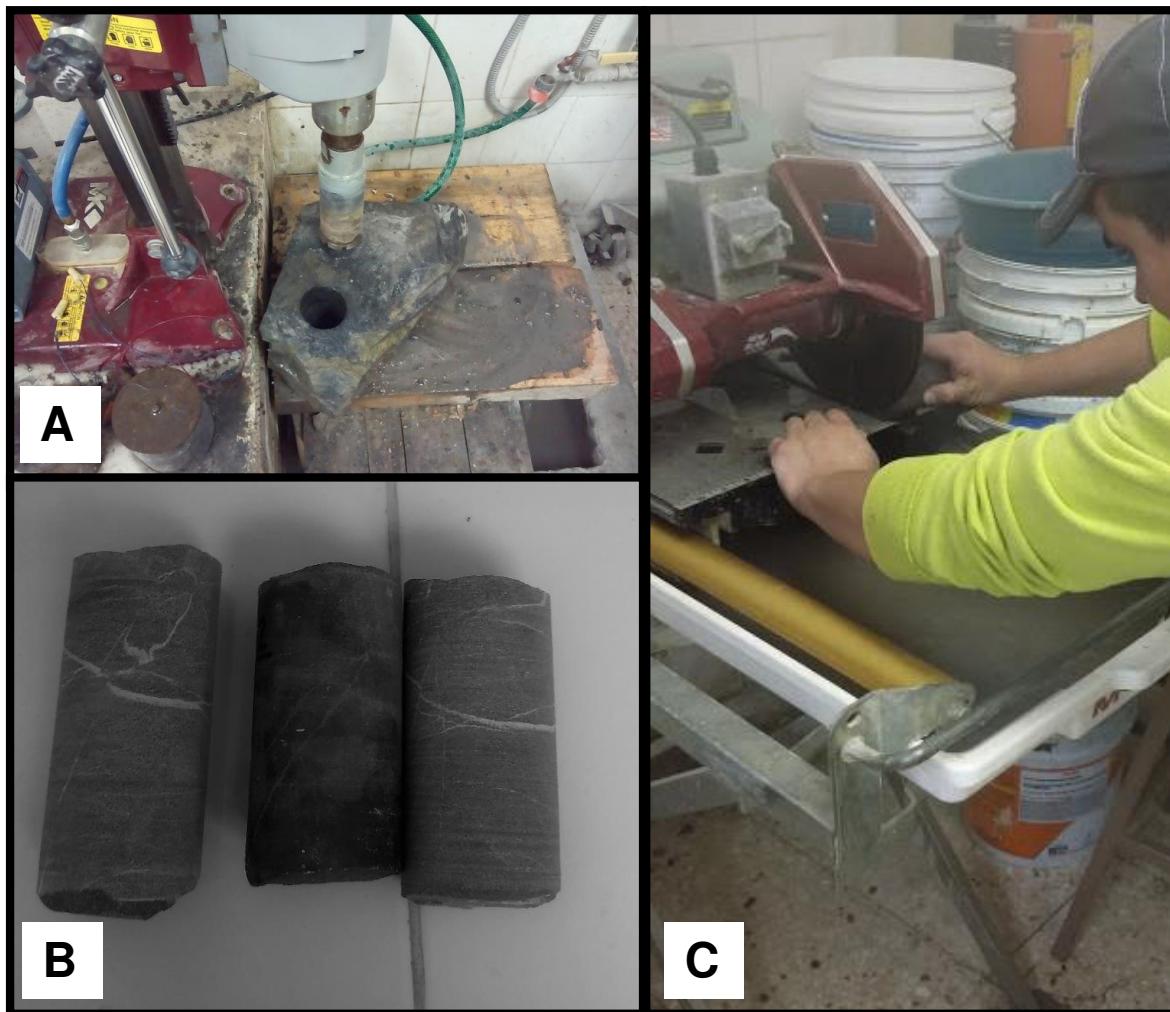


Figura 4.- Procedimiento para la obtención de núcleos. A) Proceso de obtención de núcleos, B) Núcleos con relación 2:1, C) Perfeccionamiento de las bases del núcleo.

## 1.6 Antecedentes

Se han elaborado a lo largo de los años descripciones de parte de la Sierra Madre Oriental, identificando las diferentes unidades litológicas, así como la tectónica presente en la parte NE de esta misma como lo son: Burrows (1910), Díaz T. *et al.*, (1959), Padilla y Sánchez (1978,1982,1985) Zwanziger (1979), López Ramos (1982), Michalzik (1988), Goldhammer *et al.*, (1991), Michalzik & Schumann (1994), Gray & Johnson (1995), De León Gutiérrez (1999), Chávez Cabello *et al.*, (2004), Millan Garrido (2004), Gutiérrez Alejandro (2008), Porras Vázquez (2008), Montalvo Arrieta *et al.*, (2009), Torres Ramos (2011), Chávez Cabello *et al.*, (2011) y Velasco Tapia *et al.*, (2016).

Dentro de los trabajos existentes con respecto al tema de estudio se encuentran los siguientes:

- MEDINA BARRERA (1989) realizando un trabajo sobre el análisis de seguridad y evaluación de movimientos de masas en Rayones Nuevo León.
- CHAPA GUERRERO (1993) trabajó con los movimientos en masa en taludes escarpados, así como la obtención de zonas de riesgo geológico en el área Metropolitana de Monterrey, N.L.
- ALVA NIÑO (1997) Presentó un estudio geológico-hidrológico para la región noreste de Monterrey N.L., específicamente para el Cerro de las Mitrás, Cerro del Topo y Cerro el Durazno.
- PEDRAZA RODRÍGUEZ (1997) quien habla sobre los movimientos en masa del área de Iturbide N.L. así como de su origen y consecuencia.
- SÁNCHEZ CARLÍN (2001) determinó los riegos geológicos presentes en la porción NW del Cerro de la Silla.
- CÓRDOVA JIMÉNEZ (2007) realizó una carta de diagnóstico de riesgos geológicos por inestabilidad en la saliente SE del Cerro de las Mitrás, Monterrey N.L.
- IBARRA MARTÍNEZ (2007) trabajó con riesgos geológicos en la región sureste de Monterrey N.L. (Mederos).
- GARCÍA QUINTERO (2008) trabajó riesgos geológicos en la parte norte del Cerro de las mitras en el área de Monterrey N.L.

- CHAPA ARCE et al., (2010) hicieron un estudio geólogo-geofísico para determinar los movimientos en masa y riesgos geológicos en el cañón el Huajuco, en el área Metropolitana de Monterrey N.L.
- ROJAS REYNA (2011) analizó y caracterizó la estabilidad de un talud sobre la carretera Rayones Galeana.
- SALINAS JASSO (2016) trabajó con movimientos en masa desencadenados por eventos hidrometeorológicos en el Cañón de Santa Rosa.
- CHAPA ARCE (2016) realizó un análisis de estabilidad en el Cerro de Loma Larga, así como en el de las Mitrás, revisándolos de manera cinemática.

## **Capítulo II**

### **2.- Geología**

#### **2.1 Marco geológico regional**

##### **Estratigrafía**

La Sierra Madre Oriental presenta una heterogeneidad en su complejo basal, mayormente está compuesta por esquistos y en pocos lugares aparece un basamento cristalino. La zona de edad Jurásico-Cretácico, la constituyen secuencias de clásticos, carbonatos y evaporitas de plataformas, cuencas mioclinales y al poniente, se encuentra un cinturón turbidítico con escasas huellas de volcanismo y magmatismo. La secuencia dominante en el área es de edad mesozoica y está representada por 13 unidades que van desde el Triásico hasta el Cretácico Superior (Figura 5). El paquete sedimentario que compone a la SMO fue depositado durante el desarrollo de una margen pasiva relacionada con la formación del Golfo de México. A partir del Triásico Tardío hasta el Berriásiano en el NE de México, inició la fragmentación de Pangea que condujo a la generación de fosas y pilares que fueron paulatinamente invadidos por el mar y que controlaron ampliamente las facies sedimentarias marinas a partir del Calloviano, depositándose primero gruesas secuencias de evaporitas y posteriormente rocas calcáreo-arcillosas, calcáreas y finalmente clástico-calcáreas durante la regresión marina regional disparada por el inicio de la orogenia Laramide en el norte de México (Padilla y Sánchez, 1982; Michalzik y Schumann, 1994; Goldhammer, 1999).

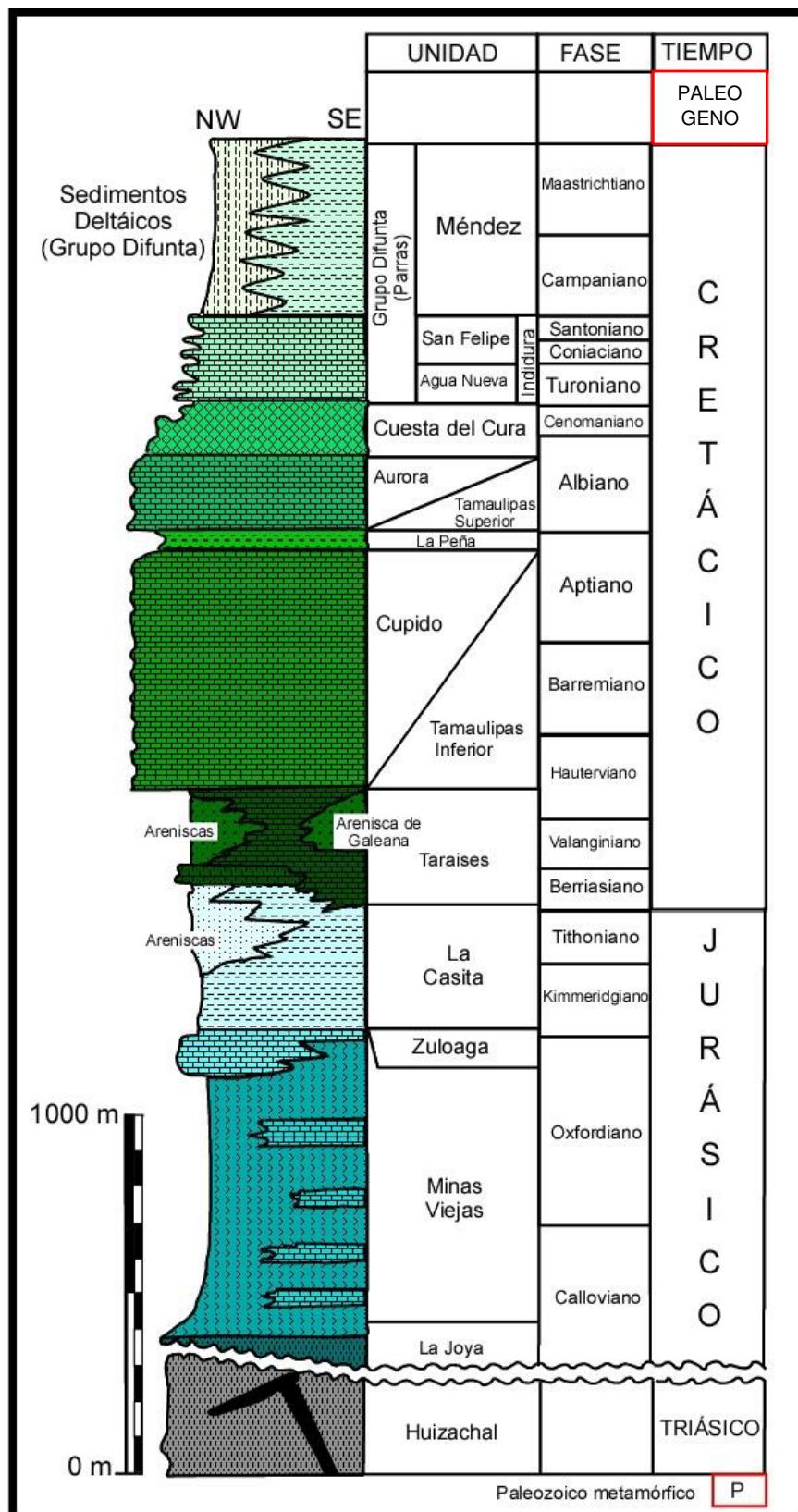


Figura 5.-Porción de la Columna estratigráfica de la SMO (tomado y modificado de Michalzik, 1988).

De acuerdo a Chávez Cabello *et al.*, (2011), los autores Eguiluz de Antuñano y Campa (1982) reconocieron cambios en las facies sedimentarias en el NE de México, para finales del Cenomaniano al Turoniano, al parecer relacionadas con un levantamiento regional; lo anterior, dio lugar a la deposición de la secuencia de carbonato de agua profunda con material arcilloso de la Formación Agua Nueva en la SMO. Posteriormente, en el Coniaciano–Santoniano, un ligero cambio en las condiciones tomó lugar y se depositaron carbonatos y lutitas de agua somera de la Formación San Felipe. Finalmente, para el Campaniano–Maastrichtiano, en una etapa sin–orogénica (orogenia Laramídica) se depositaban lutitas de la Formación Méndez, todos estos sedimentos provenientes de las áreas continentales de la parte oeste de México (Padilla y Sánchez, 1986).

El levantamiento del cinturón de la SMO ha sido interpretado como producto de un *décollement* regional y despegue de la secuencia marina del Mesozoico Superior, disparado por la acreción del Terreno Guerrero-Alisitos y la somerización del ángulo de subducción que controló la migración del magmatismo de arco del oeste de México hacia la parte interna del continente en el intervalo de tiempo entre los 80 y 40 Ma, semejante a lo que ocurrió en el SW de los Estados Unidos de Norteamérica (Coney, 1976; Coney y Reynolds, 1977; Dickinson y Snyder, 1978; Clark *et al.*, 1981); lo anterior, aceleró la regresión marina regional en el NE de México.

Las estructuras asociadas al *décollement* representan una deformación típica de cobertura culminando con el cabalgamiento de la secuencia sobre altos de basamento hacia el NE en Chihuahua, hacia el norte en el sur de Coahuila y hacia el E-NE entre Monterrey y Teziutlán, Puebla (Ye, 1997).

### **Estilos estructurales regionales**

La deformación correlativa con las orogenias Ouachita-Marathon y Apalacheana, aparece esporádicamente en el área ocupada por la Sierra Madre Oriental. Rocas del basamento cristalino formado por esquistos, gneises e intrusivos precámbricos, paleozoicos y triásicos afloran localmente, y complicado entender el papel que pudieron jugar como bloques paleotectónicos reactivados durante la extensión asociada con la apertura del Golfo de México y posteriormente, durante la deformación Laramide

(Anderson y Schmidt, 1983; Flawn *et al.*, 1961; Tardy, 1980).

Las estructuras de extensión asociadas con la apertura del Golfo de México (Figura 6), produjeron *horsts* y *grabens*, éstos, de alguna manera, controlaron la sedimentación mesozoica (Eguiluz, 1989 b; McKee *et al.*, 1990). Sin embargo, se desconoce cómo las variaciones laterales de esos paquetes sedimentarios respondieron a la deformación Laramide; tal parece que los límites de bloques preexistentes pudieron tener control estructural y trabajaron como retrofallas (inicialmente normales y posteriormente inversas), activadas durante el periodo de acortamiento laramídico.

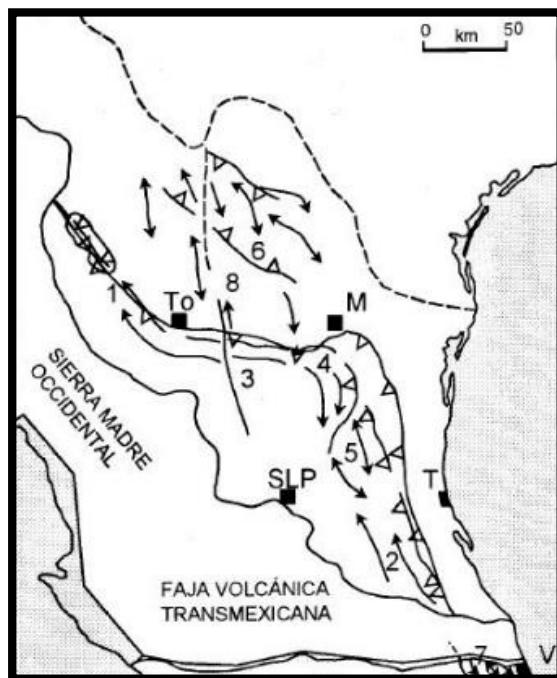


Figura 6.-Geología estructural de la Sierra Madre Oriental (Eguiluz de Antuñano *et. al.*, 2000).

## 2.2 Marco geológico local

La morfología que caracteriza a esta zona está compuesta por un conjunto de sierras alargadas y valles estrechos, el cual constituye el paisaje dominante hacia el extremo NW del lugar, en donde se integra a la Planicie Costera.

A continuación, se enumeran las Formaciones aflorantes en el entorno del área de estudio.

En el área de estudio aflora la **Formación Agua Nueva** (Figura 7), la cual es una secuencia de caliza de color gris claro (*wackestone*) con intercalaciones de lutita de color gris oscuro a verdoso, con espesores de 30-35 cm y 15 cm respectivamente. Esta Formación se encuentra entre las Formaciones Cuesta del Cura (contacto inferior) y San Felipe (contacto superior), con una orientación hacia el suroeste. Aquí la roca es mucho más competente que en la secuencia de San Felipe y las intercalaciones de lutita son más pequeñas (véanse los mapas que se encuentran en el Anexo II).



Figura 7.- Se muestra las intercalaciones de lutita con caliza de la Formación Agua Nueva

El área de estudio forma parte de una estructura tipo sinclinal con vergencia (Sinclinal Santa Rosa) cuyos flancos están inclinados más allá de la vertical (SW-NE). Mientras que las Formaciones que se encuentran adyacentes a el área de estudio son las Formaciones San Felipe y Méndez.

**Formación San Felipe:** secuencia marina con orientación SW compuesta por intercalaciones de lutita con caliza (*Wackestone* y *Mudstone*) con espesores aproximados de 20 y 15 cm respectivamente y presencia de bentonita, se encuentra entre las formaciones Agua Nueva (contacto inferior) y Méndez (contacto superior) presenta color de intemperismo café oscuro mientras que su color fresco en caliza es

gris oscuro y en la lutita es gris claro, las rocas tienen buena efervescencia con el ácido al 10%. Aquí las lutitas son más competentes a diferencia de la Formación Méndez.

**Formación Méndez:** compuesta de lutita masiva (*Mudstone*) con orientación SW, teniendo como contacto inferior a la Formación San Felipe con una foliación bien desarrollada en forma de lápiz, es una roca muy poco competente, el cual en el área de estudio se encontró muy intemperizado en su mayoría, su color de intemperismo es un gris verdoso mientras que su color fresco es un gris oscuro, cuenta con una matriz de grano muy fino

### Estilos estructurales locales

A continuación, se describen algunos tipos de fracturas, las cuales son comunes para el área de estudio, estas, producto de los esfuerzos tectónicos mencionados en el apartado 2.1 de este mismo capítulo, las cuales son importantes a identificar ya que influyen en la estabilidad del macizo rocoso.

#### Fracturas

De acuerdo con Niemeyer (1999), las diaclasas son fracturas en las cuales no se ha producido algún desplazamiento visible, por lo regular tienden a tener orientación aleatoria, aunque en su mayoría se producen en grupos paralelos.

Este fracturamiento puede ser generado por múltiples factores entre los cuales pueden ser (Figura 8):

- Fracturas por cizalla: este estilo tiende a tener un sentido de desplazamiento paralelo al plano de fractura, estas forman un ángulo agudo con respecto a esfuerzo compresivo principal y ángulo obtuso en relación a la dirección mínima. El ángulo agudo de estas fracturas es al que comúnmente se llama ángulo conjugado y este va a depender principalmente de:
  - Las propiedades mecánicas del material
  - De la magnitud del esfuerzo mínimo
  - De la magnitud del esfuerzo medio con respecto a los esfuerzos máximo y mínimo.
- Fracturas de tensión: son las que al presentar un esfuerzo extensivo la roca tenderá a fracturarse produciendo una apertura.

- Fracturas de compresión: al ocurrir cualquier proceso tectónico, al generarse un plegamiento por el esfuerzo compresivo ocurrido en la parte interna del pliegue se generarán fracturas cerradas de compresión mientras que en la parte de la charnela se generarán fracturas abiertas denominadas de extensión.

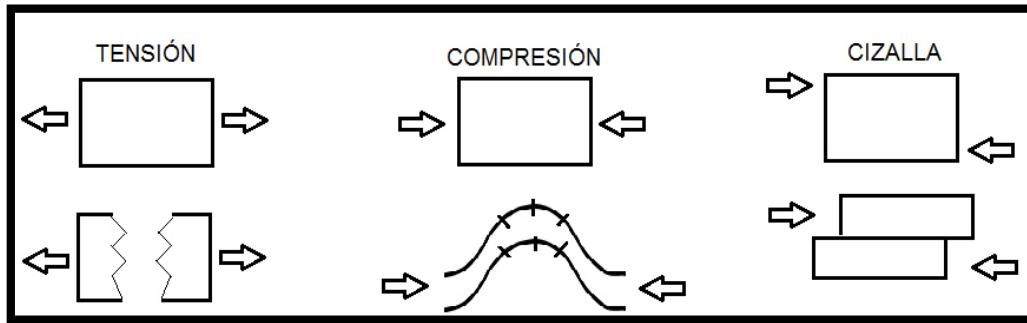


Figura 8.- Estilos principales de diaclasado (tomado y modificado de Twiss R. y Moores E 1973).

Las fracturas a su vez pueden ser clasificadas de acuerdo a su forma, como abiertas o cerradas, que en su caso pueden estar llenas de algún mineral o simplemente con nuevo sedimento.

En lo que respecta a su geometría las diaclasas se pueden clasificar en (Figura 9):

- Diaclasas sistemáticas: son las que poseen una geometría planar y son paralelas o subparalelas unas con otras, con un espaciado irregular entre ellas.
- Diaclasas no sistemáticas: son fracturas curvas y con geometría irregular, ocurren en distintas longitudes.

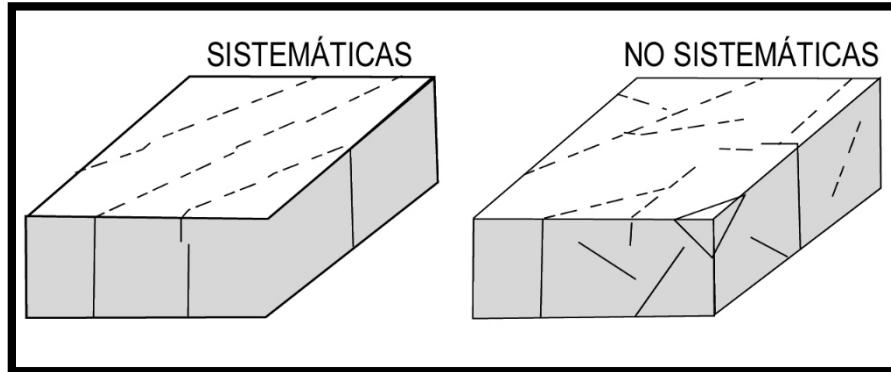


Figura 9.-Clasificación de diaclasas de acuerdo a su geometría (tomado de <http://slideplayer.es/slide/3274210/>)

Existen diversas formas de agrupaciones o sistemas de diaclasas que pueden ser reconocidas a simple vista o ya con el levantamiento de datos estructurales en campo, como lo son las ortogonales, las conjugadas, irregulares y sigmoidales (Figura 10).

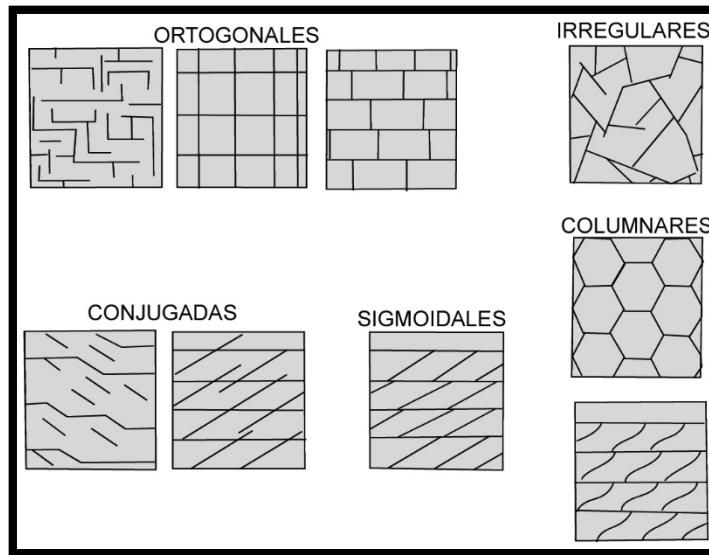


Figura 10.- Principales sistemas de diaclasas (tomado de <http://slideplayer.es/slide/3274210/>)

El estilo estructural presente en las cuatro estaciones es con un buzamiento preferencial hacia el sur-oeste, esto en base a los datos de campo obtenidos en campo con el criterio de la mano derecha (Figura 11).

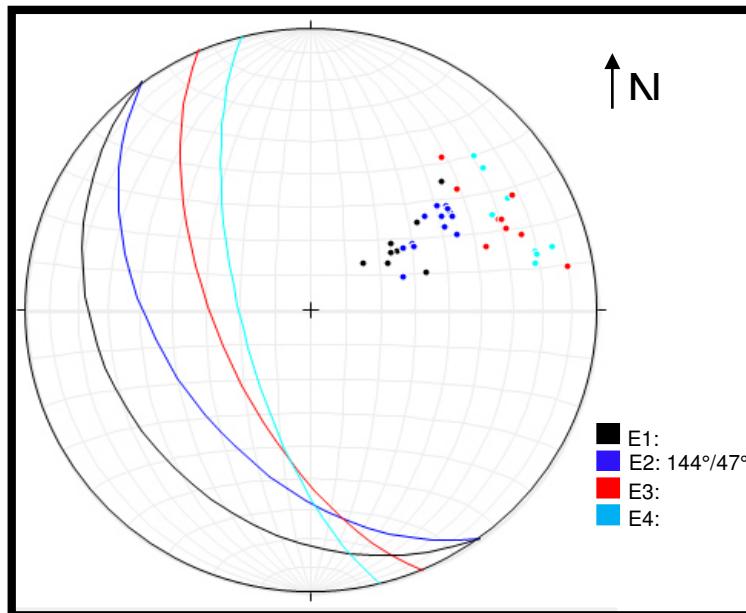


Figura 11.- Red estereográfica con la concentración de polos de los datos estructurales de estratificación de las cuatro estaciones así como los círculos máximos de estas mismas.

En lo que corresponde al diaclasado se obtuvieron en general cuatro familias principales. Para la primera estación (Figura 12) el fracturamiento predominante es de tipo “h0l” con ángulo en el eje “a”, en lo que corresponde a la segunda estación (Figura 13) se desarrollan pares conjugados de fracturas de cizalla de tipo “hk0” con ángulo al eje “b” y fracturas ortogonales ocasionales de tipo “ac”, mientras que para la tercera

estación (Figura 14) se encuentran fracturas de tipo “h0l” con ángulo en el eje “a” y fracturas ocasionales de tipo ortogonales “bc” y por ultimo para la cuarta (Figura 15) estación el fracturamiento presente es de tipo cizalla “h0l” con ángulo en el eje “a”. La cinemática de estas fracturas con respecto al corte del talud se discute en el capítulo 4.

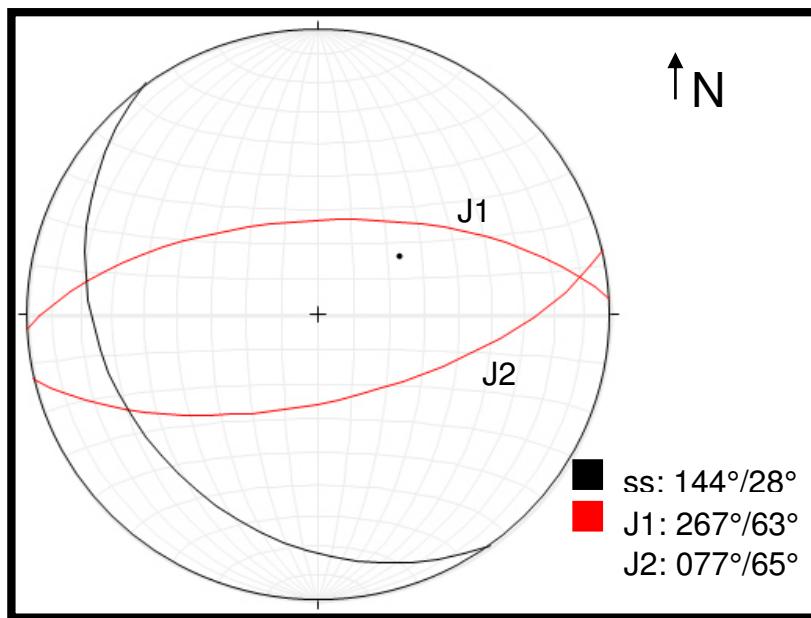


Figura 12.- Estación 1: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha

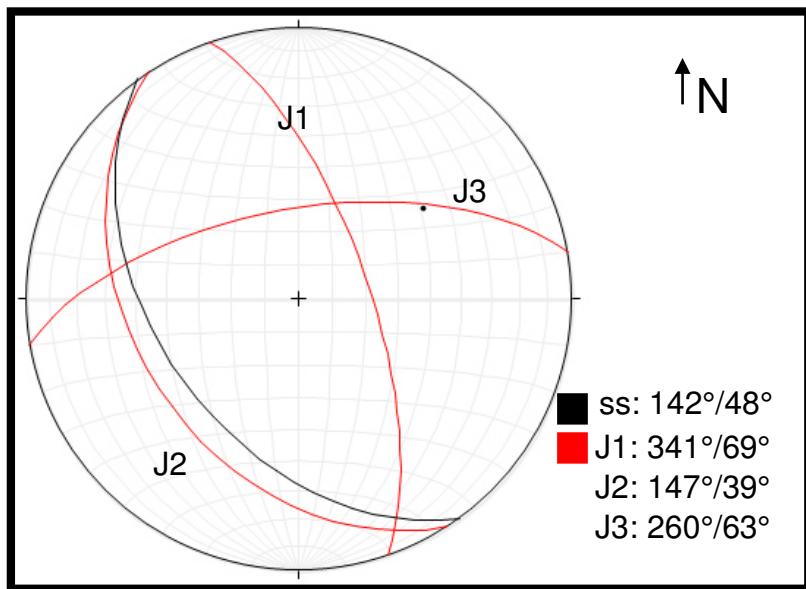


Figura 13.- Estación 2: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha

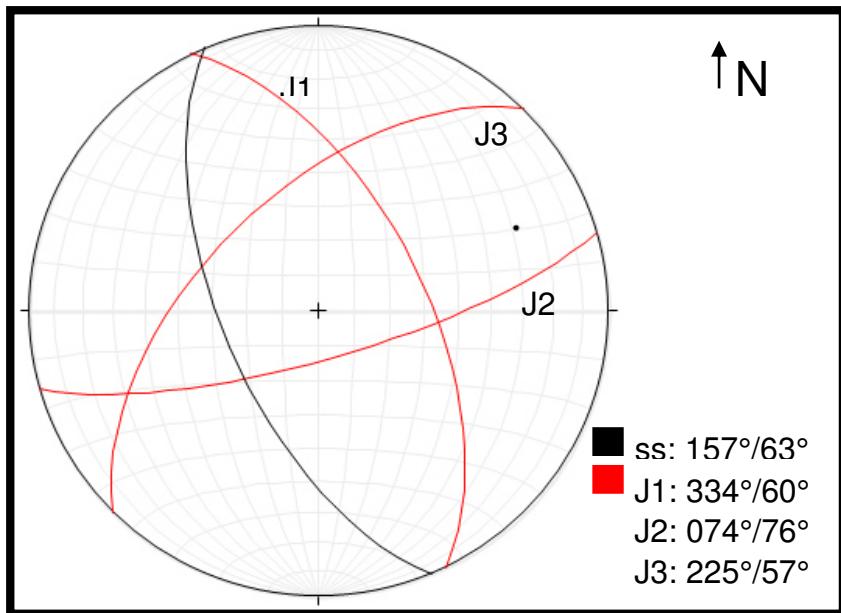


Figura 14.- Estación 3: Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha

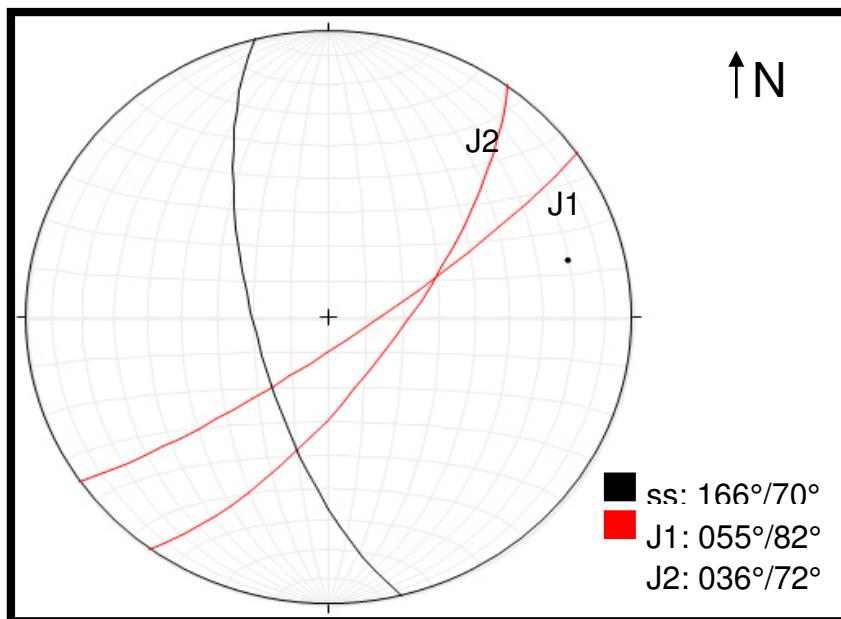


Figura 15.- Estación 4.- Red estereográfica de la Formación Agua Nueva, correspondiente a los círculos máximos de discontinuidades, utilizando el criterio de la mano derecha.

## **Capítulo III**

### **3.-Métodos geomecánicos**

#### **3.1 Caracterización del macizo rocoso**

El entorno que rodea y conforma a un macizo rocoso está bajo la influencia de múltiples factores geológicos que llegan a determinar el comportamiento mecánico de este.

Como menciona González de Vallejo *et al.*, (2002) se denomina macizo rocoso al conjunto de bloques de una matriz rocosa y las discontinuidades de diversos tipos que afectan al medio rocoso. Mecánicamente los macizos rocosos son medios discontinuos, anisótropos y heterogéneos. Prácticamente puede considerarse que presentan una resistencia a la tracción nula.

Las discontinuidades figuran planos de alineación, fracturamiento y meteorización, en las cuales puede haber circulación de agua. Estas dependiendo de sus propiedades pueden convertir un macizo rocoso en desfavorable y débil.

Se han implementado a través de los años, así como modificado las clasificaciones geomecánicas. El utilizar todas las clasificaciones existentes, sería hacer el trabajo de campo demasiado extenso y a la vez tedioso, ya que algunos de los métodos no se complementan entre sí.

Por ello lo ideal es utilizar los que seleccionen la información geológica más relevante, que lleven a la conclusión de saber cómo primer punto las propiedades de la matriz rocosa para dar a conocer el ambiente y propiedades físicas del material rocoso, como lo es su textura y dureza, como segundo punto, los parámetros de la matriz rocosa para conocer la relación que existe entre el arreglo de los bloques y las discontinuidades que conforman el macizo, así como el entorno geológico que lo compone, y como tercer punto los parámetros geotécnicos-constructivos, necesarios para conocer las propiedades con respecto a la modificación del estado natural del medio y la interacción con la obra a proyectar.

El área de estudio consta de una secuencia cretácica compuesta de materiales arcillosos intercalados con margas. Al cual se hará una serie de estudios para llegar a obtener las condiciones en las que se encuentra este, basándose en una serie de metodologías. Para llegar a la caracterización de este macizo se requiere pasar por una serie de pruebas basadas en diversas clasificaciones o metodologías, de las cuales las utilizadas en el siguiente trabajo son las descritas a continuación:

### **3.1.1 Clasificación geomecánica RMR**

Este método es desarrollado desde 1989 por Bieniawski, el cual constituye una clasificación de los macizos rocosos. El parámetro que lleva a esta clasificación es el índice RMR por sus siglas en inglés ROCK MASS RATING, el cual indica la calidad del macizo rocoso en el dominio estructural, esto partiendo de los siguientes parámetros:

1. Resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.
2. R.Q.D, que es el grado de fracturación del macizo rocoso.
3. Espaciado entre discontinuidades
4. Condiciones de las discontinuidades, para este punto se consideran los siguientes parámetros:
  - Abertura de las caras de la discontinuidad.
  - Continuidad o persistencia de la discontinuidad.
  - Rugosidad.
  - Alteración de la discontinuidad.
  - Relleno de las discontinuidades.
5. Presencia del agua en el macizo rocoso.

Para obtener la resistencia de la roca, se basa en la descripción del macizo en campo y en base a lo analizado se observen los siguientes datos conforme a la clasificación de la tabla 1.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (Mpa)	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL (Mpa)	VALORACIÓN
<b>Extremadamente dura</b>	>250	>10	15
<b>Muy dura</b>	100-250	4-10	12
<b>Dura</b>	50-100	2-4	7
<b>Moderadamente dura</b>	25-50	1-2	4
<b>Blanda-muy blanda</b>	5-25		2
	1-5		1
	<1	<1	0

Tabla 1.- Clasificación del RMR (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Para obtener el Índice RMR de Bieniawski se realiza lo siguiente:

1. Se suman las 5 variables o parámetros calculados, lo cual da como resultado el RMR básico.

El valor del RMR varía entre 0 a 100.

El RQD, que determina la calidad de la roca se puede obtener de las siguientes maneras:

- Mediante testigos de roca (trozos) mayores de 10cm recuperados de una perforación o sondeo.
- Número total de discontinuidades que interceptan una unidad de volumen ( $1m^3$ ) del macizo rocoso, definido mediante el parámetro  $J_v$ .

$$RQD = \frac{\sum \text{longitud de los trozos de testigo} > 10\text{cm}}{\text{longitud total}} \times 100$$

Ó

$$RQD = 115 - 3.3 \times J_v$$

Así mismo para obtener la valoración del cálculo del RQD se compara en la siguiente tabla 2.

INDICE DE CALIDAD R.Q.D (%)	CALIDAD	VALORACIÓN
<b>0-25</b>	Muy mala	3
<b>25-50</b>	Mala	8
<b>50-75</b>	Regular	13
<b>75-90</b>	Buena	17
<b>90-100</b>	Excelente	20

Tabla 2.- Índice de calidad de la roca (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

Para la separación o espaciamiento de las discontinuidades, la clasificación se obtiene con los parámetros utilizados en la tabla 3.

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO	VALORACIÓN
<b>Muy separadas</b>	>2 m	Sólido	20
<b>Separadas</b>	0.6-2 m	Masivo	15
<b>Moderadamente juntas</b>	200-600 mm	En bloques	10
<b>Juntas</b>	60-200mm	Fracturado	8
<b>Muy juntas</b>	< 60 mm	Machacado	5

Tabla 3.- Valores para el espaciado de las diaclasas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Para el siguiente punto, las condiciones de las discontinuidades, con respecto a:

- Aberturas de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN DE LAS CARAS	VALORACIÓN
<b>1</b>	Abierta	> 5 mm	0
<b>2</b>	Moderadamente abierta	1-5 mm	1
<b>3</b>	Cerrada	0.1–1 mm	4
<b>4</b>	Muy cerrada	< 0.1 mm	5
<b>5</b>	Ninguna	0	6

Tabla 4.- Valores de acuerdo a la abertura de las diaclasas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

- Continuidad o persistencia de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	CONTINUIDAD	VALORACIÓN
1	Muy baja	< 1 m	6
2	Baja	1-3 m	4
3	Media	3-10 m	2
4	Alta	10-20 m	1
5	Muy alta	> 20 m	0

Tabla 5.- Valores de acuerdo a la presistencia de las diaclasas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

- Rugosidad de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	3
4	Lisa	1
5	Plana (espejo de falla)	0

Tabla 6.- Valores para la rugosidad de las diaclasas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

- Alteración de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Descompuesta	0
2	Muy alterada	1
3	Moderadamente alterada	3
4	Ligeramente alterada	5
5	No alterada	6

Tabla 7.- Valores para las características de las diaclasas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

- Relleno de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
1	Blando > 5 mm	0
2	Blando < 5 mm	2
3	Duro > 5 mm	2
4	Duro < 5 mm	4
5	Ninguno	6

Tabla 8.- Valoración de acuerdo con el tipo de relleno que presenten las discontinuidades (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Para el último parámetro con respecto a la presencia de agua en el macizo rocoso se toma como referencia la siguiente tabla:

CAUDAL POR 10 m DE TUNEL	RELACIÓN PRESIÓN AGUA-TENSIÓN PPAL MAYOR	DESCRIPCIÓN	VALORACIÓN
<b>Nulo</b>	0	Seco	15
<b>&lt; 10 litros/min</b>	<0.1	Ligeramente húmedo	10
<b>10-25 litros/min</b>	0.1 – 0.2	Húmedo	7
<b>25-125 litros/min</b>	0.2 – 0.5	Goteando	4
<b>&gt; 125 litros/min</b>	> 0.5	Fluyendo	0

Tabla 9.- Valores para las características de acuerdo a la humedad (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Ya como resultado del promedio de todos los valores anteriores mencionados se obtiene la valoración del macizo rocoso con el índice del RMR en base a la siguiente tabla:

CLASE	CALIDAD	VALORACION RMR	COHESION	ANGULO DE ROZAMIENTO
<b>I</b>	Muy buena	100-81	>4 Kg/cm <sup>2</sup>	>45°
<b>II</b>	Buena	80-61	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>	35°- 45°
<b>III</b>	Media	60-41	2-3 Kg/cm <sup>2</sup>	25°- 35°
<b>IV</b>	Mala	40-21	1-2 Kg/cm <sup>2</sup>	15°- 25°
<b>V</b>	Muy mala	<20	<1 Kg/cm <sup>2</sup>	<15°

Tabla 10.- Clasificación de acuerdo con el puntaje obtenido del RMR (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Como punto extra el RMR nos permite saber el tiempo que puede estar el macizo sin estabilizar con respecto a la obra que se está realizando, esto mediante la tabla 11.

Características geotécnicas					
CLASE	I	II	III	IV	V
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2.5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano
Cohesión	> 4 Kp/cm <sup>2</sup>	3-4 Kp/cm <sup>2</sup>	2-3 Kp/cm <sup>2</sup>	1-2 Kp/cm <sup>2</sup>	< 1 Kp/cm <sup>2</sup>
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°

Tabla 11.-Características geomecánicas (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

### 3.1.2 Clasificación de Índice Q

Este método fue desarrollado en el año 1974 por Barton, Lien y Lunde, el cual constituye un sistema de clasificación de macizos rocosos, el cual permite establecer sistemas de sostenimientos para túneles y cavernas. El sistema de clasificación Q tiene también su correlación para el análisis de taludes mediante la expresión que se anuncia a continuación, además de que es aplicable en la correlación con el método RMR.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

Esta clasificación está basada en los siguientes seis parámetros:

1. RQD: índice de la calidad de la roca.
2.  $J_n$ : índice de diaclasado el cual indica el grado de fracturación.
3.  $J_r$ : índice de rugosidad, relleno y continuidad de las discontinuidades.
4.  $J_a$ : índice de alteración de las discontinuidades.
5.  $J_w$ : Coeficiente reductor por la presencia de agua.
6. SRF: por sus siglas en inglés Stress Reduction Factor, es el coeficiente que tiene en cuenta la influencia del estado tensional sobre el macizo rocoso.
  - El primer coeficiente correspondiente al  $R.Q.D/J_n$  representa el índice de la calidad de la roca.
  - El segundo coeficiente  $J_r/J_a$  representa la resistencia al corte entre los bloques.
  - Y el tercer coeficiente  $J_w/SRF$  representa el estado tensional del macizo rocoso.

Los valores numéricos correspondientes a cada uno de los coeficientes se obtienen de la descripción del macizo en base a las siguientes tablas:

1.- Calidad del testigo RQD		RQD%
A	Muy mala	0-25
B	Mala	25-50
C	Media	50-75
D	Buena	75-90
E	Excelente	90-100

Nota: cuando los valores del RQD inferiores o iguales a 10, se toma un valor de 10 para calcular el índice Q.

2.- Índice de diaclasado		$J_n$
A	Roca masiva, sin diaclasas o con fisuración escasa	0.5-1
B	Una familia de diaclasas	2
C	Una familia de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	3
D	Dos familias de diaclasas	4
E	Dos familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	6
F	Tres familias	9
G	Tres familias de diaclasas y algunas diaclasas ocasionales	12
H	Cuatro o mas familias de diaclasas, roca muy fracturada, etc.	15
I	Roca triturada terrosa	20

3.- Índice de rugosidad de las diaclasas		$J_r$
Para este parámetro se toma la relación o el contacto entre las 2 caras de la junta o diaclasa		
A	Diaclasas discontinuas	4
B	Diaclasas onduladas, rugosas e irregulares	3
C	Diaclasas onduladas, lisas	2
D	Diaclasas onduladas, perfectamente lisas	1.5
E	Diaclasas planas, rugosas o irregulares	1.5
F	Diaclasas planas, lisas	1
G	Diaclasas planas, perfectamente lisas	0.5

Nota: no existe contacto entre las dos caras de las diaclasas cuando ambas desplazan lateralmente

H	Zona de contenido de materiales arcillosos suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las diaclasas.	1
I	Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las dos caras de las diaclasas	1

Nota: si el espaciado de la familia de diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el  $J_n$  en una unidad.  
Para diaclasas planas perfectamente lisas que presentan lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar  $J_r = 0.5$

Tabla 12.- Valores de los parámetros del índice Q (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

4.- Índice de alteración de las discontinuidades		$\phi_r$	$J_n$
Contacto entre las dos caras de la diaclasa			
A	Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	—	0.75
B	Caras de la junta únicamente manchadas.	25-35°	1
C	Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	25-30°	2
D	Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	20-25°	3
E	Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	8-16°	4
Contactos entre dos caras de la diaclasa con < de 10 cm de desplazamiento lateral			
F	Partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	25-30°	4
G	Fuertemente sobreconsolidados llenos de minerales arcillosos no blandos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor	16-24°	6
H	Sobreconsolidación media a baja, blandos, llenos de minerales arcillosos. Los recubrimientos son continuos de menos de 5mm de espesor.	12-16°	8
I	Rellenos de arcilla expansiva, de espesor continuo de 5 mm. El valor $J_a$ dependerá del porcentaje de partículas del tamaño de la arcilla expansiva.	6-12°	8-12.
No existe contacto entre las 2 caras de la diaclasa cuando esta cizallada			
J	Zonas bandas de roca desintegrada o manchada y arcilla	6-24°	6,8 ó 8-12
K	Zonas blandas de arcilla limpia o arenosa con pequeña fricción de arcilla no blandas	—	5
L	Granos arcillosos gruesos	6-24°	10,13 ó 13-20
Nota: los valores expresados para los parámetros $J_r$ y $J_a$ se aplican a las familias de diaclasas o discontinuidades que son menos favorables con relación a la estabilidad, tanto por la orientación de las mismas como por su resistencia al corte.			
5.- Factor de redicción por la presencia de agua		Presión del agua Kg/cm <sup>2</sup>	$J_w$
A	Excavaciones secas o de influencia poco importante.	<1	1
B	Afluencia o presión medidas. Ocasional lavado de los rellenos de las diaclasas	1-2.5	0.66
C	Afluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos	2.5-10	0.5
D	Afluencia importante o presión alta, produciéndose un lavado considerable de los rellenos de las diaclasas	2.5-10	0.33*
E	Afluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo considerablemente	>10	0.1-0.2*
F	Afluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, s	>10	0.05-0.1
Nota: Los valores presentados en las clases C, D, E y F son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar $J_w$			

Tabla 13.- Valores de los parámetros de alteración de discontinuidades del índice Q (tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

6.- Condiciones tensionales de la roca			SRF	
Nota: las zonas débiles intersecan a la excavación, pudiendo producirse desprendimientos de roca a medida que la excavación del tunel va avanzando				
A	Multiples zonas débiles, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta		10	
B	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (excavación ≤ 50m)		5	
C	Zonas débiles aisladas, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente (excavación > 50m)		2.5	
D	Multiples zonas débiles, contenido de arcilla o roca desintegrada químicamente, roca de contorno muy suelta		7.5	
E	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas)(excavación ≤ 50m)		5	
F	Zonas de fractura aisladas en roca competente (libre de arcillas)(excavación > 50m)		2.5	
G	Terreno suelto, diaclasas abiertas, fuertemente fracturado, en terrones, etc.		5	
Nota: Se reducen los valores expresados del SRF entre un 20-50% si las zonas de fracturas sólo ejercen cierta influencia pero no intersectan a la excavación				
Rocas competentes, problemas tensionales en las rocas			SRF	
H	Tensiones pequeñas cerca de la superficie, diaclasas abiertas	>200	>0.01	2.5
I	Tensiones medias, condiciones tensionables favorables	200-10	0.01-0.3	1
J	Tensiones elevadas, estructura muy compacta. Normalmente favorable para la estabilidad, puede ser desfavorable para la estabilidad de los hastiales	10-5	0.3-0.4	0.5-2
K	Lajamineto moderado de la roca despues de 1 hora en rocas masivas	5-3	0.5-0.65	5-50
L	Lajamiento y estallido de la roca despues de algunos minutos en rocas masivas	3-2	0.65-1	50-200
M	Estallidos violentos de la roca (deformacion explosiva) y deformaciones dinamicas inmediatas en rocas masivas	< 2	> 1	200-400
Notas: Si se completa la existencia de campos tensionales fuertemente anisotrópicos: cuando $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ , se disminuye el parametro $\sigma_c$ hasta 0.75 $\sigma_c$ ; si $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ , se tomará el valor 0.5 $\sigma_c$ .				
En los casos en que la profundidad de la clave del tunel es menor que la anchura de la excavación, se sugiere aumentar el valor del factor SRF entre 2,5 y 5 unidades (véase clase H).				
Rocas deformables: flujo plástico de roca incopetente sometida a altas presiones			SRF	
O	Presión de deformación baja	1-5	5-10	
P	Presión de deformación alta	> 5	10-20	
Nota: Los fenomenos de defrmatación o fluencia de rocas suelen ocurrir a profundidades: $H > 350 Q^{1/3}$ (Singh et al., 1992). La resistencia a compresión del macizo rocoso puede estimarse mediante la expresion: $q$ (Mpa) $\approx 7.y Q^{1/3}$ , donde $y$ es la densidad de la roca $g/cm^3$ (Singh, 1993).				
Rocas expansivas: actividad expansiva química dependiendo de la presencia de agua			SRF	
R	Presión de expansión baja		5-10	
S	Presión de expansión alta		10-15	
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$				

Tabla 14.- Valores de los parámetros de las condiciones tensionales de la roca del índice Q

(tomado de González de Vallejo et al., 2002)

La clasificación de Barton *et al.*, (1974) de los macizos rocosos. Que es el llamado índice de calidad Q. se valora de acuerdo con la siguiente descripción:

TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala	0.001-0.01
Externadamente mala	0.01-0.1
Muy mala	0.1-1
Mala	1-4
Media	4-10
Buena	10-40
Muy buena	40-100
Extremadamente buena	100-400
Excepcionalmente buena	400-1000

Tabla 15.-Valores establecidos para el puntaje de Q (Valores de los parámetros del índice Q  
(tomado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

### 3.2 Cálculo del RMR del macizo rocoso

#### -Compresión simple de la roca:

Las propiedades mecánicas son parámetros claves para la evaluación de seguridad de la obra a realizar. Una manera de medir la resistencia de cierto material es la compresión uniaxial que es el esfuerzo de compresión máxima que puede soportar una muestra antes de fracturarse.

En este trabajo se han utilizados 5 cilindros cortados de muestras recolectadas en campo, estos tienen una relación 2:1, tienen una longitud de 10 cm por un diámetro de 5 cm, estos fueron llevados a la Facultad de Ingeniería Civil y fracturados por compresión uniaxial en la Instron 600DX. La cual nos arrojó datos con los que se pudo hacer un promedio de la compresión simple de la roca, tomado como valor a considerar el de la muestra cuyo esfuerzo máximo fue el menor de las 5 muestras (Figura 16).

Este tipo de ensayo sirve como una manera para poder determinar en el laboratorio la resistencia uniaxial de la roca, o resistencia a la compresión simple,  $\sigma_c$ . O como lo

mencionan González de Vallejo *et al.*, (2002), es un ensayo para la clasificación de la roca por su resistencia. La relación entre los esfuerzos aplicados en el ensayo es:

$$\sigma_1 \neq 0; \sigma_2 = \sigma_3 = 0$$

El valor adoptado de este parámetro fue 60 MPa, el punto de compresión máximo ( $\sigma_1$ ), que a partir de aquí es donde se fractura el cilindro, como lo muestra el siguiente gráfico.

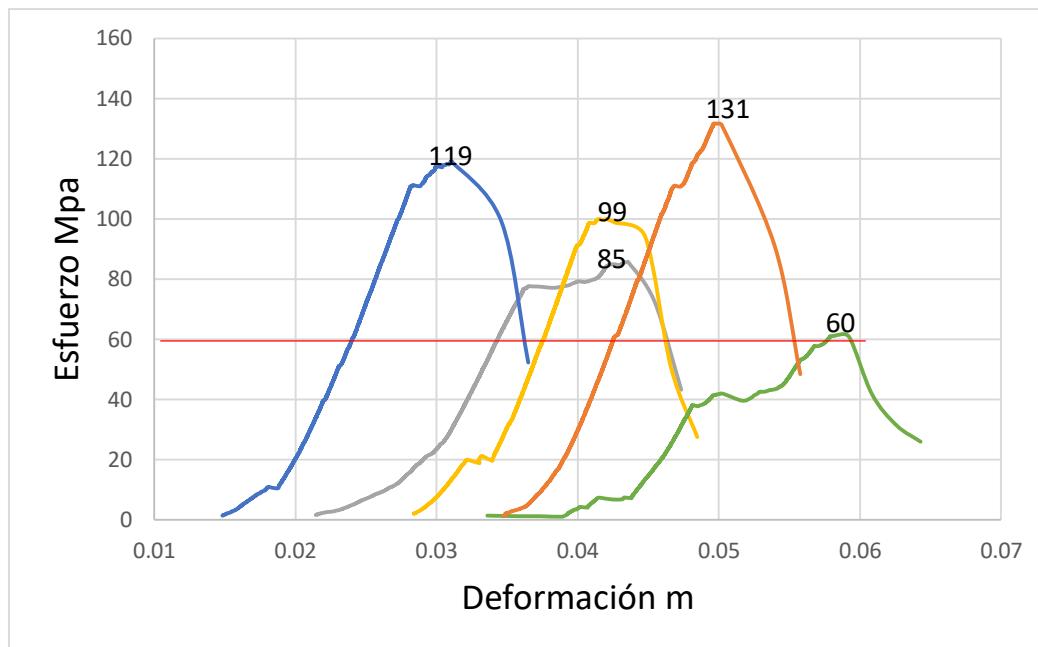


Figura 16.- Gráfico esfuerzo deformacion de las muestras analizadas

Otro método para obtener la compresión simple de la roca es mediante el Esclerómetro o Martillo de Schmidt (Figura 17), que es utilizado para estimar la resistencia a esta compresión de una manera sencilla y aproximada de la matriz rocosa. Este ensayo consiste en medir la resistencia al rebote de la superficie de la roca ensayada.



Figura 17.- Esclerómetro o Martillo de Schmidt marca Proceq.

Este aparato consiste en un cilindro metálico que contiene un resorte en su interior y una punta retráctil, que al ejercer presión contra la roca se almacena energía en el resorte la cual es liberada automáticamente cuando esta alcanza cierto nivel hasta que salta este resorte, misma que es medida en una escala graduada a un costado del esclerómetro que va de 0 a 100, que es directamente proporcional a la dureza y a la resistencia a compresión simple de la superficie de la roca.

Los valores de rebote promedios obtenidos (Tabla 16) se correlacionan en un ábaco con la resistencia a la compresión simple de la roca (Figura 18). En este caso de tomará como referencia la línea media del grafico ya que los datos fueron tomados perpendicularmente sobre la superficie de la roca.

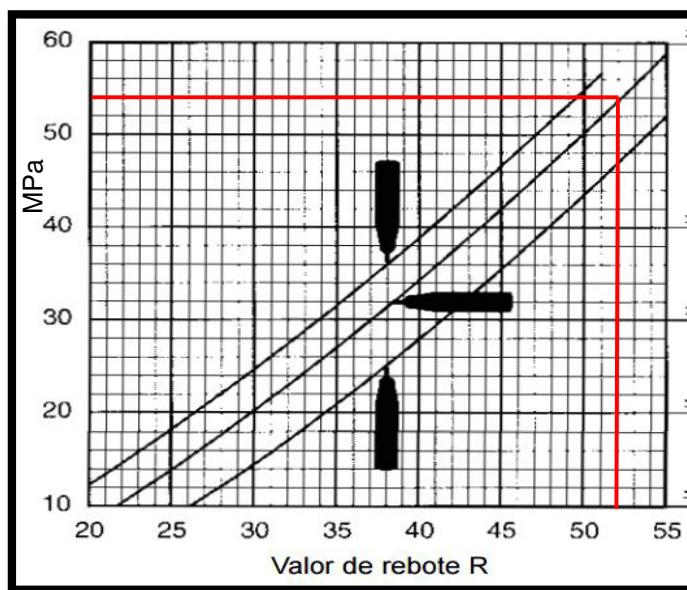


Figura 18.- Tomada y modificada de  
[https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/OrginalSchmidt\\_Operating%20Instructions\\_Multilingual\\_high.pdf](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OrginalSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf)

Datos de esclerómetro
28
30
32
34
42
44
52
52
54
54
56
56
58
60
62

Tabla 16.- Ejemplo de datos obtenidos en una estación geomecánica, en campo perpendicularly a la estratificación

El resultado de la compresión simple de la roca con el esclerómetro es de 52 MPa mientras con el ensayo uniaxial es de 60. Por lo tanto, de acuerdo a la tabla 1 del RMR los valores obtenidos están entrando en el rango de 50-100 MPa adoptando un puntaje de 7

#### -RQD:

Por sus siglas en inglés Rock Quality Designation, es una metodología implementada para representar la calidad de la roca, ya que en el área de trabajo no hubo barrenación, se utilizó la siguiente fórmula, propuesta para cuando las discontinuidades son visibles en el área de trabajo, tomando en cuantas el número de las discontinuidades por unidad de volumen.

$$RQD = 115 - 3.3 \times J_v$$

Donde  $J_v$  es la suma de las discontinuidades en un metro cúbico.

Para la obtención de este parámetro se tomarán varias mediciones a lo largo del área de estudio (Tabla 17) obteniendo un promedio de lo que sería el RQD.

RQD		
40	115-3.3(Jv)	-17
30	115-3.3(Jv)	16
11	115-3.3(Jv)	78.7
22	115-3.3(Jv)	42.4
22	115-3.3(Jv)	42.4
24	115-3.3(Jv)	35.8
	Promedio	33.05

Tabla 17.- Promedio obtenido de las mediciones en campo para la obtención del RQD

Por lo tanto, haciendo referencia a la Tabla 2 antes mencionada, se obtiene un puntaje de 8 lo que nos indica una calidad de roca mala.

#### **-Separación de las discontinuidades**

De acuerdo a la clasificación de la Tabla 3, las discontinuidades presentes en el área de estudio se encuentran moderadamente juntas con un espaciado de < 60 mm, obteniendo un puntaje de 5.

#### **-Condición de las discontinuidades**

Para este punto es necesario tomar los siguientes parámetros guiándose de la clasificación de las tablas 4-8:

- Abertura de las caras de la discontinuidad: se encuentran abiertas >5mm obteniendo un puntaje de 0 de acuerdo a la Tabla 4.
- Continuidad o persistencia de la discontinuidad: estas son de grado 4, es decir, tienen una continuidad alta que va de 10-20m con un puntaje de 1 de acuerdo a la Tabla 5.
- Rugosidad: de grado 4 presentando una ligera rugosidad de acuerdo a la clasificación de la Tabla 6 con un puntaje de 3.
- Alteración de la discontinuidad: con un puntaje de 5 debido a que se encuentran ligeramente alteradas, como se muestra en la Tabla 7.

- Relleno de las discontinuidades: presenta un puntaje de 2 debido a que cuenta con relleno blando menor a 5mm de acuerdo a la Tabla 8.

#### -Presencia de agua

El sexto y último parámetro es utilizado para calcular la valoración según la presencia de agua y haciendo referencia a la Tabla 9 se obtiene un puntaje de 10 lo que indica que se encuentra ligeramente húmedo.

Una vez generada la sumatoria de los cinco parámetros de llega a la siguiente conclusión:

- Resistencia a compresión simple de la matriz rocosa: 50-100 Mpa = 7
- RQD: 33.5 = 8
- Separación de las discontinuidades: < 60 = 5
- Condición de las discontinuidades = 11
- Flujo de agua en las discontinuidades: ligeramente húmedo = 10

Con la suma de los puntajes mencionados se tiene un total de 41, lo cual basado en la tabla de la calidad del macizo rocoso del índice del RMR se obtiene una clasificación para este macizo de clase III (Media).

En lo que respecta a las características geomecánicas se deduce que al ser un macizo clase III puede estar 1 semana con 5 m de vano, para su estabilidad pudiesen usarse pernos sistemáticos de 4 metros de longitud con espaciados de 1.5-2 metros, esto de acuerdo a la clasificación del material con el que se está tratando.

### 3.3 Cálculo del índice Q

Desarrollado para determinar la calidad del macizo rocoso, basado en la evaluación de 6 parámetros en base a la clasificación de las tablas antes mencionadas para poder llegar a ser determinado mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} x \frac{J_r}{J_a} x \frac{J_w}{SRF}$$

RQD: 33.05 (obtenido anteriormente en el apartado del RMR)

Jn: 12 (Índice de diaclasado).

Jr: 2 (Índice de rugosidad de las discontinuidades).

Ja: 2 (Índice de alteración de las discontinuidades).

Jw: 1 (Factor de reducción por la presencia de agua).

SRF: 7.5 (Condiciones tensionales de la roca)

$$Q = \frac{33.05}{12} x \frac{2}{2} x \frac{1}{7.5} = 0.49$$

De acuerdo a la Tabla 17, para la clasificación del índice Q, el valor de 0.49 se encuentra dentro del intervalo 0.1-1 de esta clasificación indicando que el tipo de la roca es muy mala.

## **Capítulo IV**

### **4.- Análisis cinemático**

#### **4.1 Introducción**

Son diversos los métodos que se han desarrollado para el estudio de la clasificación de los macizos rocosos, los cuales son primordiales para la toma de decisiones en el desarrollo de obras civiles

Estos métodos se apoyan en las clasificaciones físico-mecánicas de las rocas, así como las condiciones con respecto al entorno geotectónico. Su desarrollo es variado, basado principalmente en la experiencia adquirida en diversos proyectos de construcción civil. Dichos métodos son utilizados como herramientas prácticas e indispensables para evaluar las condiciones de un macizo rocoso, buscando simplificar las variables que pueden afectar el comportamiento del entorno geológico con respecto a la interacción que tendrá con la obra civil a realizar.

#### **4.2 Círculo de Mohr**

Al obtener la clasificación del RMR de acuerdo a la Tabla 10, también se obtiene el ángulo de fricción interna de la roca, pero para conseguir una comparativa se realizó el cálculo del círculo de Mohr, desarrollado por Otto Mohr en 1882, como lo describen Hoek & Brown (1985) y González de Vallejo *et al.*, (2002), es propuesto para determinar el estado tensional en los distintos puntos de un cuerpo, obteniéndose la relación entre los esfuerzos normal y tangencial actuantes al momento de la rotura.

El círculo permite mostrar los esfuerzos máximos que en combinación con la cohesión del material a trabajar se obtiene el ángulo de fricción interna del macizo rocoso. El esfuerzo máximo mencionado anteriormente obtenido en la compresión uniaxial de los núcleos fue de 60 MPa y el esfuerzo mínimo es 0.

Por lo tanto, para obtener la tangencial, uno de los puntos para trazar el círculo de Mohr, es mediante la siguiente formula:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Por lo que al sustituir valores:

$$\tau = 15 + 60 \tan 35$$

$$\tau = 57$$

Por lo que el trazo del círculo se representa en la Figura 19.

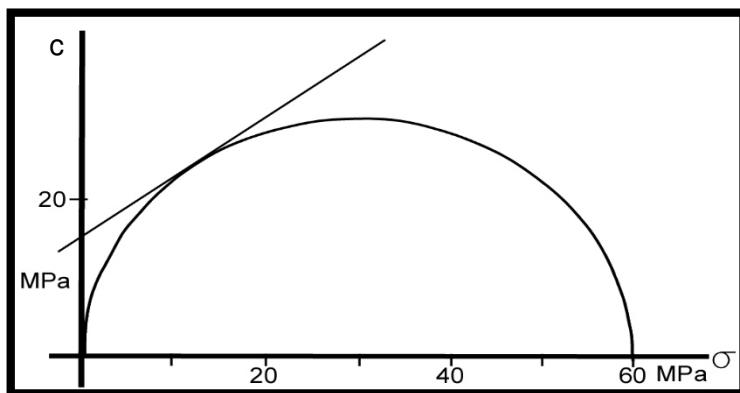


Figura 19.- Círculo de Mohr

### 4.3 Redes estereográficas

Con la obtención de estos datos estructurales, así como la relación que tienen las diaclasas con la estratificación, así como el conjunto de estas dos con el rumbo y buzamiento general del corte de talud, tiende a definir el porqué de su estabilidad, más sin embargo al conjuntar todos estos datos y fusionarlos con el círculo de fricción, dará como resultado los planos de mayor debilitamiento en la zona, es decir, los planos con mayor susceptibilidad a tender a fracturarse o dañarse (Figura 20).

Para ello la envolvente estará basada en el plano de estratificación principal del talud, así como en el círculo de fricción.

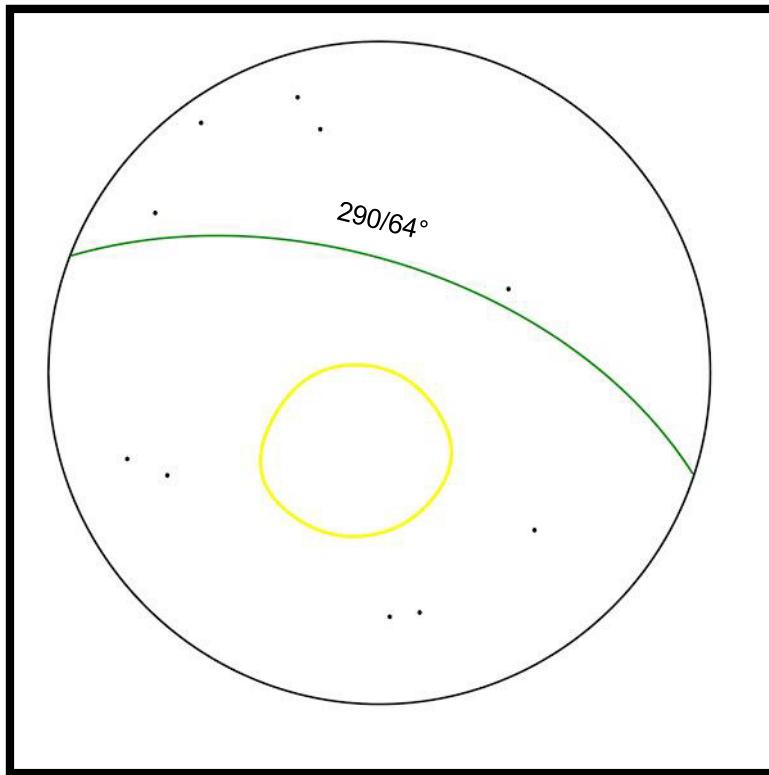


Figura 20.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la primera estación con relación al círculo envolvente (círculo amarillo) para encontrar los planos de debilitamiento..

En lo que respecta a la estratigrafía del área con respecto al corte del talud se puede observar que es en contra de éste corte (Figuras 21 y 22), mientras que el fracturamiento es a favor de estos lo que ayuda que este talud se encuentre de una manera metaestable, es decir, permanece en un estado de equilibrio débilmente estable durante un tiempo indefinido.

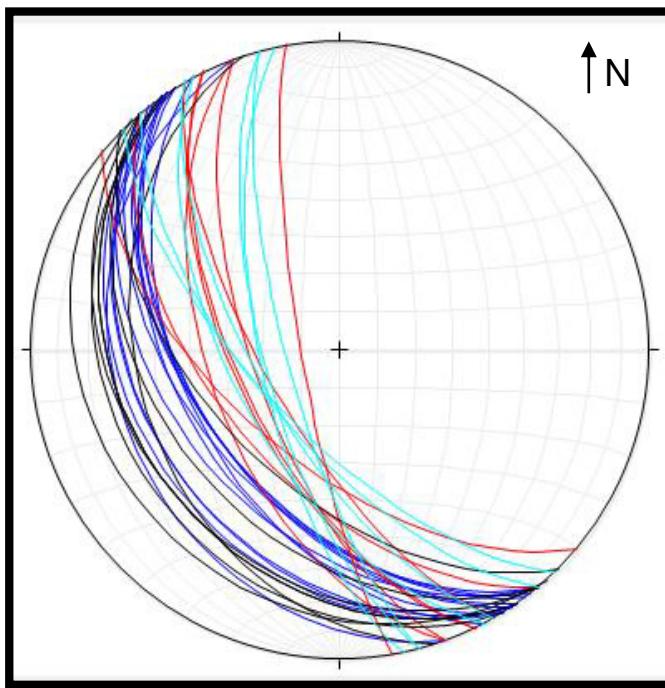


Figura 21.- Red estereográfica que representa la estratificación presente en el área de estudio

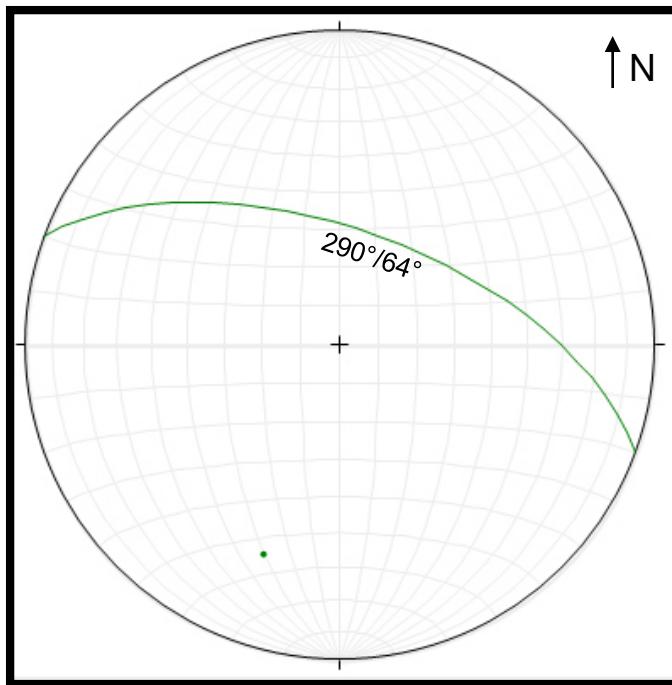


Figura 22.- Dato estructural del corte de talud de la estación 2

### - Análisis estereográfico

Los análisis estereográficos o también llamados cinemáticos, consisten en la evaluación de un posible movimiento, comparando las relaciones angulares de una o más familias de discontinuidades. Estos análisis toman en cuenta la relación entre el echado de los planos de debilitamiento y el echado de la cara del talud.

A parte de analizar la relación que tienen las familias de discontinuidades entre sí y con el corte del talud, en una red estereográfica se representa la zona de toppling (zona de vuelco), con la finalidad de identificar los planos de discontinuidades débiles que son propensos a volcarse, esta zona es definida con la dirección del echado de la cara del talud  $\pm 10^\circ$ , que representa la desigualdad del echado del talud y el echado de las discontinuidades, que de acuerdo a la siguiente función debe ser menor que 10 (García Reyes 2016).

$$(\alpha_f - \alpha_d) < 10^\circ$$

$\alpha_f$ = dirección del echado de la cara del talud.

$\alpha_d$ = dirección del echado de las discontinuidades.

Dentro del análisis cinemático del talud se realizaron redes estereográficas para entender el mecanismo del comportamiento del talud en cuestión, así como la interacción que tienen las estaciones adyacentes, se tomaron 200 datos de diaclasas y 35 datos de estratificación debido a la limitante del área, ya que no hay mucho espacio donde tomar los datos, esto utilizando el criterio de la mano derecha.

En contribución a la zona de toppling, se representa el circulo envolvente. Medina Barrera *et al.*, (1998) muestra la definición que propone Markland (1972) para la envolvente, la cual establece que los polos de las superficies concentradas dentro de la envolvente son potencialmente inestables.

Por lo tanto, al tener la relación de estas zonas de inestabilidad se puede predecir que planos de discontinuidades son los más susceptibles de deslizarse.

En la primera estación (Figura 23) se identificaron dos familias principales de diaclasas presentando una cierta oblicuidad entre sí, con un rumbo y buzamiento de 267/63° y 077/65°.

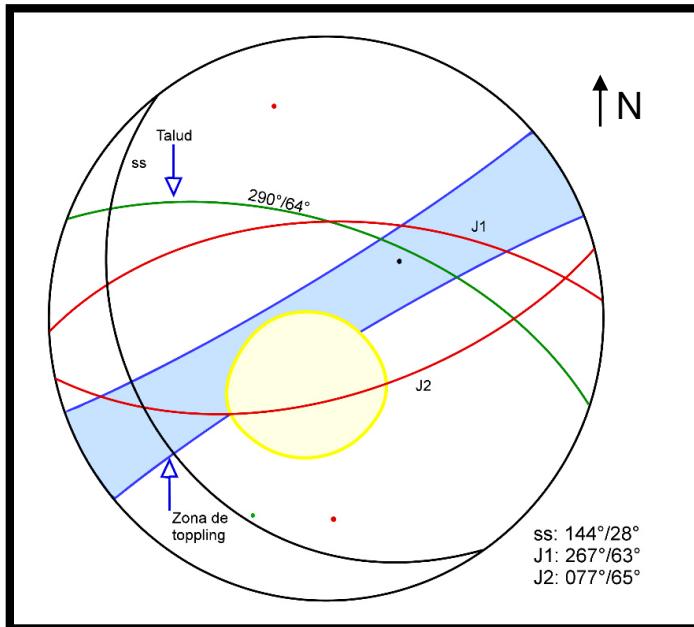


Figura 23.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la primera estación.

En la segunda estación (Figura 24), que es el talud de principal estudio se han identificado tres familias principales de diaclasas, presentando una cierta oblicuidad entre dos de las familias mientras la tercera se encuentra de manera perpendicular, con un rumbo y buzamiento de  $147/39^\circ$ ,  $341/69^\circ$  y  $260/63^\circ$ .

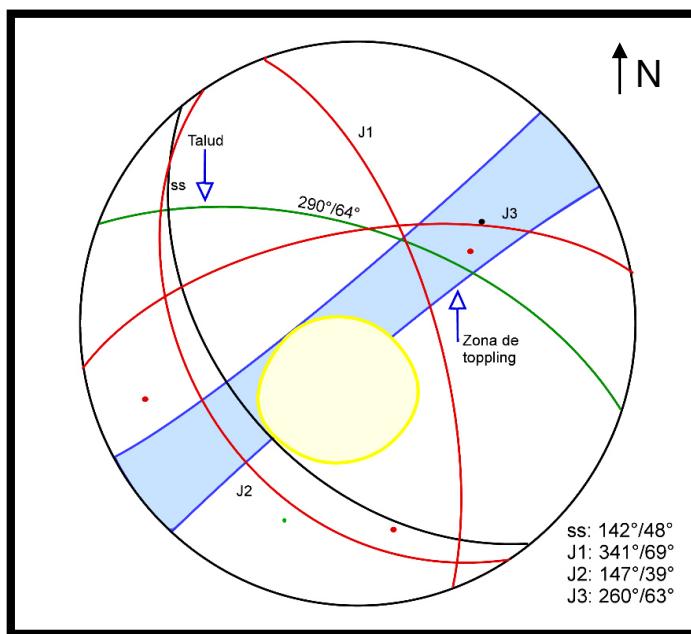


Figura 24.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la segunda estación.

En la tercera estación (Figura 25) se mostró una serie de plegamiento en la estratificación y el diaclasado presente en la zona fue concentrado en tres familias principales, si bien como en la estación anterior presentan oblicuidad entre si y una

familia extra de manera perpendicular pero la diferencia es que las que presentan oblicuidad están más cercas del eje “a” como se menciona en el capítulo 2 en el apartado de estilos estructurales del marco geológico local, presentándose más cercas unas de otras, con un rumbo y buzamiento de  $225/57^{\circ}$ ,  $074/76^{\circ}$  y  $334/60^{\circ}$ .

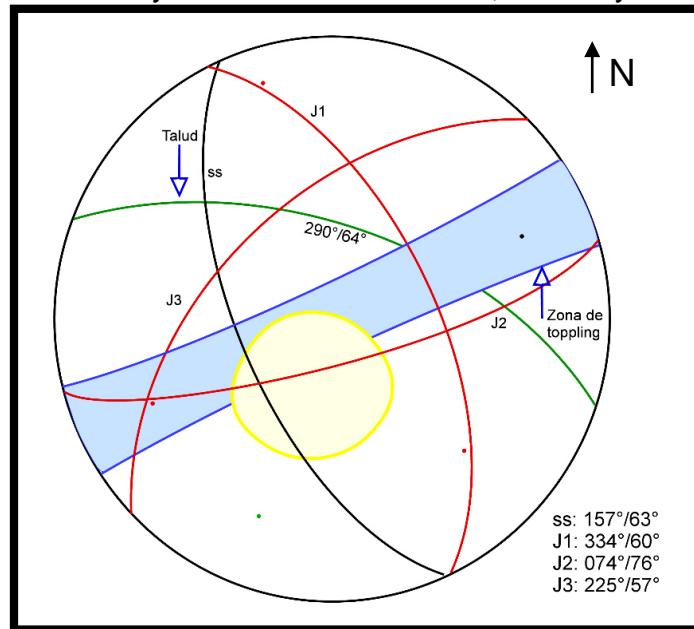


Figura 25.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la tercera estación.

La cuarta (Figura 26) y única estación el diaclasado presente es un poco oblicuo presentándose casi de forma paralela uno con otro, con un rumbo y buzamiento de  $055/82^{\circ}$  y  $036/72^{\circ}$ .

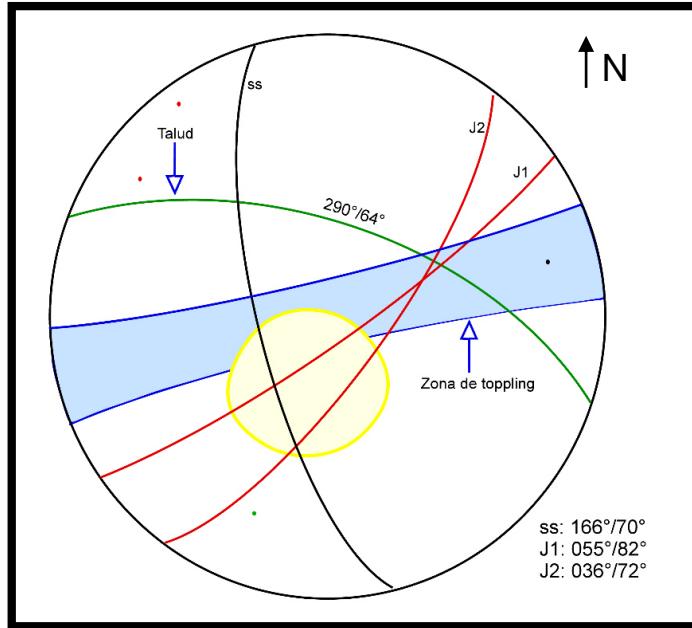


Figura 26.- Estereofalsilla de la concentración de polos de diaclasado de la cuarta estación.

## 4.4 Deslizamientos

### 4.4.1 Introducción

La estabilidad de taludes a ciencia cierta requiere de mucha experiencia en el área y al momento de saber interpretar los datos en campo, experiencia que se va adquiriendo a través de los años.

Los movimientos en masa tienden a ser procesos geológicos muy desastrosos que afectan tanto a los humanos como a la infraestructura, causando muertes y daños en las propiedades con valores de millones de pesos, sin embargo, aún a la fecha del día de hoy sigue haciendo falta la concientización, tanto de las autoridades negadas a gastar más dinero en una obra como en las personas que se aferran a construir sus viviendas cerca o dentro de zonas inestables.

El realizar los estudios necesarios para poder llevar a cabo una construcción adecuada, requiere de un gasto que los encargados de la obra a proyectar prefieren ahorrarse, por el simple hecho de que esta salga más barata, que a largo plazo ya sea por un mal diseño o el mal manejo del material al realizar la construcción, traerá consigo consecuencias catastróficas haciendo que se genere un gasto de remediación mucho más grande de lo que hubiese costado si se tuviera a conciencia necesaria en un principio sobre estos procesos.

Por deslizamiento de una masa se entiende que es un movimiento de la masa provocado por la inestabilidad de un talud por múltiples causas posibles, como puede ser por cambios en la topografía, por sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o por factores antrópicos o naturales que modifiquen su estado natural. Este deslizamiento se producirá cuando una parte del terreno se convierta en una zona inestable y fallará con respecto a la zona estable.

Un talud es una masa de tierra o roca la cual no es en su totalidad plana, si no que consta de una pendiente y cuenta con cambios significativos en lo que respecta a su altura (Figura 27). Este puede ser o no generado de manera artificial y está definido por los siguientes elementos constructivos:

- Pie o base: corresponde al cambio brusco de la pendiente en la parte inferior del talud que por lo general es de geometría cóncava.

- Cabeza o cresta: hace referencia al cambio brusco de la pendiente, pero en la parte superior del talud, cuando la pendiente desde este punto hacia la parte de abajo es muy alta se le denomina escarpe.
- Altura: es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual está perfectamente definida en los taludes artificiales, en cambio en los naturales es un poco más complicado definirla ya que el pie y la cabeza no están perfectamente marcados.
- Altura del nivel freático: es la distancia vertical que existe entre el pie del talud hasta el nivel del agua que por lo regular se mide debajo de la cabeza del talud.
- Pendiente: es la inclinación que presenta el talud, puede ser medida en grados o en porcentaje. Esta inclinación del talud también dependerá del material que se tenga, por ejemplo, en roca la pendiente será más marcada que en materiales de baja resistencia o blandos.

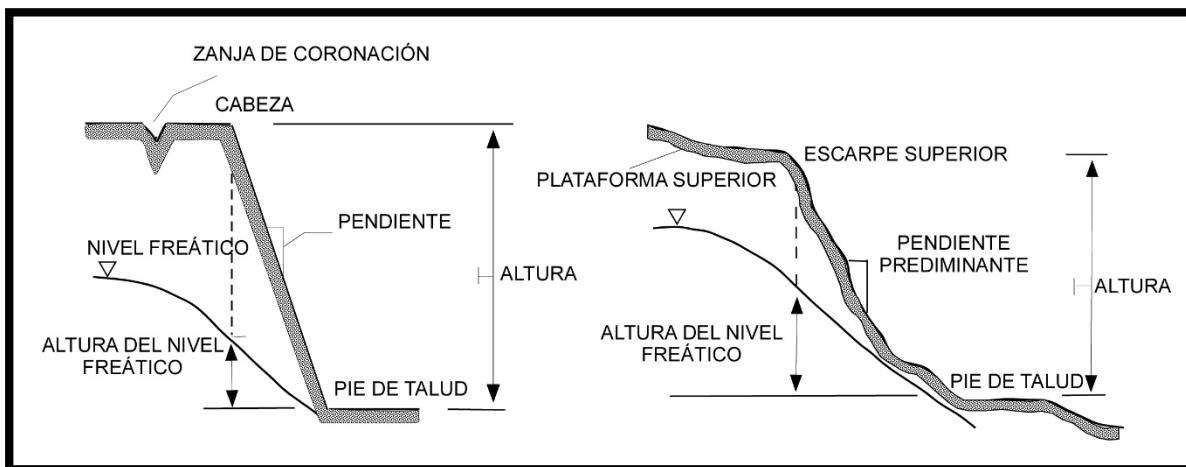


Figura 27.- Nomenclatura de las partes de un talud (tomada de Suarez Díaz 1998)

La estabilidad de un talud está relacionada con el medio que lo rodea, así como por los factores geométricos, geológicos, hidrogeológicos y factores geotécnicos. La combinación de estos factores va a determinar la condición de rotura a lo largo de la superficie, y que sea cinemáticamente posible este desprendimiento.

Principalmente los mecanismos de rotura y modelos de inestabilidad están condicionados por la geometría y la geología del lugar, y estos pueden ser clasificados como factores condicionantes y factores detonantes.

### Factores condicionantes

- Estratigrafía y litología
- Estructura geológica
- Hidrogeología
- Propiedades del talud
- Tensiones naturales y deformacionales

### Factores detonantes

- Sobrecargas estáticas
- Cargas dinámicas
- Cambios de condiciones hidrogeológicas
- Factores climáticos
- Variaciones en la geometría
- Reducción de parámetros resistentes

En los casos de los macizos rocosos la resistencia estará determinada por las condiciones geológicas, como la distribución de las discontinuidades y el arreglo de los bloques, mientras que para los suelos esta resistencia estará determinada por la litología, estratigrafía y las condiciones hidrogeológicas.

El saber reconocer y distinguir muy bien estos factores permiten un correcto análisis del talud, su respectivo diseño y en caso que sea necesario, presentar las remediaciones adecuadas para su estabilidad.

Los deslizamientos como se mencionó anteriormente pueden ser causados por simple erosión o por algún efecto secundario, por lo general ocurren a lo largo del plano de debilidad o la falla, estos pueden ser en forma de caída libre, movimientos en masa, erosión o flujos.

Un movimiento en masa puede ser clasificado en varias partes (Figura 28), como se describe a continuación:

- Cabeza: esta es la parte superior de la masa del movimiento donde este comienza a desprenderse.

- Cima: parte más alta, se encuentra entre el material fallado y el escarpe principal.
- Corona: se encuentra por encima de la cabeza, es el material inalterado que se encuentra junto al escarpe principal.
- Escarpe principal: superficie con alto grado de pendiente, posterior al área que se encuentra en movimiento.
- Escarpe secundario: superficie de gran pendiente seguida del escarpe principal.
- Superficie de falla: es el área que delimita la masa en movimiento y se encuentra bajo de esta.
- Pie de la superficie de falla: es la línea que conecta la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
- Base: es el área cubierta por el material desplazado a causa del movimiento en masa.
- Punta o uña: es el punto más lejano de la cima partiendo de la base.
- Cuerpo principal de deslizamiento: material desplazado a causa del deslizamiento.
- Superficie original del terreno: el área del terreno antes de que ocurriera el deslizamiento.
- Costado o flanco: costado lateral del deslizamiento, se debe diferenciar bien el derecho del izquierdo.

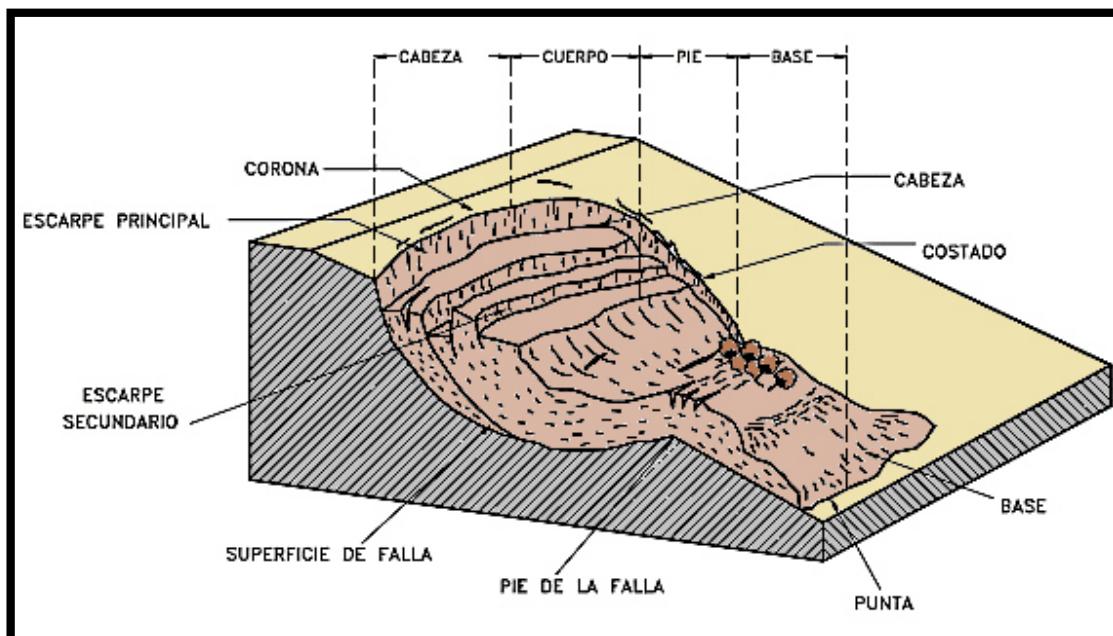


Figura 28.- Nomenclatura de las partes de un deslizamiento (tomada de Suárez Díaz 1998).

#### 4.4.2 Clasificación de movimientos

La clasificación más utilizada es la propuesta por Varnes en 1978 la cual ha sido modificada a lo largo del tiempo, pero en su mayoría tomada como base, como es el caso de González de Vallejo *et al.*, (2002) (Figura 29).

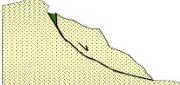
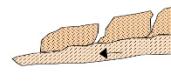
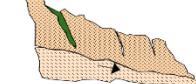
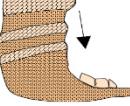
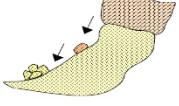
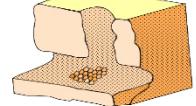
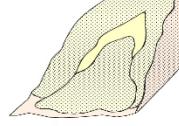
TIPOS DE MOVIMIENTOS DE LADERA				
DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES	  			
DESLIZAMIENTOS TRANSLACIONALES	 	SUELOS	ROCAS	
FLUJOS	 	SUELOS	DERRUBIOS	
DESPRENDIMIENTOS	  			
VUELCOES	 	ROCAS	SUELOS	
AVALANCHAS	 	ROCAS	DERRUBIOS	
DESPLAZAMIENTOS LATERALES		SUELOS		BLOQUES ROCOSOS

Figura 29.-Clasificación de movimientos (modificado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

- Deslizamientos translacionales y rotacionales

El desprendimiento de una masa puede ser de manera progresiva, es decir, no inicia simultáneamente, si no que se va generando de manera gradual a lo largo del plano de la falla. Estos pueden clasificarse en rotacionales y translacionales.

Deslizamientos rotacionales: la superficie de la falla posee una geometría cóncava y el movimiento se va produciendo paralelamente con respecto a la superficie, son más frecuentes en suelos cohesivos.

Por lo general la superficie de rotura tiende a formar superficies curvas o dicho en un lenguaje más técnico, en forma de “cuchara”. Una vez fallado el material comienzan a generarse varios bloques que se deslizan entre sí formando escalones, con la parte más basculada hacia la ladera. Estos movimientos pueden ser clasificados de acuerdo a su comportamiento como lo muestra la Figura 30.

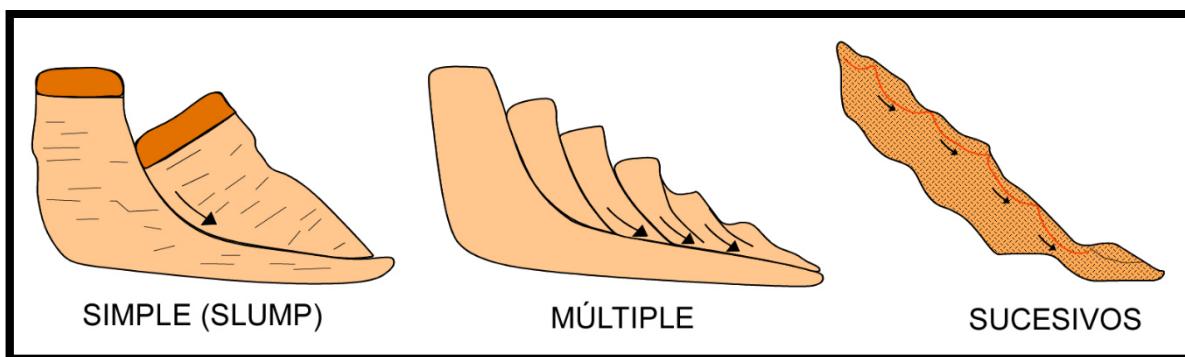


Figura 30.- Ejemplo de un movimiento circular (modificado de González de Vallejo *et al.*, 2002)

Deslizamientos translacionales: el desplazamiento de la masa tiende a generarse hacia las superficies de los planos más débiles preexistentes. En algunos deslizamientos de este tipo es común que la masa ya deformada rompa y se convierta en flujos. Estos no suelen ser muy profundos, aunque sí podrían alcanzar grandes distancias.

En general estos deslizamientos tienden a ser más rápidos que los rotacionales, debido a las características cinemáticas que presenta al momento de generarse la rotura.

- Flujos

Estos pueden transportar desde partículas pequeñas de suelo hasta bloques de roca y para que se lleguen a generar es necesaria la presencia de agua, para que el material tienda a comportarse como un fluido, estos regularmente suelen ser más comunes para suelos cohesivos y al ser movimientos poco profundos pueden llegar a generarse en pendientes menores a los 10° (Figura 31). Estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Coladas de barro: generalmente compuestos por partículas muy finas de materiales y puede alcanzar varios metros por segundo de velocidad.

Flujos de derrubio: movimientos compuestos por una mezcla que va desde partículas muy finas hasta cantos rodados y bloques de roca. Generados en laderas donde el material este no consolidado.

Golpes de arena: generados inicialmente sacudidas bruscas cuando hay actividad sísmica que provoca el colapso estructural del suelo.

Reptación: es un movimiento muy superficial y lento, puede ser distinguido al ver el desalineamiento de los árboles, así como de postes y paredes. Este movimiento puede alcanzar apenas unos metros de desplazamiento.

Solifluxión: al igual que la reptación es un movimiento muy superficial, solo que este es generado por procesos de hielo-deshielo, que afecta e agua contenida en los suelos finos en regiones frías.

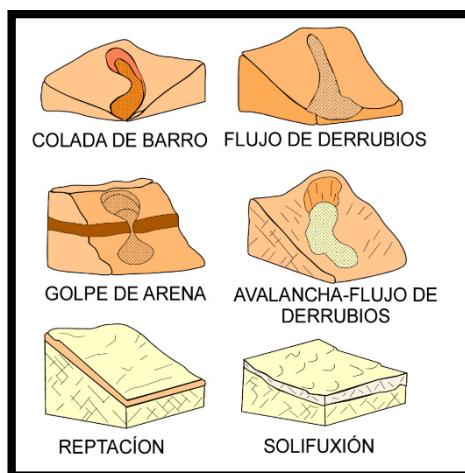


Figura 31.- .-Ejemplo de deslizamientos de tipo flujo (modificado de Corominas y García Yagüe, 1997).

### Caídos y Vuelcos

Caídos: son desprendimientos que van en caída libre con velocidad muy alta de bloques o masas rocosas de un talud, este desprendimiento también puede ser en saltos o rodando, pueden ser desde partículas pequeñas hasta bloques de varios metros cúbicos. Son desprendidos principalmente a causa de la erosión y pérdida de apoyo de los bloques sueltos, las sacudidas sísmicas, la infiltración de agua, las raíces de los árboles, los cortes de vías, etc. (Figura 32).

Su velocidad puede ser calculada con respecto a la altura del talud mediante la siguiente expresión:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Donde:

$g$  = aceleración debida a la gravedad

$h$  = altura del caído

$V$ = velocidad

La velocidad va a disminuir si este no se desprende en caída libre. A menor ángulo con la horizontal, menor es la velocidad.

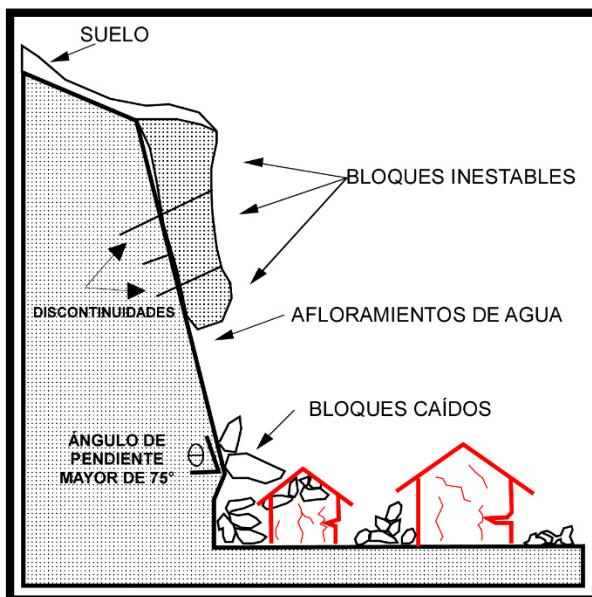


Figura 32.- Ejemplificación de un caído (modificada de Suárez Díaz 1998).

Vuelcos: son desprendimientos de estratos completos o fragmentos completos de estos, tienden a generarse cuando la estratificación ocurre en sentido contrario al del talud (Figura 33).

El mecanismo de este desprendimiento consiste en una rotación de los estratos hacia adelante, que generalmente es típico de masas rocosas, puede ocurrir desde pequeñas hasta grandes escalas. Estos desprendimientos suelen iniciar lento e ir aumentando su velocidad constantemente, pero esta puede variar para cada caso, y suelen estar condicionados por las características de las discontinuidades.

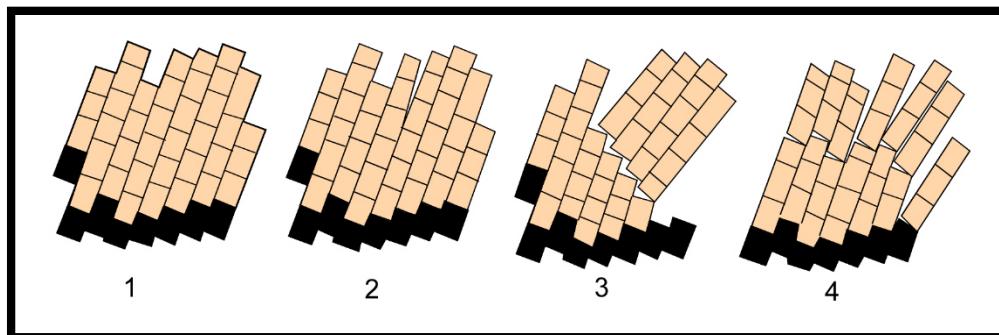


Figura 33.- Proceso de falla por volcamiento (tomada y modificada de Suarez Diaz 1998).

- Avalanchas

Cuando los movimientos de tipo “flujo” alcanzan gran velocidad son clasificados como avalanchas. Son el resultado de desprendimientos a gran magnitud producidos por un alto ángulo en la pendiente y la falta de cohesión en los materiales, descendiendo ladera abajo hasta alcanzar velocidades mayores de 100km/h.

Estos forman una serie de masa viscosa con gran poder destructivo generados regularmente en cuencas de drenaje, no necesitan estar humectadas precisamente para que ocurra este proceso, en ocasiones puede ocurrir en masas completamente secas.

- Desplazamientos laterales

También denominados de extensión lateral, generados en taludes de baja pendiente, el movimiento ocurre de manera muy lenta efectuándose en bloques rocosos o suelos muy bien cementados que se encuentran depositados sobre materiales blandos y bastante deformables (Figura 34). Causados por la pérdida de la resistencia del material subyacente.

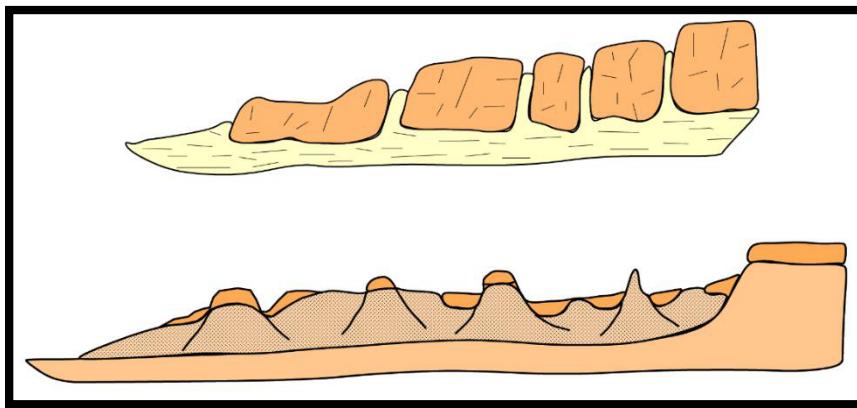


Figura 34.- Ejemplos de desplazamientos laterales (modificado de Corominas y García Yagüe, 1997).

## 4.5 Análisis de estabilidad

Los métodos parten de un planteamiento físico-matemáticos en el cual participan fuerzas estabilizadoras y desestabilizadoras que están actuando sobre el macizo rocoso y están determinando su comportamiento, así como las condiciones de estabilidad.

Si lo que se pretende es evitar una falla estructural, entonces las cargas resistentes deben ser mayores que las actuantes, lo que estará condicionado por la fórmula del factor de seguridad

$$F.S = \frac{\text{fuerza resistente}}{\text{fuerza actuante}}$$

Lo ideal es que el factor de seguridad debe ser mayor que 1 para evitar una falla. En algunos casos este factor puede variar en un intervalo de 1-10, pero por el contrario al obtener un factor menor a 1 nos estaría haciendo referencia a que esa masa esta en movimiento o esta propensa a fallar en cualquier momento.

En base a las clasificaciones descritas anteriormente y lo observado en campo se proponen dos teorías en cuestión a los tipos de deslizamiento rotura que pudiese presentar el corte de talud

La principal propuesta de la cual se tiene certeza es que el tipo de desprendimientos que se tiene en el área son de tipo “caídos” esto debido al grado de fracturamiento presente de la zona con respecto a la posición de los estratos por lo cual se puede definir la velocidad que estos llegan a alcanzar.

Como se describe dentro de este mismo capítulo dentro del apartado de clasificación de movimientos en masa, para los caídos la velocidad se obtiene mediante la siguiente formula:

$$V = \sqrt{2gh}$$

Donde:

$g$  = aceleración debida a la gravedad

$h$  = altura del caído

$V$ = velocidad

Para llegar a esta velocidad se obtuvo un promedio de diversas alturas a las que podía desprenderse los bloques de roca, claramente tomando las más altas, ya que son con las que tomara más velocidad.

Velocidad para:

$$g= 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h= 17 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2(9.81)(17)} = 18.2631 \text{ m/s}$$

Velocidad para:

$$g= 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h= 15 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2(9.81)(15)} = 17.1552 \text{ m/s}$$

Velocidad para:

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$h = 12 \text{ m}$$

$$V = \sqrt{2(9.81)(12)} = 15.3441 \text{ m/s}$$

Obteniendo un promedio de una velocidad de  $16.9208 \text{ m/s}^2$ .

Se proponen dos tipos de deslizamientos, que en dado caso el material falle, pudiesen ocurrir, el deslizamiento de tipo planar y el de tipo rotacional.

La rotura planar es producida a favor de una superficie preexistente, ya sea de estratificación, planos de diaclasado, alguna falla, etc.

La condición básica para que ocurra este tipo de deslizamiento (Figura 35), es que el plano preferencial de discontinuidades buce a favor del talud ( $\psi > \alpha$ ) y el buzamiento debe ser mayor que el ángulo de fricción interna ( $\alpha > \phi$ )

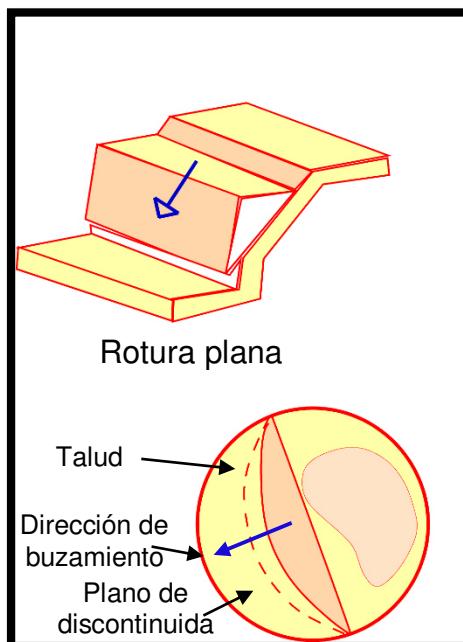


Figura 35.- Representación estereográfica de una rotura plana en una discontinuidad en relación con la orientación del talud ( tomado y modificado de González de Vallejo *et al.*, 2002).

Para obtener el coeficiente de seguridad se parte de la siguiente ecuación de acuerdo a González de Vallejo *et al.*, (2002):

$$FS = \frac{cA + (W \cos \psi_p - U - V \sin \psi_p) \tan \phi}{W \sin \psi_p + V \cos \psi_p}$$

Donde:

$cA$  = representa a la fuerza debida a la cohesión en el plano de rotura.

$(W \cos \alpha - U) \tan \phi$  = es la fuerza ejercida por el rozamiento del plano.

$W \cos \alpha$ = representa la componente estabilizadora del peso.

$U$ = es la fuerza debida a la presión del agua

$W \sin \alpha$  = es la componente del peso por el deslizamiento.

$V$  = es la fuerza ejercida por el agua sobre la grieta de tracción.

Para encontrar las componentes “A”, “U”, “V” y “W” es mediante las fórmulas que se presentaran a continuación

$$A = \frac{H - Z}{\sin \psi_p}$$

$$U = \frac{1}{2} (\gamma)(Z_w)(Z) \left( \frac{H - Z}{\sin \psi_p} \right)$$

$$V = \frac{1}{2} (\gamma_w)(Z_w)^2$$

$$W = \frac{1}{2} (\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right)$$

Donde:

$Z$ = profundidad de la grieta de tracción.

$Z_w$ = profundidad del agua en la grieta de tracción.

$\gamma$ = peso específico de la roca.

$\gamma_w$ = peso específico del agua.

$\psi_p$ = Buzamiento preferencial de la estratificación.

$\psi_t$ = Buzamiento del talud.

$\phi$  = ángulo de fricción interna.

$H$ = altura del talud.

Todos los valores son obtenidos mediante la literatura, a excepción del buzamiento del talud y de la estratificación del área, así como la altura del talud, estos fueron tomados en campo (Tabla 18).

Símbolo	Valor
$Z$	0
$Z_w$	0
$\gamma$	2,400 kg/m <sup>3</sup> (Chapa Arce, 2016)
$\gamma_w$	1000
$\psi_p$	48°
$\psi_t$	64°
$\phi$	25°- 35°(González de Vallejo <i>et al.</i> , 2002)
$H$	17 m
$C$	20,000 kg/m <sup>2</sup> (González de Vallejo <i>et al.</i> , 2002)

Tabla 18.-valores adoptados para el cálculo de factor de seguridad.

Tomando en cuenta los valores se pasa a sustituir en las formulas anteriores.

$$A = \frac{H - Z}{\operatorname{sen} \psi_p}$$

$$A = \frac{17 - 0}{\operatorname{sen} 48^\circ} = \boxed{22.88}$$

$$U = \frac{1}{2} (\gamma)(Z_w)(Z) \left( \frac{H - Z}{\operatorname{sen} \psi_p} \right)$$

$$U = \frac{1}{2} (2400)(0)(0) \left( \frac{17 - 0}{\operatorname{sen} 48} \right) = \boxed{0}$$

$$V = \frac{1}{2} (\gamma_w)(Z_w)^2$$

$$V = \frac{1}{2} (1000)(0)^2 = \boxed{0}$$

$$W = \frac{1}{2} (\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right)$$

$$W = \frac{1}{2} (2400)(17)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{17}\right)^2}{\tan 48} - \frac{1}{\tan 64} \right) = \boxed{143114.46}$$

Teniendo los valores se pasa a sustituir en la fórmula del factor de seguridad tomando en cuenta el ángulo de rozamiento de  $25^\circ$

$$FS = \frac{(20000)(22.88) + (143114.46 \cos 48 - 0 - 0 \sin 48) \tan 25}{143114.46 \sin 48 + 0 \cos 48}$$

$$FS = \frac{457600 + (95762.2654)(0.466308)}{106354.7704}$$

***FS = 4.72245***

Tomando en cuenta un ángulo de rozamiento de 35°

$$FS = \frac{(20000)(22.88) + (143114.46 \cos 48 - 0 - 0 \sin 48) \tan 35}{143114.46 \sin 48 + 0 \cos 48}$$

$$FS = \frac{457600 + (95762.2654)(0.700208)}{106354.7704}$$

***FS = 4.9331***

Deslizamiento rotacional o circular producido en su mayoría en suelos presentándose en forma de una cuchara, sin embargo, en los macizos rocosos que presentan un alto grado de fracturamiento o alteración, puede presentarse este tipo de rotura.

Para este tipo de deslizamiento es común utilizar para la obtención del factor de seguridad el método de dovelas o tajadas, el cual es clasificado en métodos precisos (teorías de Morgenstern-Price, Spencer y Bishop riguroso) y métodos aproximados (Janbú, Fellenius y Bishop simplificado).

Para este caso se utilizó el método sueco Fellenius (1927), el cual consiste en determinar el área a tratar en un perfil del talud proponiendo la zona de falla, dividiendo a su vez el área en dovelas (Figura 36 y 38), esta división es mas a criterio personal y no es necesario que todas tengan las mismas dimensiones. Se aplicará la fórmula de Fellenius para cada dovela para al final obtener una sumatoria y determinar el Factor de Seguridad para el macizo en general.

Para obtener el coeficiente de seguridad se parte de la siguiente formula obtenida de Sanheza Plaza y Rodríguez Cifuentes (2013):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [C * \Delta L + W_n * \cos(\alpha_n) * \tan(\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin(\alpha_n)}$$

### Talud de la estación 2

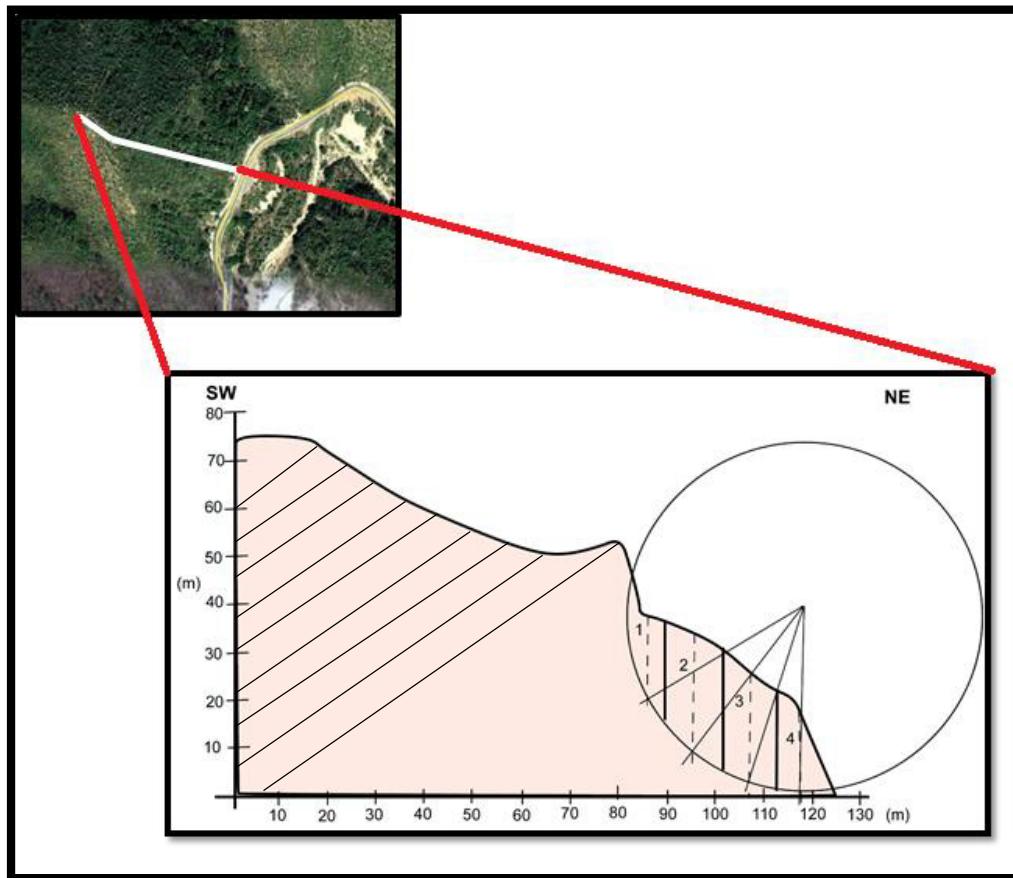


Figura 36.- Perfil de la estación número 2 representativo para el talud de estudio, el cual es dividido en 4 dovelas para obtener el factor de seguridad, las líneas continuas dentro del perfil señalan el echado general en relación con el corte del talud.

Para el calculo de cada dovela es necesario tomar en cuenta el peso específico de la roca " $\gamma$ ", la cohesión "c" y el ángulo de rozamiento (Tabla 19), mientas que los demás datos serán obtenidos de acuerdo a las medidas de cada dovela (Figura 37).

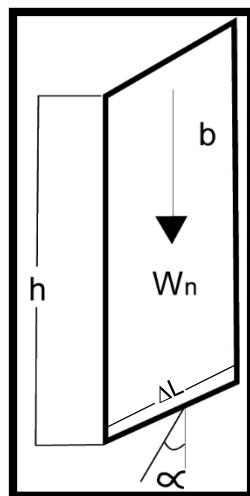


Figura 37.- Esquema de una dovela de acuerdo al método de Fellenius ( tomado y modificado de Sanhueza Plaza. y Rodríguez Cifuentes, 2013).

$\gamma$	2,400 kg/m <sup>3</sup> (Chapa Arce, 2016)
C	20,000 kg/m <sup>2</sup> (González de Vallejo <i>et al.</i> , 2004)
$\phi$	25° (González de Vallejo <i>et al.</i> , 2004)

Tabla 19.- Propiedades de la roca, así como el ángulo de rozamiento del talud que se está trabajando.

En base a los datos anteriores en relación con las mediciones del perfil de la Figura 36, se obtienen los datos que se presentan en la Tabla 20.

Dovel	b (m)	h (m)	$\alpha$ (°)	$\Delta L = b/\cos\alpha$	$W=(b)(h)(\gamma)$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$
1	3.3	17.2	58	6.23	136224	0.53	0.85
2	6.1	24.4	38	7.72	357216	0.79	0.62
3	5.5	22.2	16	5.73	293040	0.96	0.28
4	4.4	16.7	1	4.44	176352	0.99	0.02

Tabla 20..- Datos sobre el cálculo de cada una de las dovelas.

Teniendo disponibles estos datos se pasa a hacer la sustitución en la fórmula para cada una de las dovelas.

Para la dovela 1:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [C * \Delta L + W_n * \cos(\alpha_n) * \tan(\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin(\alpha_n)}$$

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 6.23 + 136224 * 0.53) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 136224 * 0.85)}$$

$$FS = \frac{92213.4}{115790.4}$$

Para la dovela 2

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 7.72 + 357216 * 0.79) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 357216 * 0.62)}$$

$$FS = \frac{205202.3}{221473.92}$$

Para la dovela 3

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 5.73 + 293040 * 0.96) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 293040 * 0.28)}$$

$$FS = \frac{185987.6}{82051.2}$$

Para la dovela 4

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 4.44 + 176352 * 0.99) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 176352 * 0.02)}$$

$$FS = \frac{123792.5}{3527.04}$$

Por lo que al aplicarse en la formula general realizando la sumatoria de cada dovela seria el siguiente calculo.

$$FS = \frac{92213.4 + 205202.3 + 185987.6 + 123792.5}{115790.4 + 221473.92 + 82051.2 + 3527.04}$$

$$FS = \frac{607195.8}{422842.56}$$

$$FS = 1.4$$

Este valor de 1.4 me da como resultado una condición metaestable, por lo cual, la probabilidad de ocurrencia de este tipo de deslizamiento es mucho mayor que la de uno de tipo planar.

Si se pretendiera llegar al escenario donde FS=1, el talud presenta un estado crítico en este punto, con altas posibilidades de deslizamiento. Para tener este escenario la cohesión del macizo rocoso deberá disminuirse a un punto de comportamiento de suelo, mecánicamente hablando, dentro de análisis de estabilidad. Esta consideración se plantea como consecuencia de, debido al alto fracturamiento que presenta el talud, mecánicamente se comporta como una masa independiente. Por ello se sugiere la disminución de la cohesión, la cual se presenta en la Tabla 21, donde esta se reducida de manera regresiva hasta llegar a un FS=1.

Sin embargo, esta propiedad está muy lejos de apegarse a los materiales físicos con los que se están trabajando realmente.

Cohesión	F.S.
18,000 kg/m <sup>2</sup>	1.4
15,000 kg/m <sup>2</sup>	1.3
12,000 kg/m <sup>2</sup>	1.2
10,000 kg/m <sup>2</sup>	1.16
9,000 kg/m <sup>2</sup>	1.14
8,000 kg/m <sup>2</sup>	1.11
7,000 kg/m <sup>2</sup>	1.1
5,000 kg/m <sup>2</sup>	1

Tabla 21.- regresión de la cohesión en la cálculo de análisis de seguridad para en método de Fellenius.

Talud de la estación 2

Calculo para un deslizamiento planar

Símbolo	Valor
Z	0
$Z_w$	0
$\gamma$	2,400 kg/m <sup>3</sup> (Chapa Arce, 2016)
$\gamma_w$	1000
$\psi_p$	58°
$\psi_t$	62°
$\phi$	25°- 35°(González de Vallejo <i>et al.</i> , 2002)
H	8 m
C	20,000 kg/m <sup>2</sup> (González de Vallejo <i>et al.</i> , 2002)

Tabla 22.- valores adoptados para el cálculo de factor de seguridad

Que de acuerdo con la sustitución de las siguientes formulas se tiene:

$$A = \frac{H - Z}{\operatorname{sen} \psi_p}$$

$$A = \frac{8 - 0}{\operatorname{sen} 58^\circ} = \boxed{9.41}$$

$$U = \frac{1}{2} (\gamma)(Z_w)(Z) \left( \frac{H - Z}{\operatorname{sen} \psi_p} \right)$$

$$U = \frac{1}{2} (2400)(0)(0) \left( \frac{8 - 0}{\operatorname{sen} 58^\circ} \right) = \boxed{0}$$

$$V = \frac{1}{2} (\gamma_w)(Z_w)^2$$

$$V = \frac{1}{2} (1000)(0)^2 = \boxed{0}$$

$$W = \frac{1}{2} (\gamma)(H)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{Z}{H}\right)^2}{\tan \psi_p} - \frac{1}{\tan \psi_t} \right)$$

$$W = \frac{1}{2} (2400)(8)^2 \left( \frac{1 - \left(\frac{0}{8}\right)^2}{\tan 58} - \frac{1}{\tan 62} \right) = \boxed{7296}$$

Teniendo los valores se pasa a sustituir en la fórmula del factor de seguridad tomando en cuenta el ángulo de rozamiento de 25°

$$FS = \frac{(20000)(9.41) + (7296 \cos 58 - 0 - 0 \sin 58) \tan 25}{7296 \sin 58 + 0 \cos 58}$$

$$FS = \frac{188200 + (3866.88)(0.466308)}{6201.6}$$

$$\boxed{FS = 30.64}$$

Tomando en cuenta un ángulo de rozamiento de 35°

$$FS = \frac{(20000)(9.41) + (7296 \cos 58 - 0 - 0 \sin 58) \tan 35}{7296 \sin 58 + 0 \cos 58}$$

$$FS = \frac{188200 + (3866.88)(0.700208)}{6201.6}$$

$$\boxed{FS = 30.78}$$

Con estos valores obtenidos se descarta por completo la ocurrencia de este tipo de deslizamiento.

-Cálculo para deslizamiento rotacional

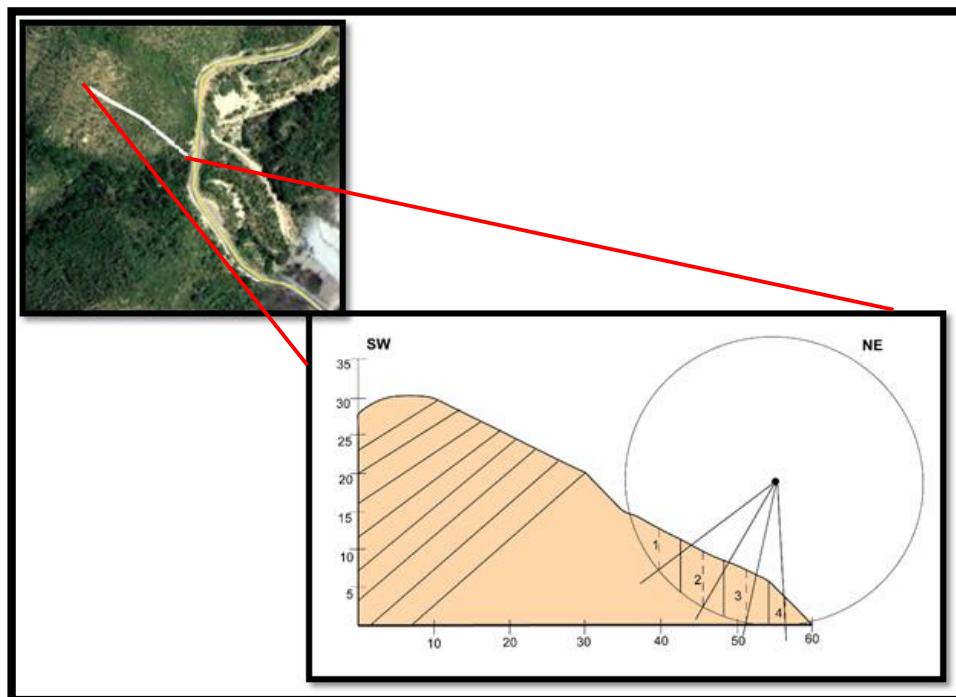


Figura 38.- Perfil de la estación número 3, el cual es dividido en 4 dovelas para obtener el factor de seguridad, las líneas continuas dentro del perfil señalan el echado general en relación con el corte del talud.

Tomando como base los datos de la Tabla 19, ya que las condiciones del medio son similares se prosigue a la obtención el cálculo del Factor de Seguridad para este talud, con los datos de la Tabla 21.

Dovel	b (m)	h (m)	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	$\Delta L = b/\cos\alpha$	$W = (b)(h)(\gamma)$	$\cos\alpha$	$\sin\alpha$
1	2.78	5.56	53	4.62	37096.32	0.602	0.799
2	2.92	7.22	31	3.41	50597.76	0.857	0.515
3	3.06	6.94	17	3.20	50967.36	0.956	0.292
4	1.94	4.72	2	1.94	21976.32	0.999	0.035

Tabla 23.- Datos sobre el cálculo de cada una de las dovelas.

Para la dovela 1:

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [C * \Delta L + W_n * \cos(\alpha_n) * \tan(\phi)]}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n * \sin(\alpha_n)}$$

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 4.62 + 37096.32 * 0.602) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 37096.32 * 0.799)}$$

$$FS = \frac{53924.03278}{29639.95968}$$

Para la dovela 2

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 3.41 + 50597.76 * 0.857) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 50597.76 * 0.515)}$$

$$FS = \frac{52434.27175}{26057.8464}$$

Para la dovela 3

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 3.20 + 50967.36 * 0.956) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 50967.36 * 0.292)}$$

$$FS = \frac{52980.6542}{14882.46912}$$

Para la dovela 4

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [20000 * 1.94 + 21976.32 * 0.999) * \tan(25)]}{\sum_{n=1}^{n=p} 21976.32 * 0.035)}$$

$$FS = \frac{28554.54153}{769.1712}$$

Por lo que al aplicarse en la formula general realizando la sumatoria de cada dovela seria el siguiente calculo.

$$FS = \frac{53924.03278 + 52434.27175 + 52980.6542 + 28554.54153}{29639.32 + 26057.8464 + 14882.46912 + 769.1412}$$

$$FS = \frac{187893.5003}{71349.4464}$$

$$FS = 2.6$$

Este resultado de 2.6 indica que el talud se encuentra estable por lo que un deslizamiento en este no es probable.

En complemento de este análisis, se realizó un mapa de Susceptibilidad, si bien se define a la susceptibilidad como la tendencia de una zona a ser afectada por la influencia de un proceso (movimiento en masa). Para realizar un mapa de susceptibilidad es necesario tomar en cuenta o partir de datos topográficos, litológicos, estructurales, etc.

Cabe mencionar que estos mapas pueden identificar las áreas donde se puede presentar un movimiento en masa con mayor probabilidad, sin embargo, no pueden predecir cuándo ocurrirá este proceso. Por ello se deben considerar los límites de susceptibilidad como una referencia, pero no como un valor absoluto (Villacorta *et al.*, (2012)).

El mapa que se presenta en el Anexo II (2.2) es clasificado en tres colores (colores del semáforo), rojo, amarillo, verde y blanco. Siendo el rojo el de mayor susceptibilidad, contando con las pendientes más abruptas que van arriba de los 55° y el color blanco la zona potencialmente segura ya que son zonas con pendientes menores a los 15°.

## **Capítulo V**

### **5.-Conclusiones y recomendaciones**

Al obtener los resultados mencionados en el Capítulo 3 para el RMR se procede a interpretar la siguiente información;

- con el puntaje obtenido el talud se clasifica como clase III, de calidad media
- posee un ángulo de rozamiento que varía de los  $25^\circ - 35^\circ$ ,
- al rebasar está pendiente, la masa rocosa que compone a este talud tenderá a desestabilizarse y fallará,
- se puede definir una cohesión que va de  $2 - 3 \text{ kg/cm}^2$ ,
- el Índice Q determina que la calidad de la roca es muy mala.

El análisis cinemático del área de estudio muestra que la estatificación sigue un rumbo NW-SE con buzamiento predominante hacia el SW, perpendicular al corte carretero del talud, el cual coincide con el fracturamiento de los estratos. Como consecuencia a ésta relación entre la estratificación y el talud, se determina que, a pesar que sea un macizo muy fracturado, se encuentre metaestable. Esta información se complementa con el mapa de susceptibilidad y el mapa estructural de la zona agregados en el apartado de Anexos.

Debido a la posición de los estratos estos bloques presentes en el área, se están desprendiendo en forma de caídos, como consecuencia de la fuerza de gravedad y falta de soporte. De ésta manera se puede sacar la velocidad a la que se van desplazando. Esto debido a la influencia que tiene el corte carretero sobre el talud, a pesar del alto grado de fracturamiento presente en el área.

Adicionalmente de este tipo de desprendimiento, se proponen dos tipos de deslizamientos que se pueden generar dadas las condiciones presentes en el área.

- por un movimiento rotacional, debido a la intensidad de fracturamiento que está presente, los bloques pueden actuar como una masa independiente y tenderán a rotar contra el plano de falla o contra el material más consolidado,
- mediante un deslizamiento planar, que en algún momento pueda deslizarse sobre un plano de las múltiples fracturas que se presentan; éste es menos

probable, ya que con el análisis de estabilidad el planar obtuvo un resultado de 4.7 indicando que este tipo de deslizamiento no ocurrirá mientras que para el rotacional se obtuvo un valor de 1.4 lo que indica que la masa se encuentra en un estado metaestable y en cualquier momento tenderá a fallar, obteniendo un Factor de Seguridad mayor que uno lo que me indica que esta masa aún no se está desplazando.

- Adicionalmente a este estudio se hizo la comparación con el talud #3, que proporciona valores en el análisis de estabilidad muy altos, concluyendo que un posible deslizamiento en este talud es descartado.

Por lo mencionado se pudo concluir que una posible remediación pudiera ser que la zona se estabilice con pernos sistemáticos con espaciados de 1.5 a 2 metros como se recomienda en el apartado 3.1, pero debido al grado de fracturamiento e inestabilidad de la zona, al meter estos pernos, se le estaría produciendo una serie de vibraciones al macizo que podrían generar su deslizamiento por lo que se descarta este método y se propone el siguiente que sería detener los bloques de caídos colocando una malla de eslabones, dándole el mantenimiento necesario para asegurar que no ocurra ningún tipo de percance. De igual manera se recomienda el sistema de bermas en el talud, lo cual permitirá redefinir el perfil del talud, abatiéndolo y quitándole peso.

## **Capítulo VI**

### **6.-Bibliografía**

**Alva Niño, E.,** (1997). Estudio Geológico – Hidrogeológico de la región noroeste (Sierra las Mitrás – Cerro del Topo – Cerro el Durazno) de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, Nuevo León, 109 p.

**Anderson, T. H., & Schmidt, V. A.** (1983). The evolution of Middle America and the Gulf of Mexico-Caribbean Sea region during Mesozoic time. Geological Society of American Bulletin, 94, 941-966 pp.

**Armas Zagoya, J. M.** (2004). Cartografía geológica estructural del Valle de Huizachal, como base para el análisis de estabilidad de taludes de la carretera Rumbo Nuevo, Tamps. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp 136

**Belandria, N., Bongiorno, F.** (2012). Clasificaciones Geomecánicas de los macizos rocosos según: Bieniawski, Barton, Hoek y Brown y Romana. 21pp.

**Bieniawski von Preini, R. Z.,** (2011). Errores en la aplicación de las clasificaciones geomecánicas y su corrección: Geocontrol, p. 35.

**Braja M, D.** (1985). Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Universidad de Wisconsin, en Madison.: 608.

**Brandenburg, L. A.** (1995). Quätergeologie, Sedimentologie una paläohydrologische Entwicklung des Sedimentationsbeckens in El Calabozo, Canyon Sta. Rosa in der Sierra Madre Oriental, Nordostmexiko. ( Geología Cuaternaria, Sedimentología y Modelado paleohidrológico de la Cuencas edíemntaria en el Calabozo, Cañon Santa Rosa en la Sierra Madre Oriental, Noreste de México), Christian-Albrechts-Universität, Kiel, Alemania, Tesis de Maestría, 91 pp.

**Burrows, R.H.,** (1910). Geology of Northern Mexico, boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo VII, 19 pp.

**Chapa Arce, R. I.,** (2016). Análisis de estabilidad de taludes mediante la revisión cinemática del macizo rocoso en la zona poniente de Monterrey (Cerro de la Loma Larga y Mitrás), Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. 169p.

**Chapa Arce, García Puente, Lemus Alarcón & Garza Vela,** (2010). Estudio geológico-estructural-geofísico para determinar movimientos en masa y riesgos geológicos en el Cañón el Huajuco (La Estanzuela), al sureste del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias de la Tierra. UANL.

---

**Chapa, Guerrero, J. R.** (1993). Massenbewegungen an Steilhängen der Sierra Madre Oriental im Grossraum Monterrey, Mexiko. Tesis Doctoral, RWTH- Aachen, 164 p.

**Chapa Guerrero, J. R.** (1994). Riesgos Geológicos en la Sierra Madre Oriental (Estado de Nuevo León) México., Zbl. Geol. Paläontol.- Teil 1, 1993: 555 - 556 p.

**Chapa Guerrero, J. R.** (1996). Estabilidad de taludes escarpados, Sierra Madre Oriental N. L., México., Zbl. Geol.. Paläontol.- Teil 1, 1994: 1019 – 1026 p.

**Chavez Cabello, G., Cossio Torres, T., Peterson Rodriguez, R. H.** (2004). Change of the maximum principal stress during the Laramide Orogeny in the Monterrey salient, northeast Mexico, In: Sussman, A.J., Weil, A. B. (eds.), Orogenic curvature: Integrating paleomagnetic and structural analyses, Geological Society of America, Special Paper, 383, 145-159 pp.

**Chávez Cabello, G., Torres Ramos, J. A., Porras Vázquez, N. D., Cossío Torres, T., Aranda Gómez, J. J.**, (2011). Evolución estructural del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental en el Cañón de Santa Rosa, Linares, Nuevo León. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Vol 63. 253-270 p.

**Coney, P.J.**, (1976). Plate tectonics and the Laramide Orogeny, New Mexico Geoclinal Society Special Publication, vol. 6, 10pp.

**Córdova Jiménez, M. A.**, (2007). Elaboración de la carta diagnóstico de Riesgos Geológicos por inestabilidad de laderas de la saliente SE del Cerro de las Mitras, Monterrey, N.L., México, UANL, Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesis de Licenciatura, 116 pp.

**Correa Olan, J. C.** (2012). Estudio para definir los parámetros geomecánicos de diseño de obras subterráneas en un proyecto ubicado en Pánfilo Natera, Zacatecas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma De México: 65 p.

**Corominas, J., García Yagüe, A.**, (1997). Terminología de los movimientos de ladera. IV Simposio Nacional sobre taludes y laderas inestables. Granada, vol III. 1072 p.

**Corominas, J., Van Western, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J.-P., Fotopoulou, S., Catani, F., Van Den Eeckhaut, M., Mavrouli, O., Aguilardi, F., Pitilakis, K., Winter, M. G., Pastor, M., Ferlisi, S., Tofani, V., Hervás, J., Smith, J. T.**, (2013). Recomendations for the quantitative analysis of landslide risk. 55 p.

**Eguiluz de Antuñano, Samuel; Aranda García, Mario y Marrett, Randall.** (2000). Tectónica de la Sierra Madre Oriental, México: Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana v. LIII, pp. 1-26.

**Day W, R.**, (2002). Geotechnical earthquake engineering handbook. Mc Graw-Hill. 618 p.

**Díaz, T., Mixon, R., Murray, G. E., Weide, A., Wolleben, J.,** (1959). Mesozoic stratigraphy and structure, Saltillo-Galeana areas, Coahuila and Nuevo León, Texas Geological Society, Guidebook, 106 pp.

**Goldhammer, R. K., Lehmann, P. J., Todd, R. G., Wilson, J.L., Ward, E. C., & Johnson, C. R.** (1991). Sequence stratigraphy and cyclo-stratigraphy of the Mesozoic of the Sierra Madre Oriental, northeast Mexico. Gulf Coast Section, society of Economic Palaeontologists and Mineralogists, 85 pp.

**Goldhammer, R. K.** (1999). Mesozoic sequence stratigraphy and paleogeographic evolution of northeast of Mexico. In: Bartolini, C., Wilson, J.L., and Lawton, T.F. (Eds.), Mesozoic Sedimentary and Tectonic History of North-Central Mexico. Boulder, Colorado, Geological Society of North America Special Paper, 340, 1-58.

**González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortúñoz, L., Oteo, C.** (2002). Ingeniería Geológica. Pearson Educación. Madrid. 744 p.

**Gray, G. G., Johnson, C.A.,** (1995). Structural and Tectonic Evolution of the Sierra Madre Oriental, with emphasis on the Saltillo-Monterrey Corridor, American Association of Petroleum Geologists, Houston, Texas, Field Trip Guidebook, 1-17 pp.

**Gutiérrez Alejandro, A.G.,** (2008). análisis de microfasies de la transición formacional La Casita- Taraises y determinación del límite bioestratigráfico Jurásico-Cretácico en el Cañón de Santa Rosa, Iturbide, Nuevo León, U.A.N.L., Facultad de Ciencias de la tierra, 85 pp.

**Hoek, E., Brown, E.T.,** (1985). Excavaciones subterráneas en roca. McGRAW-HILL. 634 pp.

**Hoek, E., Brown, E.T.,** Estimación de la resistencia de macizos rocosos en la práctica. International Journal of rock mechanics and mining sciences. 28 p.

**Ibarra Martínez, S.E.** (2007). Riesgos geológicos en la región sureste del área Metropolitana de Monterrey, Nuevo León, México (Mederos), Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León.

**Laubscher, D.H.,** (1990). A geomechanics classification system for the rating of rock mass in mine design. Vol 90, 257-273 p.

**Lopez Ramos, E.,** (1979). Geología de Mexico, Tomo II, 2da. Edicion, Mexico, D.F., 454 pp.

**Lozano, A.,** (2009). Martillo Schmidt (Esclerómetro). Geoengineering services & consulting E.I.R.L. 4 p.

**Mckee, J. W., Jones, N.W., & Long, L.E.** (1990). Stratigraphy and provenance of strata along the San Marcos fault, central Coahuila, Mexico. Geological Society of America Bulletin, 102, 593-614.

---

**Medina-Barrera, F.** (1989). Sicherheitsanalyse und Risikobewertung von Massenbewegungen fuer die Stadt Rayones, Nuevo León, Sierra Madre Oriental, Mexiko. Diplom-Arbeit. Darmstadt, Alemania.

**Medina Barrera, F., De León-Gómez, H., Masuch-Oesterreich, D.,** (1998). Análisis cinematográfico de cortes de carreteras en la Sierra Madre Oriental, Noreste de México: GEOGACETA, 4 p.

**Mercedes, F., González de Vallejo, L.** (2007). Manual de campo para la descripción y caracterización de macizos rocosos en afloramientos. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid.

**Michalzik, D.,** (1988). Trias bis tiefste Unter-Kreide der Nordostlichen Sierra Madre Oriental, Mexiko-Fazielle Entwicklung eines passive Kontinental randes: Darmstadt, Hesse, Alemania, Technischen Hochschule Darmstadt, tesis doctoral, 247 pp.

**Michalzik, D., Schumann, D.,** (1994). Lithofacies relations and palaeoecology of Late Jurassic to Early Cretaceous fan delta to shelf depositional system in the Sierra Madre Oriental of north-east Mexico, Sedimentology, 41, 463-477 pp.

**Montalvo Arrieta, J. C., Chávez Cabello, G., Velasco Tapia, F., Navarro de León, I.,** (2009). Causes and efects of landslides in Monterrey Metropolitan Area, NE México, In: Werner, E.D. Friedman, H.P. (eds.), Landslides: Causes, Types and Effects, 32 pp.

**Ocampo Díaz, Y. Z. E., Jenchen, U., Guerrero Suastegui, M.** (2008). Facies y sistemas de depósito del Miembro Arenoso Galeana (Formación Taraises, Cretácico Inferior, NE de México), Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, vol. 25, núm. 3, 438-464 pp.

**Olan Correa, J.** (2012). Estudio para definir los parámetros geomecánicos de diseño de obras subterráneas en un proyecto ubicado en Pánfilo, Natera, Zacatecas. Universidad Autónoma de México. 65 p.

**Ortiz Rodríguez, J. M., González de Vallejo, L.** Manual de ingeniería geológica. Ministerio de industria y energía. 626 p.

**Padilla y Sánchez, R. J.,** (1978 b) Bosquejo Geológico Estructural de la Sierra Madre Oriental en el área Linares-Galeana-San Roberto, Estado de Nuevo León, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, Vol 2 (1), 9 pp.

**Padilla y Sánchez, R. J.,** (1982). Geologic evolution of the Sierra Madre Oriental between Linares, Concepción del Oro, Saltillo, and Monterrey: ResearchGate, 239 p.

**Padilla y Sánchez, R. J.,** (1985). Las estructuras de la curvatura de Monterrey, Estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas y San Luis Potosí, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, Volumen 6, 20 pp.

**Padilla y Sánchez, R. J.,** (1996). Elementos geología estructural. 110 p.

---

**Padilla y Sánchez, R. J.**, (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México: BOLETÍN DE LA SOCIEDAD GEOLÓGICA MEXICANA, v. 1, 24 p.

**Pedraza Rodríguez, U. M.**, (1997). Movimientos en masa, origen y consecuencias en el área de Iturbide, N.L. sierra Madre Oriental, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. 118 p.

**Porras Vázquez, N. D.** (2008). “Análisis estructural del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental en el área Cañón Santa Rosa: Linares, Nuevo León, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Nuevo León. pp. 1-142.

**Piug de la Parra, J. B.**, (2004). Geología aplicada a la ingeniería civil y fotointerpretación. Universidad Autónoma de Nuevo León. 119 p.

**Ramírez Oyanguren, P., Alejano Monge, L.**, (2004). Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes, Madrid.

**Rojas Reyna , C. A.**, (2011). Caracterización geomecánica y análisis de estabilidad de taludes en el tramo carretero Rayones- Galeana, km 6 al 8, UANL., Facultad de Ciencias de la Tierra, Tesina de Licenciatura, 70 pp.

**Romana Ruiz, M.**, Nuevas recomendaciones de excavación y sostenimiento para túneles y boquillas, 9 p.

**Romana Ruiz, M., Serón Gáñez, J. B.**, (2003). Formatos normalizados para la toma de datos de campo a usar en las clasificaciones geomecánicas RMR, Q y SMR: Universidad Politécnica de Valencia, 10 p.

**Sánchez Carlín, E.** (2001). Riesgos geológicos en la porción noroeste del Cerro de la Silla, monterrey, N.L., México. Tesis de Licenciatura. México. UANL.

**Sanhueza Plaza, C., Rodríguez Cifuentes, L.**, (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales, Volumen 12 No 1: Santiago, Chile, Pontificia Universidad Católica de Chile, 13 p.

**Servicio Geológico Mexicano**, (2010). CARTA GEOLÓGICA-MINERA, ITURBIDE G14-C67 NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS: PACHUCA HIDALGO.

**Suárez Díaz, J.**, (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales, Bucaramanga- Colombia, Universidad Industrial de Santander, 540 p.:

**Suarez Díaz, J.**, (2008). Deslizamientos: Análisis geotécnico, Colombia, 413 p.:

**Salinas Jasso R.A.** (2016). Movimientos en masa desencadenados por eventos hidrometeorológicos en el Cañón de Santa Rosa. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. 147 p.

**Torres Chung, C. R.**, (2007). Valoración del riesgo en deslizamientos: Universidad Ricardo Palma, 27 p.

**Torres Ramos, J. A.** (2011). “Análisis geométrico y cinemático del frente tectónico de la Sierra Madre Oriental entre los cañones La Boca y Santa Rosa, Estado de Nuevo León: Linares, Nuevo León, México. Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León. 136 p.

**Twiss, Robert, J., Moores, Eldridge, M.**, (1973). Structural Geology. University of California at Davis. W.H. Freeman and Company. New York. 508pp.

**Velasco Tapia, F., Martinez Paco, M., Iriondo, A., Ocampo Dias, Y. Z. E., Cruz Gamez, E. M., Ramos Ledezma, A., Andaverde, J. A., Ostrooumov, M., Masuch, D.**, (2016). Altered volcanic ash layers of the Late Cretaceous San Felipe Formation, Sierra Madre Oriental (northeastern Mexico): U-Pb geochronology provenance and tectonic setting, Journal of South American Earth Sciences, 56 pp.

**Villacorta, S., Fidel, L., Zavala Carrión, B.**, (2012). Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa del Perú. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69(3), 393-399. Recuperado en 04 de septiembre de 2017, de [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-48222012000300007&lng=es&tlang=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222012000300007&lng=es&tlang=es).

**Zwanziger, J. A.**, (1979). Provincias Mesozoicas Productoras en el Noreste de México, Ingeniería Petrolera, Vol. 19, 35-40 pp.

**Ye, H.** (1997). The arcuate Sierra Madre Oriental orogenic belt, NE Mexico: Tectonic infilling of a recess along the southwestern North. In: K. Soegaard, K. Giles, F. Vega, and T. Lawton (Eds.), Structure, stratigraphy and paleontology of Late Cretaceous-early Tertiary Parras-La Popa Foreland Basin near Monterrey, Mexico: AAPG Filed Trip Guidebook, Filed Trip no. 10, AAGP Annual Meeting, Dallas, Texas, 82-115 pp.

[https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/OrginalSchmid\\_Operating%20Instructions\\_Multilingual\\_high.pdf](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OrginalSchmid_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf)

<http://slideplayer.es/slide/3274210/>

I

**Anexo I**

Datos de la compresión uniaxial de los núcleos, para la obtención de la resistencia a la compresión simple de la roca, parámetro necesario para calcular el RMR, de los cuales se muestran solo parte de ellos, por cuestiones de espacio se redujo a la cantidad del parámetro que se tomó en cuenta, como se menciona en el capítulo 3 en el apartado 3.2 en el cálculo del RMR.

Los datos completos de todos los análisis de los núcleos serán anexados en la versión PDF.

Carga	Fuerza	Diametro	Area	Esfuerzo	Longitud inicial	Deformacion	Deformacion unitaria
kg	N	m	m2	Mpa	m	m	m/m
4068	39907.08	0.05	0.0019635	20.3245089	0.1	0.004596	0.04596
4078	40005.18	0.05	0.0019635	20.3744709	0.1	0.004596	0.04596
4088	40103.28	0.05	0.0019635	20.4244328	0.1	0.004598	0.04598
4099	40211.19	0.05	0.0019635	20.4793909	0.1	0.004594	0.04594
4108	40299.48	0.05	0.0019635	20.5243566	0.1	0.004597	0.04597
4118	40397.58	0.05	0.0019635	20.5743185	0.1	0.004599	0.04599
4129	40505.49	0.05	0.0019635	20.6292767	0.1	0.004602	0.04602
4139	40603.59	0.05	0.0019635	20.6792386	0.1	0.004599	0.04599
4150	40711.5	0.05	0.0019635	20.7341967	0.1	0.004603	0.04603
4160	40809.6	0.05	0.0019635	20.7841586	0.1	0.004601	0.04601
4170	40907.7	0.05	0.0019635	20.8341205	0.1	0.004603	0.04603
4180	41005.8	0.05	0.0019635	20.8840824	0.1	0.004607	0.04607
4190	41103.9	0.05	0.0019635	20.9340444	0.1	0.004606	0.04606
4200	41202	0.05	0.0019635	20.9840063	0.1	0.004604	0.04604
4211	41309.91	0.05	0.0019635	21.0389644	0.1	0.004608	0.04608
4221	41408.01	0.05	0.0019635	21.0889263	0.1	0.004607	0.04607
4231	41506.11	0.05	0.0019635	21.1388882	0.1	0.004609	0.04609
4242	41614.02	0.05	0.0019635	21.1938464	0.1	0.004611	0.04611
4252	41712.12	0.05	0.0019635	21.2438083	0.1	0.004609	0.04609
4262	41810.22	0.05	0.0019635	21.2937702	0.1	0.004608	0.04608
4272	41908.32	0.05	0.0019635	21.3437321	0.1	0.004612	0.04612
4283	42016.23	0.05	0.0019635	21.3986902	0.1	0.004613	0.04613
4293	42114.33	0.05	0.0019635	21.4486521	0.1	0.004613	0.04613
4303	42212.43	0.05	0.0019635	21.4986141	0.1	0.004615	0.04615
4313	42310.53	0.05	0.0019635	21.548576	0.1	0.004616	0.04616
4323	42408.63	0.05	0.0019635	21.5985379	0.1	0.004615	0.04615
4334	42516.54	0.05	0.0019635	21.653496	0.1	0.004617	0.04617
4344	42614.64	0.05	0.0019635	21.7034579	0.1	0.004616	0.04616
4354	42712.74	0.05	0.0019635	21.7534199	0.1	0.004617	0.04617
4364	42810.84	0.05	0.0019635	21.8033818	0.1	0.004616	0.04616
4374	42908.94	0.05	0.0019635	21.8533437	0.1	0.004617	0.04617
4384	43007.04	0.05	0.0019635	21.9033056	0.1	0.004619	0.04619
4395	43114.95	0.05	0.0019635	21.9582637	0.1	0.00462	0.0462
4405	43213.05	0.05	0.0019635	22.0082256	0.1	0.00462	0.0462
4415	43311.15	0.05	0.0019635	22.0581876	0.1	0.004622	0.04622
4425	43409.25	0.05	0.0019635	22.1081495	0.1	0.004623	0.04623
4435	43507.35	0.05	0.0019635	22.1581114	0.1	0.004622	0.04622
4446	43615.26	0.05	0.0019635	22.2130695	0.1	0.004622	0.04622
4456	43713.36	0.05	0.0019635	22.2630314	0.1	0.004625	0.04625
4466	43811.46	0.05	0.0019635	22.3129934	0.1	0.004622	0.04622
4476	43909.56	0.05	0.0019635	22.3629553	0.1	0.004626	0.04626
4486	44007.66	0.05	0.0019635	22.4129172	0.1	0.004625	0.04625
4496	44105.76	0.05	0.0019635	22.4628791	0.1	0.004626	0.04626
4507	44213.67	0.05	0.0019635	22.5178372	0.1	0.004625	0.04625
4517	44311.77	0.05	0.0019635	22.5677991	0.1	0.004626	0.04626
4527	44409.87	0.05	0.0019635	22.6177611	0.1	0.004631	0.04631
4537	44507.97	0.05	0.0019635	22.667723	0.1	0.00463	0.0463
4547	44606.07	0.05	0.0019635	22.7176849	0.1	0.004629	0.04629

4558	44713.98	0.05	0.0019635	22.772643		0.1	0.004631	0.04631
4568	44812.08	0.05	0.0019635	22.8226049		0.1	0.004631	0.04631
4578	44910.18	0.05	0.0019635	22.8725669		0.1	0.004631	0.04631
4588	45008.28	0.05	0.0019635	22.9225288		0.1	0.004631	0.04631
4598	45106.38	0.05	0.0019635	22.9724907		0.1	0.004635	0.04635
4609	45214.29	0.05	0.0019635	23.0274488		0.1	0.004635	0.04635
4619	45312.39	0.05	0.0019635	23.0774107		0.1	0.004633	0.04633
4628	45400.68	0.05	0.0019635	23.1223765		0.1	0.004636	0.04636
4639	45508.59	0.05	0.0019635	23.1773346		0.1	0.004634	0.04634
4649	45606.69	0.05	0.0019635	23.2272965		0.1	0.004638	0.04638
4659	45704.79	0.05	0.0019635	23.2772584		0.1	0.004638	0.04638
4670	45812.7	0.05	0.0019635	23.3322165		0.1	0.004638	0.04638
4680	45910.8	0.05	0.0019635	23.3821784		0.1	0.00464	0.0464
4690	46008.9	0.05	0.0019635	23.4321404		0.1	0.00464	0.0464
4701	46116.81	0.05	0.0019635	23.4870985		0.1	0.004638	0.04638
4711	46214.91	0.05	0.0019635	23.5370604		0.1	0.004642	0.04642
4721	46313.01	0.05	0.0019635	23.5870223		0.1	0.00464	0.0464
4731	46411.11	0.05	0.0019635	23.6369842		0.1	0.004642	0.04642
4741	46509.21	0.05	0.0019635	23.6869461		0.1	0.004641	0.04641
4752	46617.12	0.05	0.0019635	23.7419043		0.1	0.004643	0.04643
4762	46715.22	0.05	0.0019635	23.7918662		0.1	0.004646	0.04646
4772	46813.32	0.05	0.0019635	23.8418281		0.1	0.004644	0.04644
4782	46911.42	0.05	0.0019635	23.89179		0.1	0.004647	0.04647
4792	47009.52	0.05	0.0019635	23.9417519		0.1	0.004644	0.04644
4802	47107.62	0.05	0.0019635	23.9917139		0.1	0.004647	0.04647
4812	47205.72	0.05	0.0019635	24.0416758		0.1	0.004648	0.04648
4822	47303.82	0.05	0.0019635	24.0916377		0.1	0.004649	0.04649
4833	47411.73	0.05	0.0019635	24.1465958		0.1	0.004649	0.04649
4843	47509.83	0.05	0.0019635	24.1965577		0.1	0.00465	0.0465
4853	47607.93	0.05	0.0019635	24.2465196		0.1	0.00465	0.0465
4863	47706.03	0.05	0.0019635	24.2964816		0.1	0.004652	0.04652
4874	47813.94	0.05	0.0019635	24.3514397		0.1	0.00465	0.0465
4884	47912.04	0.05	0.0019635	24.4014016		0.1	0.004652	0.04652
4894	48010.14	0.05	0.0019635	24.4513635		0.1	0.004652	0.04652
4904	48108.24	0.05	0.0019635	24.5013254		0.1	0.004655	0.04655
4915	48216.15	0.05	0.0019635	24.5562835		0.1	0.004655	0.04655
4925	48314.25	0.05	0.0019635	24.6062455		0.1	0.004656	0.04656
4935	48412.35	0.05	0.0019635	24.6562074		0.1	0.004659	0.04659
4945	48510.45	0.05	0.0019635	24.7061693		0.1	0.004653	0.04653
4955	48608.55	0.05	0.0019635	24.7561312		0.1	0.004659	0.04659
4966	48716.46	0.05	0.0019635	24.8110893		0.1	0.004656	0.04656
4976	48814.56	0.05	0.0019635	24.8610513		0.1	0.00466	0.0466
4986	48912.66	0.05	0.0019635	24.9110132		0.1	0.004658	0.04658
4996	49010.76	0.05	0.0019635	24.9609751		0.1	0.004657	0.04657
5006	49108.86	0.05	0.0019635	25.010937		0.1	0.004658	0.04658
5016	49206.96	0.05	0.0019635	25.0608989		0.1	0.004662	0.04662
5027	49314.87	0.05	0.0019635	25.1158571		0.1	0.00466	0.0466
5037	49412.97	0.05	0.0019635	25.165819		0.1	0.004662	0.04662
5047	49511.07	0.05	0.0019635	25.2157809		0.1	0.004663	0.04663
5057	49609.17	0.05	0.0019635	25.2657428		0.1	0.004662	0.04662

5067	49707.27	0.05	0.0019635	25.3157047		0.1	0.004661	0.04661
5078	49815.18	0.05	0.0019635	25.3706628		0.1	0.004666	0.04666
5088	49913.28	0.05	0.0019635	25.4206248		0.1	0.004666	0.04666
5098	50011.38	0.05	0.0019635	25.4705867		0.1	0.004665	0.04665
5108	50109.48	0.05	0.0019635	25.5205486		0.1	0.004663	0.04663
5118	50207.58	0.05	0.0019635	25.5705105		0.1	0.004667	0.04667
5128	50305.68	0.05	0.0019635	25.6204724		0.1	0.004668	0.04668
5139	50413.59	0.05	0.0019635	25.6754306		0.1	0.004668	0.04668
5149	50511.69	0.05	0.0019635	25.7253925		0.1	0.004668	0.04668
5159	50609.79	0.05	0.0019635	25.7753544		0.1	0.00467	0.0467
5169	50707.89	0.05	0.0019635	25.8253163		0.1	0.00467	0.0467
5179	50805.99	0.05	0.0019635	25.8752782		0.1	0.004673	0.04673
5190	50913.9	0.05	0.0019635	25.9302363		0.1	0.004673	0.04673
5200	51012	0.05	0.0019635	25.9801983		0.1	0.004673	0.04673
5210	51110.1	0.05	0.0019635	26.0301602		0.1	0.004673	0.04673
5220	51208.2	0.05	0.0019635	26.0801221		0.1	0.004674	0.04674
5231	51316.11	0.05	0.0019635	26.1350802		0.1	0.004675	0.04675
5241	51414.21	0.05	0.0019635	26.1850421		0.1	0.004676	0.04676
5251	51512.31	0.05	0.0019635	26.2350041		0.1	0.004674	0.04674
5261	51610.41	0.05	0.0019635	26.284966		0.1	0.004675	0.04675
5272	51718.32	0.05	0.0019635	26.3399241		0.1	0.004676	0.04676
5282	51816.42	0.05	0.0019635	26.389886		0.1	0.004678	0.04678
5292	51914.52	0.05	0.0019635	26.4398479		0.1	0.00468	0.0468
5302	52012.62	0.05	0.0019635	26.4898098		0.1	0.004679	0.04679
5312	52110.72	0.05	0.0019635	26.5397718		0.1	0.00468	0.0468
5322	52208.82	0.05	0.0019635	26.5897337		0.1	0.00468	0.0468
5333	52316.73	0.05	0.0019635	26.6446918		0.1	0.004682	0.04682
5343	52414.83	0.05	0.0019635	26.6946537		0.1	0.004682	0.04682
5353	52512.93	0.05	0.0019635	26.7446156		0.1	0.00468	0.0468
5363	52611.03	0.05	0.0019635	26.7945776		0.1	0.004682	0.04682
5373	52709.13	0.05	0.0019635	26.8445395		0.1	0.004683	0.04683
5384	52817.04	0.05	0.0019635	26.8994976		0.1	0.004683	0.04683
5394	52915.14	0.05	0.0019635	26.9494595		0.1	0.004682	0.04682
5404	53013.24	0.05	0.0019635	26.9994214		0.1	0.004683	0.04683
5414	53111.34	0.05	0.0019635	27.0493833		0.1	0.004686	0.04686
5424	53209.44	0.05	0.0019635	27.0993453		0.1	0.004686	0.04686
5435	53317.35	0.05	0.0019635	27.1543034		0.1	0.004685	0.04685
5445	53415.45	0.05	0.0019635	27.2042653		0.1	0.004688	0.04688
5455	53513.55	0.05	0.0019635	27.2542272		0.1	0.004686	0.04686
5465	53611.65	0.05	0.0019635	27.3041891		0.1	0.004687	0.04687
5475	53709.75	0.05	0.0019635	27.3541511		0.1	0.004686	0.04686
5486	53817.66	0.05	0.0019635	27.4091092		0.1	0.004689	0.04689
5496	53915.76	0.05	0.0019635	27.4590711		0.1	0.004692	0.04692
5506	54013.86	0.05	0.0019635	27.509033		0.1	0.004689	0.04689
5516	54111.96	0.05	0.0019635	27.5589949		0.1	0.00469	0.0469
5526	54210.06	0.05	0.0019635	27.6089568		0.1	0.00469	0.0469
5536	54308.16	0.05	0.0019635	27.6589188		0.1	0.004694	0.04694
5547	54416.07	0.05	0.0019635	27.7138769		0.1	0.004693	0.04693
5557	54514.17	0.05	0.0019635	27.7638388		0.1	0.004694	0.04694
5567	54612.27	0.05	0.0019635	27.8138007		0.1	0.004693	0.04693

5577	54710.37	0.05	0.0019635	27.8637626	0.1	0.004696	0.04696
5588	54818.28	0.05	0.0019635	27.9187207	0.1	0.004694	0.04694
5598	54916.38	0.05	0.0019635	27.9686827	0.1	0.004697	0.04697
5608	55014.48	0.05	0.0019635	28.0186446	0.1	0.004699	0.04699
5618	55112.58	0.05	0.0019635	28.0686065	0.1	0.004698	0.04698
5628	55210.68	0.05	0.0019635	28.1185684	0.1	0.004699	0.04699
5638	55308.78	0.05	0.0019635	28.1685303	0.1	0.004698	0.04698
5649	55416.69	0.05	0.0019635	28.2234885	0.1	0.0047	0.047
5659	55514.79	0.05	0.0019635	28.2734504	0.1	0.0047	0.047
5669	55612.89	0.05	0.0019635	28.3234123	0.1	0.004698	0.04698
5679	55710.99	0.05	0.0019635	28.3733742	0.1	0.004699	0.04699
5689	55809.09	0.05	0.0019635	28.4233361	0.1	0.004701	0.04701
5699	55907.19	0.05	0.0019635	28.4732981	0.1	0.004704	0.04704
5709	56005.29	0.05	0.0019635	28.52326	0.1	0.004704	0.04704
5719	56103.39	0.05	0.0019635	28.5732219	0.1	0.004704	0.04704
5730	56211.3	0.05	0.0019635	28.62818	0.1	0.004704	0.04704
5740	56309.4	0.05	0.0019635	28.6781419	0.1	0.004704	0.04704
5751	56417.31	0.05	0.0019635	28.7331	0.1	0.004707	0.04707
5761	56515.41	0.05	0.0019635	28.783062	0.1	0.004707	0.04707
5771	56613.51	0.05	0.0019635	28.8330239	0.1	0.004706	0.04706
5781	56711.61	0.05	0.0019635	28.8829858	0.1	0.004707	0.04707
5792	56819.52	0.05	0.0019635	28.9379439	0.1	0.004708	0.04708
5802	56917.62	0.05	0.0019635	28.9879058	0.1	0.00471	0.0471
5812	57015.72	0.05	0.0019635	29.0378678	0.1	0.004709	0.04709
5822	57113.82	0.05	0.0019635	29.0878297	0.1	0.004709	0.04709
5832	57211.92	0.05	0.0019635	29.1377916	0.1	0.004713	0.04713
5843	57319.83	0.05	0.0019635	29.1927497	0.1	0.004711	0.04711
5853	57417.93	0.05	0.0019635	29.2427116	0.1	0.004713	0.04713
5863	57516.03	0.05	0.0019635	29.2926735	0.1	0.004713	0.04713
5873	57614.13	0.05	0.0019635	29.3426355	0.1	0.004716	0.04716
5883	57712.23	0.05	0.0019635	29.3925974	0.1	0.004714	0.04714
5894	57820.14	0.05	0.0019635	29.4475555	0.1	0.004716	0.04716
5904	57918.24	0.05	0.0019635	29.4975174	0.1	0.004714	0.04714
5914	58016.34	0.05	0.0019635	29.5474793	0.1	0.004714	0.04714
5924	58114.44	0.05	0.0019635	29.5974413	0.1	0.004716	0.04716
5934	58212.54	0.05	0.0019635	29.6474032	0.1	0.004715	0.04715
5944	58310.64	0.05	0.0019635	29.6973651	0.1	0.004718	0.04718
5955	58418.55	0.05	0.0019635	29.7523232	0.1	0.004717	0.04717
5965	58516.65	0.05	0.0019635	29.8022851	0.1	0.004721	0.04721
5975	58614.75	0.05	0.0019635	29.852247	0.1	0.004719	0.04719
5985	58712.85	0.05	0.0019635	29.902209	0.1	0.00472	0.0472
5995	58810.95	0.05	0.0019635	29.9521709	0.1	0.004719	0.04719
6006	58918.86	0.05	0.0019635	30.007129	0.1	0.00472	0.0472
6016	59016.96	0.05	0.0019635	30.0570909	0.1	0.00472	0.0472
6026	59115.06	0.05	0.0019635	30.1070528	0.1	0.004722	0.04722
6036	59213.16	0.05	0.0019635	30.1570148	0.1	0.004721	0.04721
6046	59311.26	0.05	0.0019635	30.2069767	0.1	0.004725	0.04725
6057	59419.17	0.05	0.0019635	30.2619348	0.1	0.004724	0.04724
6067	59517.27	0.05	0.0019635	30.3118967	0.1	0.004723	0.04723
6077	59615.37	0.05	0.0019635	30.3618586	0.1	0.004725	0.04725

6087	59713.47	0.05	0.0019635	30.4118205		0.1	0.004724	0.04724
6097	59811.57	0.05	0.0019635	30.4617825		0.1	0.004725	0.04725
6107	59909.67	0.05	0.0019635	30.5117444		0.1	0.004725	0.04725
6118	60017.58	0.05	0.0019635	30.5667025		0.1	0.004726	0.04726
6128	60115.68	0.05	0.0019635	30.6166644		0.1	0.004729	0.04729
6138	60213.78	0.05	0.0019635	30.6666263		0.1	0.004729	0.04729
6148	60311.88	0.05	0.0019635	30.7165883		0.1	0.004727	0.04727
6158	60409.98	0.05	0.0019635	30.7665502		0.1	0.00473	0.0473
6169	60517.89	0.05	0.0019635	30.8215083		0.1	0.004728	0.04728
6179	60615.99	0.05	0.0019635	30.8714702		0.1	0.004732	0.04732
6189	60714.09	0.05	0.0019635	30.9214321		0.1	0.004729	0.04729
6199	60812.19	0.05	0.0019635	30.971394		0.1	0.004732	0.04732
6209	60910.29	0.05	0.0019635	31.021356		0.1	0.004732	0.04732
6220	61018.2	0.05	0.0019635	31.0763141		0.1	0.004731	0.04731
6230	61116.3	0.05	0.0019635	31.126276		0.1	0.004732	0.04732
6240	61214.4	0.05	0.0019635	31.1762379		0.1	0.004733	0.04733
6250	61312.5	0.05	0.0019635	31.2261998		0.1	0.004732	0.04732
6260	61410.6	0.05	0.0019635	31.2761618		0.1	0.004735	0.04735
6271	61518.51	0.05	0.0019635	31.3311199		0.1	0.004734	0.04734
6281	61616.61	0.05	0.0019635	31.3810818		0.1	0.004735	0.04735
6291	61714.71	0.05	0.0019635	31.4310437		0.1	0.004736	0.04736
6301	61812.81	0.05	0.0019635	31.4810056		0.1	0.004736	0.04736
6312	61920.72	0.05	0.0019635	31.5359637		0.1	0.00474	0.0474
6322	62018.82	0.05	0.0019635	31.5859257		0.1	0.004737	0.04737
6332	62116.92	0.05	0.0019635	31.6358876		0.1	0.004737	0.04737
6342	62215.02	0.05	0.0019635	31.6858495		0.1	0.00474	0.0474
6352	62313.12	0.05	0.0019635	31.7358114		0.1	0.004741	0.04741
6362	62411.22	0.05	0.0019635	31.7857733		0.1	0.004739	0.04739
6373	62519.13	0.05	0.0019635	31.8407314		0.1	0.00474	0.0474
6383	62617.23	0.05	0.0019635	31.8906934		0.1	0.00474	0.0474
6393	62715.33	0.05	0.0019635	31.9406553		0.1	0.004743	0.04743
6403	62813.43	0.05	0.0019635	31.9906172		0.1	0.004744	0.04744
6413	62911.53	0.05	0.0019635	32.0405791		0.1	0.004742	0.04742
6423	63009.63	0.05	0.0019635	32.090541		0.1	0.004746	0.04746
6434	63117.54	0.05	0.0019635	32.1454992		0.1	0.004745	0.04745
6444	63215.64	0.05	0.0019635	32.1954611		0.1	0.004746	0.04746
6454	63313.74	0.05	0.0019635	32.245423		0.1	0.004746	0.04746
6464	63411.84	0.05	0.0019635	32.2953849		0.1	0.004745	0.04745
6475	63519.75	0.05	0.0019635	32.350343		0.1	0.004745	0.04745
6485	63617.85	0.05	0.0019635	32.4003049		0.1	0.004747	0.04747
6495	63715.95	0.05	0.0019635	32.4502669		0.1	0.004748	0.04748
6505	63814.05	0.05	0.0019635	32.5002288		0.1	0.004747	0.04747
6515	63912.15	0.05	0.0019635	32.5501907		0.1	0.00475	0.0475
6525	64010.25	0.05	0.0019635	32.6001526		0.1	0.004748	0.04748
6536	64118.16	0.05	0.0019635	32.6551107		0.1	0.00475	0.0475
6546	64216.26	0.05	0.0019635	32.7050727		0.1	0.004754	0.04754
6556	64314.36	0.05	0.0019635	32.7550346		0.1	0.004749	0.04749
6566	64412.46	0.05	0.0019635	32.8049965		0.1	0.004753	0.04753
6576	64510.56	0.05	0.0019635	32.8549584		0.1	0.004752	0.04752
6587	64618.47	0.05	0.0019635	32.9099165		0.1	0.004752	0.04752

6597	64716.57	0.05	0.0019635	32.9598784		0.1	0.004755	0.04755
6607	64814.67	0.05	0.0019635	33.0098404		0.1	0.004755	0.04755
6617	64912.77	0.05	0.0019635	33.0598023		0.1	0.004756	0.04756
6627	65010.87	0.05	0.0019635	33.1097642		0.1	0.004755	0.04755
6637	65108.97	0.05	0.0019635	33.1597261		0.1	0.004754	0.04754
6648	65216.88	0.05	0.0019635	33.2146842		0.1	0.004757	0.04757
6658	65314.98	0.05	0.0019635	33.2646462		0.1	0.004755	0.04755
6668	65413.08	0.05	0.0019635	33.3146081		0.1	0.004756	0.04756
6679	65520.99	0.05	0.0019635	33.3695662		0.1	0.004759	0.04759
6689	65619.09	0.05	0.0019635	33.4195281		0.1	0.004758	0.04758
6699	65717.19	0.05	0.0019635	33.46949		0.1	0.004761	0.04761
6709	65815.29	0.05	0.0019635	33.519452		0.1	0.00476	0.0476
6719	65913.39	0.05	0.0019635	33.5694139		0.1	0.00476	0.0476
6729	66011.49	0.05	0.0019635	33.6193758		0.1	0.004763	0.04763
6740	66119.4	0.05	0.0019635	33.6743339		0.1	0.00476	0.0476
6750	66217.5	0.05	0.0019635	33.7242958		0.1	0.004762	0.04762
6760	66315.6	0.05	0.0019635	33.7742577		0.1	0.004765	0.04765
6770	66413.7	0.05	0.0019635	33.8242197		0.1	0.004765	0.04765
6780	66511.8	0.05	0.0019635	33.8741816		0.1	0.004765	0.04765
6790	66609.9	0.05	0.0019635	33.9241435		0.1	0.004765	0.04765
6800	66708	0.05	0.0019635	33.9741054		0.1	0.004769	0.04769
6811	66815.91	0.05	0.0019635	34.0290635		0.1	0.004768	0.04768
6821	66914.01	0.05	0.0019635	34.0790255		0.1	0.004769	0.04769
6831	67012.11	0.05	0.0019635	34.1289874		0.1	0.004771	0.04771
6842	67120.02	0.05	0.0019635	34.1839455		0.1	0.00477	0.0477
6852	67218.12	0.05	0.0019635	34.2339074		0.1	0.004768	0.04768
6862	67316.22	0.05	0.0019635	34.2838693		0.1	0.004773	0.04773
6873	67424.13	0.05	0.0019635	34.3388274		0.1	0.004772	0.04772
6883	67522.23	0.05	0.0019635	34.3887894		0.1	0.004773	0.04773
6893	67620.33	0.05	0.0019635	34.4387513		0.1	0.004772	0.04772
6903	67718.43	0.05	0.0019635	34.4887132		0.1	0.004777	0.04777
6913	67816.53	0.05	0.0019635	34.5386751		0.1	0.004775	0.04775
6924	67924.44	0.05	0.0019635	34.5936332		0.1	0.004776	0.04776
6934	68022.54	0.05	0.0019635	34.6435951		0.1	0.004774	0.04774
6944	68120.64	0.05	0.0019635	34.6935571		0.1	0.004776	0.04776
6954	68218.74	0.05	0.0019635	34.743519		0.1	0.004778	0.04778
6964	68316.84	0.05	0.0019635	34.7934809		0.1	0.004777	0.04777
6974	68414.94	0.05	0.0019635	34.8434428		0.1	0.004778	0.04778
6985	68522.85	0.05	0.0019635	34.8984009		0.1	0.00478	0.0478
6995	68620.95	0.05	0.0019635	34.9483629		0.1	0.004777	0.04777
7005	68719.05	0.05	0.0019635	34.9983248		0.1	0.004776	0.04776
7015	68817.15	0.05	0.0019635	35.0482867		0.1	0.004779	0.04779
7025	68915.25	0.05	0.0019635	35.0982486		0.1	0.004782	0.04782
7036	69023.16	0.05	0.0019635	35.1532067		0.1	0.004783	0.04783
7046	69121.26	0.05	0.0019635	35.2031686		0.1	0.004781	0.04781
7056	69219.36	0.05	0.0019635	35.2531306		0.1	0.00478	0.0478
7066	69317.46	0.05	0.0019635	35.3030925		0.1	0.004783	0.04783
7076	69415.56	0.05	0.0019635	35.3530544		0.1	0.004782	0.04782
7086	69513.66	0.05	0.0019635	35.4030163		0.1	0.004784	0.04784
7097	69621.57	0.05	0.0019635	35.4579744		0.1	0.004783	0.04783

7107	69719.67	0.05	0.0019635	35.5079364	0.1	0.004783	0.04783
7117	69817.77	0.05	0.0019635	35.5578983	0.1	0.004784	0.04784
7127	69915.87	0.05	0.0019635	35.6078602	0.1	0.004785	0.04785
7137	70013.97	0.05	0.0019635	35.6578221	0.1	0.004789	0.04789
7148	70121.88	0.05	0.0019635	35.7127802	0.1	0.004788	0.04788
7158	70219.98	0.05	0.0019635	35.7627421	0.1	0.004788	0.04788
7168	70318.08	0.05	0.0019635	35.8127041	0.1	0.004791	0.04791
7178	70416.18	0.05	0.0019635	35.862666	0.1	0.004787	0.04787
7188	70514.28	0.05	0.0019635	35.9126279	0.1	0.004791	0.04791
7198	70612.38	0.05	0.0019635	35.9625898	0.1	0.00479	0.0479
7209	70720.29	0.05	0.0019635	36.0175479	0.1	0.004793	0.04793
7219	70818.39	0.05	0.0019635	36.0675099	0.1	0.004793	0.04793
7229	70916.49	0.05	0.0019635	36.1174718	0.1	0.004793	0.04793
7239	71014.59	0.05	0.0019635	36.1674337	0.1	0.004792	0.04792
7249	71112.69	0.05	0.0019635	36.2173956	0.1	0.004792	0.04792
7260	71220.6	0.05	0.0019635	36.2723537	0.1	0.004794	0.04794
7270	71318.7	0.05	0.0019635	36.3223156	0.1	0.004792	0.04792
7280	71416.8	0.05	0.0019635	36.3722776	0.1	0.004795	0.04795
7290	71514.9	0.05	0.0019635	36.4222395	0.1	0.004797	0.04797
7301	71622.81	0.05	0.0019635	36.4771976	0.1	0.004797	0.04797
7311	71720.91	0.05	0.0019635	36.5271595	0.1	0.004796	0.04796
7321	71819.01	0.05	0.0019635	36.5771214	0.1	0.004797	0.04797
7331	71917.11	0.05	0.0019635	36.6270834	0.1	0.004799	0.04799
7341	72015.21	0.05	0.0019635	36.6770453	0.1	0.0048	0.048
7352	72123.12	0.05	0.0019635	36.7320034	0.1	0.004801	0.04801
7362	72221.22	0.05	0.0019635	36.7819653	0.1	0.004798	0.04798
7372	72319.32	0.05	0.0019635	36.8319272	0.1	0.0048	0.048
7382	72417.42	0.05	0.0019635	36.8818891	0.1	0.004801	0.04801
7392	72515.52	0.05	0.0019635	36.9318511	0.1	0.0048	0.048
7403	72623.43	0.05	0.0019635	36.9868092	0.1	0.004799	0.04799
7413	72721.53	0.05	0.0019635	37.0367711	0.1	0.004802	0.04802
7423	72819.63	0.05	0.0019635	37.086733	0.1	0.004803	0.04803
7433	72917.73	0.05	0.0019635	37.1366949	0.1	0.004801	0.04801
7443	73015.83	0.05	0.0019635	37.1866569	0.1	0.004804	0.04804
7454	73123.74	0.05	0.0019635	37.241615	0.1	0.004804	0.04804
7464	73221.84	0.05	0.0019635	37.2915769	0.1	0.004805	0.04805
7474	73319.94	0.05	0.0019635	37.3415388	0.1	0.004806	0.04806
7484	73418.04	0.05	0.0019635	37.3915007	0.1	0.004805	0.04805
7494	73516.14	0.05	0.0019635	37.4414626	0.1	0.004806	0.04806
7504	73614.24	0.05	0.0019635	37.4914246	0.1	0.004806	0.04806
7515	73722.15	0.05	0.0019635	37.5463827	0.1	0.004806	0.04806
7525	73820.25	0.05	0.0019635	37.5963446	0.1	0.004809	0.04809
7535	73918.35	0.05	0.0019635	37.6463065	0.1	0.00481	0.0481
7545	74016.45	0.05	0.0019635	37.6962684	0.1	0.004811	0.04811
7555	74114.55	0.05	0.0019635	37.7462304	0.1	0.004811	0.04811
7566	74222.46	0.05	0.0019635	37.8011885	0.1	0.004809	0.04809
7576	74320.56	0.05	0.0019635	37.8511504	0.1	0.004811	0.04811
7586	74418.66	0.05	0.0019635	37.9011123	0.1	0.004814	0.04814
7596	74516.76	0.05	0.0019635	37.9510742	0.1	0.004811	0.04811
7606	74614.86	0.05	0.0019635	38.0010362	0.1	0.004813	0.04813

7616	74712.96	0.05	0.0019635	38.0509981	0.1	0.004812	0.04812
7626	74811.06	0.05	0.0019635	38.10096	0.1	0.004815	0.04815
7636	74909.16	0.05	0.0019635	38.1509219	0.1	0.004815	0.04815
7545	74016.45	0.05	0.0019635	37.6962684	0.1	0.004852	0.04852
7584	74399.04	0.05	0.0019635	37.8911199	0.1	0.004861	0.04861
7620	74752.2	0.05	0.0019635	38.0709828	0.1	0.004868	0.04868
7645	74997.45	0.05	0.0019635	38.1958876	0.1	0.00488	0.0488
7665	75193.65	0.05	0.0019635	38.2958115	0.1	0.004887	0.04887
7686	75399.66	0.05	0.0019635	38.4007315	0.1	0.004893	0.04893
7704	75576.24	0.05	0.0019635	38.490663	0.1	0.004893	0.04893
7720	75733.2	0.05	0.0019635	38.570602	0.1	0.004896	0.04896
7730	75831.3	0.05	0.0019635	38.620564	0.1	0.004901	0.04901
7742	75949.02	0.05	0.0019635	38.6805183	0.1	0.004899	0.04899
7754	76066.74	0.05	0.0019635	38.7404726	0.1	0.004906	0.04906
7765	76174.65	0.05	0.0019635	38.7954307	0.1	0.004906	0.04906
7776	76282.56	0.05	0.0019635	38.8503888	0.1	0.004907	0.04907
7786	76380.66	0.05	0.0019635	38.9003507	0.1	0.004907	0.04907
7796	76478.76	0.05	0.0019635	38.9503126	0.1	0.00491	0.0491
7806	76576.86	0.05	0.0019635	39.0002745	0.1	0.004909	0.04909
7816	76674.96	0.05	0.0019635	39.0502365	0.1	0.00491	0.0491
7826	76773.06	0.05	0.0019635	39.1001984	0.1	0.004913	0.04913
7836	76871.16	0.05	0.0019635	39.1501603	0.1	0.004915	0.04915
7846	76969.26	0.05	0.0019635	39.2001222	0.1	0.004915	0.04915
7856	77067.36	0.05	0.0019635	39.2500841	0.1	0.004918	0.04918
7866	77165.46	0.05	0.0019635	39.3000461	0.1	0.004919	0.04919
7874	77243.94	0.05	0.0019635	39.3400156	0.1	0.00492	0.0492
7883	77332.23	0.05	0.0019635	39.3849813	0.1	0.004919	0.04919
7893	77430.33	0.05	0.0019635	39.4349432	0.1	0.004923	0.04923
7904	77538.24	0.05	0.0019635	39.4899014	0.1	0.004924	0.04924
7914	77636.34	0.05	0.0019635	39.5398633	0.1	0.004922	0.04922
7924	77734.44	0.05	0.0019635	39.5898252	0.1	0.004928	0.04928
7935	77842.35	0.05	0.0019635	39.6447833	0.1	0.004926	0.04926
7945	77940.45	0.05	0.0019635	39.6947452	0.1	0.004925	0.04925
7955	78038.55	0.05	0.0019635	39.7447071	0.1	0.004932	0.04932
7965	78136.65	0.05	0.0019635	39.7946691	0.1	0.004931	0.04931
7975	78234.75	0.05	0.0019635	39.844631	0.1	0.004929	0.04929
7986	78342.66	0.05	0.0019635	39.8995891	0.1	0.004933	0.04933
7996	78440.76	0.05	0.0019635	39.949551	0.1	0.004933	0.04933
8006	78538.86	0.05	0.0019635	39.9995129	0.1	0.004932	0.04932
8016	78636.96	0.05	0.0019635	40.0494749	0.1	0.004933	0.04933
8026	78735.06	0.05	0.0019635	40.0994368	0.1	0.004939	0.04939
8035	78823.35	0.05	0.0019635	40.1444025	0.1	0.004936	0.04936
8045	78921.45	0.05	0.0019635	40.1943644	0.1	0.004937	0.04937
8055	79019.55	0.05	0.0019635	40.2443263	0.1	0.004939	0.04939
8066	79127.46	0.05	0.0019635	40.2992845	0.1	0.004939	0.04939
8076	79225.56	0.05	0.0019635	40.3492464	0.1	0.004942	0.04942
8086	79323.66	0.05	0.0019635	40.3992083	0.1	0.004944	0.04944
8097	79431.57	0.05	0.0019635	40.4541664	0.1	0.004945	0.04945
8107	79529.67	0.05	0.0019635	40.5041283	0.1	0.004945	0.04945
8117	79627.77	0.05	0.0019635	40.5540902	0.1	0.004947	0.04947

8127	79725.87	0.05	0.0019635	40.6040522	0.1	0.004947	0.04947
8137	79823.97	0.05	0.0019635	40.6540141	0.1	0.004946	0.04946
8148	79931.88	0.05	0.0019635	40.7089722	0.1	0.004949	0.04949
8157	80020.17	0.05	0.0019635	40.7539379	0.1	0.00495	0.0495
8168	80128.08	0.05	0.0019635	40.808896	0.1	0.004951	0.04951
8178	80226.18	0.05	0.0019635	40.858858	0.1	0.00495	0.0495
8188	80324.28	0.05	0.0019635	40.9088199	0.1	0.004954	0.04954
8198	80422.38	0.05	0.0019635	40.9587818	0.1	0.004954	0.04954
8209	80530.29	0.05	0.0019635	41.0137399	0.1	0.004953	0.04953
8219	80628.39	0.05	0.0019635	41.0637018	0.1	0.004956	0.04956
8229	80726.49	0.05	0.0019635	41.1136638	0.1	0.004955	0.04955
8239	80824.59	0.05	0.0019635	41.1636257	0.1	0.004957	0.04957
8249	80922.69	0.05	0.0019635	41.2135876	0.1	0.004955	0.04955
8259	81020.79	0.05	0.0019635	41.2635495	0.1	0.00496	0.0496
8269	81118.89	0.05	0.0019635	41.3135114	0.1	0.004959	0.04959
8278	81207.18	0.05	0.0019635	41.3584772	0.1	0.004961	0.04961
8286	81285.66	0.05	0.0019635	41.3984467	0.1	0.004965	0.04965
8283	81256.23	0.05	0.0019635	41.3834581	0.1	0.004975	0.04975
8301	81432.81	0.05	0.0019635	41.4733896	0.1	0.004977	0.04977
8314	81560.34	0.05	0.0019635	41.5383401	0.1	0.004976	0.04976
8325	81668.25	0.05	0.0019635	41.5932982	0.1	0.004985	0.04985
8335	81766.35	0.05	0.0019635	41.6432601	0.1	0.004987	0.04987
8342	81835.02	0.05	0.0019635	41.6782334	0.1	0.004994	0.04994
8351	81923.31	0.05	0.0019635	41.7231992	0.1	0.004998	0.04998
8363	82041.03	0.05	0.0019635	41.7831535	0.1	0.005005	0.05005
8375	82158.75	0.05	0.0019635	41.8431078	0.1	0.005005	0.05005
8388	82286.28	0.05	0.0019635	41.9080583	0.1	0.005012	0.05012
8397	82374.57	0.05	0.0019635	41.953024	0.1	0.005018	0.05018
8361	82021.41	0.05	0.0019635	41.7731611	0.1	0.005037	0.05037
7919	77685.39	0.05	0.0019635	39.5648442	0.1	0.005166	0.05166
8109	79549.29	0.05	0.0019635	40.5141207	0.1	0.005229	0.05229
8262	81050.22	0.05	0.0019635	41.2785381	0.1	0.005249	0.05249
8348	81893.88	0.05	0.0019635	41.7082106	0.1	0.005268	0.05268
8412	82521.72	0.05	0.0019635	42.0279669	0.1	0.005277	0.05277
8456	82953.36	0.05	0.0019635	42.2477993	0.1	0.005285	0.05285
8485	83237.85	0.05	0.0019635	42.3926889	0.1	0.005284	0.05284
8505	83434.05	0.05	0.0019635	42.4926127	0.1	0.005291	0.05291
8511	83492.91	0.05	0.0019635	42.5225899	0.1	0.0053	0.053
8506	83443.86	0.05	0.0019635	42.4976089	0.1	0.005318	0.05318
8523	83610.63	0.05	0.0019635	42.5825442	0.1	0.00533	0.0533
8539	83767.59	0.05	0.0019635	42.6624833	0.1	0.005335	0.05335
8554	83914.74	0.05	0.0019635	42.7374261	0.1	0.00534	0.0534
8566	84032.46	0.05	0.0019635	42.7973804	0.1	0.005345	0.05345
8579	84159.99	0.05	0.0019635	42.8623309	0.1	0.005346	0.05346
8591	84277.71	0.05	0.0019635	42.9222852	0.1	0.00535	0.0535
8600	84366	0.05	0.0019635	42.967251	0.1	0.005354	0.05354
8610	84464.1	0.05	0.0019635	43.0172129	0.1	0.005356	0.05356
8620	84562.2	0.05	0.0019635	43.0671748	0.1	0.005361	0.05361
8630	84660.3	0.05	0.0019635	43.1171367	0.1	0.005363	0.05363
8626	84621.06	0.05	0.0019635	43.097152	0.1	0.005375	0.05375

8637	84728.97	0.05	0.0019635	43.1521101		0.1	0.005377	0.05377
8650	84856.5	0.05	0.0019635	43.2170606		0.1	0.005382	0.05382
8662	84974.22	0.05	0.0019635	43.2770149		0.1	0.00539	0.0539
8669	85042.89	0.05	0.0019635	43.3119882		0.1	0.005397	0.05397
8681	85160.61	0.05	0.0019635	43.3719425		0.1	0.005401	0.05401
8693	85278.33	0.05	0.0019635	43.4318968		0.1	0.005402	0.05402
8705	85396.05	0.05	0.0019635	43.4918511		0.1	0.005407	0.05407
8714	85484.34	0.05	0.0019635	43.5368169		0.1	0.00541	0.0541
8725	85592.25	0.05	0.0019635	43.591775		0.1	0.00541	0.0541
8736	85700.16	0.05	0.0019635	43.6467331		0.1	0.005415	0.05415
8747	85808.07	0.05	0.0019635	43.7016912		0.1	0.005417	0.05417
8758	85915.98	0.05	0.0019635	43.7566493		0.1	0.005417	0.05417
8767	86004.27	0.05	0.0019635	43.801615		0.1	0.00542	0.0542
8777	86102.37	0.05	0.0019635	43.851577		0.1	0.005422	0.05422
8787	86200.47	0.05	0.0019635	43.9015389		0.1	0.005423	0.05423
8797	86298.57	0.05	0.0019635	43.9515008		0.1	0.005425	0.05425
8807	86396.67	0.05	0.0019635	44.0014627		0.1	0.005428	0.05428
8817	86494.77	0.05	0.0019635	44.0514246		0.1	0.005427	0.05427
8827	86592.87	0.05	0.0019635	44.1013866		0.1	0.005429	0.05429
8837	86690.97	0.05	0.0019635	44.1513485		0.1	0.005428	0.05428
8845	86769.45	0.05	0.0019635	44.191318		0.1	0.00543	0.0543
8853	86847.93	0.05	0.0019635	44.2312875		0.1	0.005436	0.05436
8863	86946.03	0.05	0.0019635	44.2812495		0.1	0.005434	0.05434
8873	87044.13	0.05	0.0019635	44.3312114		0.1	0.005439	0.05439
8881	87122.61	0.05	0.0019635	44.3711809		0.1	0.005441	0.05441
8892	87230.52	0.05	0.0019635	44.426139		0.1	0.005443	0.05443
8903	87338.43	0.05	0.0019635	44.4810971		0.1	0.005443	0.05443
8913	87436.53	0.05	0.0019635	44.5310591		0.1	0.005449	0.05449
8924	87544.44	0.05	0.0019635	44.5860172		0.1	0.005447	0.05447
8934	87642.54	0.05	0.0019635	44.6359791		0.1	0.005448	0.05448
8944	87740.64	0.05	0.0019635	44.685941		0.1	0.005454	0.05454
8954	87838.74	0.05	0.0019635	44.7359029		0.1	0.005453	0.05453
8965	87946.65	0.05	0.0019635	44.790861		0.1	0.005452	0.05452
8976	88054.56	0.05	0.0019635	44.8458192		0.1	0.005452	0.05452
8986	88152.66	0.05	0.0019635	44.8957811		0.1	0.005455	0.05455
8996	88250.76	0.05	0.0019635	44.945743		0.1	0.005458	0.05458
9007	88358.67	0.05	0.0019635	45.0007011		0.1	0.005458	0.05458
9017	88456.77	0.05	0.0019635	45.050663		0.1	0.00546	0.0546
9027	88554.87	0.05	0.0019635	45.1006249		0.1	0.005459	0.05459
9037	88652.97	0.05	0.0019635	45.1505869		0.1	0.005462	0.05462
9047	88751.07	0.05	0.0019635	45.2005488		0.1	0.005463	0.05463
9057	88849.17	0.05	0.0019635	45.2505107		0.1	0.005465	0.05465
9067	88947.27	0.05	0.0019635	45.3004726		0.1	0.005466	0.05466
9077	89045.37	0.05	0.0019635	45.3504345		0.1	0.005464	0.05464
9087	89143.47	0.05	0.0019635	45.4003965		0.1	0.005467	0.05467
9097	89241.57	0.05	0.0019635	45.4503584		0.1	0.005468	0.05468
9107	89339.67	0.05	0.0019635	45.5003203		0.1	0.005466	0.05466
9118	89447.58	0.05	0.0019635	45.5552784		0.1	0.005467	0.05467
9128	89545.68	0.05	0.0019635	45.6052403		0.1	0.005471	0.05471
9138	89643.78	0.05	0.0019635	45.6552023		0.1	0.00547	0.0547

9148	89741.88	0.05	0.0019635	45.7051642		0.1	0.005473	0.05473
9158	89839.98	0.05	0.0019635	45.7551261		0.1	0.005472	0.05472
9168	89938.08	0.05	0.0019635	45.805088		0.1	0.005474	0.05474
9178	90036.18	0.05	0.0019635	45.8550499		0.1	0.005472	0.05472
9188	90134.28	0.05	0.0019635	45.9050119		0.1	0.005473	0.05473
9198	90232.38	0.05	0.0019635	45.9549738		0.1	0.005474	0.05474
9208	90330.48	0.05	0.0019635	46.0049357		0.1	0.005477	0.05477
9218	90428.58	0.05	0.0019635	46.0548976		0.1	0.005476	0.05476
9229	90536.49	0.05	0.0019635	46.1098557		0.1	0.005475	0.05475
9239	90634.59	0.05	0.0019635	46.1598176		0.1	0.005478	0.05478
9249	90732.69	0.05	0.0019635	46.2097796		0.1	0.00548	0.0548
9259	90830.79	0.05	0.0019635	46.2597415		0.1	0.00548	0.0548
9269	90928.89	0.05	0.0019635	46.3097034		0.1	0.005482	0.05482
9279	91026.99	0.05	0.0019635	46.3596653		0.1	0.00548	0.0548
9289	91125.09	0.05	0.0019635	46.4096272		0.1	0.005481	0.05481
9300	91233	0.05	0.0019635	46.4645854		0.1	0.005483	0.05483
9310	91331.1	0.05	0.0019635	46.5145473		0.1	0.005484	0.05484
9320	91429.2	0.05	0.0019635	46.5645092		0.1	0.005486	0.05486
9330	91527.3	0.05	0.0019635	46.6144711		0.1	0.005487	0.05487
9340	91625.4	0.05	0.0019635	46.664433		0.1	0.005486	0.05486
9350	91723.5	0.05	0.0019635	46.714395		0.1	0.005484	0.05484
9360	91821.6	0.05	0.0019635	46.7643569		0.1	0.005486	0.05486
9370	91919.7	0.05	0.0019635	46.8143188		0.1	0.005486	0.05486
9381	92027.61	0.05	0.0019635	46.8692769		0.1	0.005489	0.05489
9391	92125.71	0.05	0.0019635	46.9192388		0.1	0.005491	0.05491
9401	92223.81	0.05	0.0019635	46.9692007		0.1	0.005489	0.05489
9411	92321.91	0.05	0.0019635	47.0191627		0.1	0.00549	0.0549
9421	92420.01	0.05	0.0019635	47.0691246		0.1	0.005494	0.05494
9431	92518.11	0.05	0.0019635	47.1190865		0.1	0.005495	0.05495
9441	92616.21	0.05	0.0019635	47.1690484		0.1	0.005492	0.05492
9451	92714.31	0.05	0.0019635	47.2190103		0.1	0.005494	0.05494
9462	92822.22	0.05	0.0019635	47.2739685		0.1	0.005495	0.05495
9472	92920.32	0.05	0.0019635	47.3239304		0.1	0.005497	0.05497
9483	93028.23	0.05	0.0019635	47.3788885		0.1	0.005498	0.05498
9493	93126.33	0.05	0.0019635	47.4288504		0.1	0.005499	0.05499
9503	93224.43	0.05	0.0019635	47.4788123		0.1	0.005497	0.05497
9513	93322.53	0.05	0.0019635	47.5287742		0.1	0.005499	0.05499
9524	93430.44	0.05	0.0019635	47.5837324		0.1	0.005503	0.05503
9534	93528.54	0.05	0.0019635	47.6336943		0.1	0.005503	0.05503
9544	93626.64	0.05	0.0019635	47.6836562		0.1	0.005501	0.05501
9554	93724.74	0.05	0.0019635	47.7336181		0.1	0.005504	0.05504
9564	93822.84	0.05	0.0019635	47.78358		0.1	0.005502	0.05502
9575	93930.75	0.05	0.0019635	47.8385381		0.1	0.005504	0.05504
9585	94028.85	0.05	0.0019635	47.8885001		0.1	0.005504	0.05504
9595	94126.95	0.05	0.0019635	47.938462		0.1	0.005504	0.05504
9605	94225.05	0.05	0.0019635	47.9884239		0.1	0.005506	0.05506
9616	94332.96	0.05	0.0019635	48.043382		0.1	0.005506	0.05506
9626	94431.06	0.05	0.0019635	48.0933439		0.1	0.005506	0.05506
9636	94529.16	0.05	0.0019635	48.1433059		0.1	0.005508	0.05508
9646	94627.26	0.05	0.0019635	48.1932678		0.1	0.005507	0.05507

9656	94725.36	0.05	0.0019635	48.2432297	0.1	0.005508	0.05508
9667	94833.27	0.05	0.0019635	48.2981878	0.1	0.005511	0.05511
9677	94931.37	0.05	0.0019635	48.3481497	0.1	0.005512	0.05512
9687	95029.47	0.05	0.0019635	48.3981116	0.1	0.005512	0.05512
9697	95127.57	0.05	0.0019635	48.4480736	0.1	0.005513	0.05513
9707	95225.67	0.05	0.0019635	48.4980355	0.1	0.005513	0.05513
9718	95333.58	0.05	0.0019635	48.5529936	0.1	0.005514	0.05514
9728	95431.68	0.05	0.0019635	48.6029555	0.1	0.005516	0.05516
9738	95529.78	0.05	0.0019635	48.6529174	0.1	0.005517	0.05517
9748	95627.88	0.05	0.0019635	48.7028794	0.1	0.005515	0.05515
9758	95725.98	0.05	0.0019635	48.7528413	0.1	0.005517	0.05517
9768	95824.08	0.05	0.0019635	48.8028032	0.1	0.005516	0.05516
9779	95931.99	0.05	0.0019635	48.8577613	0.1	0.005519	0.05519
9789	96030.09	0.05	0.0019635	48.9077232	0.1	0.005517	0.05517
9799	96128.19	0.05	0.0019635	48.9576851	0.1	0.005519	0.05519
9809	96226.29	0.05	0.0019635	49.0076471	0.1	0.00552	0.0552
9819	96324.39	0.05	0.0019635	49.057609	0.1	0.005519	0.05519
9829	96422.49	0.05	0.0019635	49.1075709	0.1	0.00552	0.0552
9840	96530.4	0.05	0.0019635	49.162529	0.1	0.005521	0.05521
9850	96628.5	0.05	0.0019635	49.2124909	0.1	0.005522	0.05522
9860	96726.6	0.05	0.0019635	49.2624529	0.1	0.005523	0.05523
9870	96824.7	0.05	0.0019635	49.3124148	0.1	0.005524	0.05524
9881	96932.61	0.05	0.0019635	49.3673729	0.1	0.005524	0.05524
9891	97030.71	0.05	0.0019635	49.4173348	0.1	0.005524	0.05524
9901	97128.81	0.05	0.0019635	49.4672967	0.1	0.005525	0.05525
9911	97226.91	0.05	0.0019635	49.5172586	0.1	0.005526	0.05526
9921	97325.01	0.05	0.0019635	49.5672206	0.1	0.005528	0.05528
9931	97423.11	0.05	0.0019635	49.6171825	0.1	0.005529	0.05529
9942	97531.02	0.05	0.0019635	49.6721406	0.1	0.00553	0.0553
9952	97629.12	0.05	0.0019635	49.7221025	0.1	0.005529	0.05529
9962	97727.22	0.05	0.0019635	49.7720644	0.1	0.005531	0.05531
9972	97825.32	0.05	0.0019635	49.8220264	0.1	0.005533	0.05533
9982	97923.42	0.05	0.0019635	49.8719883	0.1	0.005532	0.05532
9993	98031.33	0.05	0.0019635	49.9269464	0.1	0.005532	0.05532
10003	98129.43	0.05	0.0019635	49.9769083	0.1	0.005535	0.05535
10013	98227.53	0.05	0.0019635	50.0268702	0.1	0.005532	0.05532
10023	98325.63	0.05	0.0019635	50.0768322	0.1	0.005536	0.05536
10033	98423.73	0.05	0.0019635	50.1267941	0.1	0.005534	0.05534
10043	98521.83	0.05	0.0019635	50.176756	0.1	0.005534	0.05534
10054	98629.74	0.05	0.0019635	50.2317141	0.1	0.005537	0.05537
10064	98727.84	0.05	0.0019635	50.281676	0.1	0.00554	0.0554
10074	98825.94	0.05	0.0019635	50.3316379	0.1	0.005539	0.05539
10084	98924.04	0.05	0.0019635	50.3815999	0.1	0.005539	0.05539
10094	99022.14	0.05	0.0019635	50.4315618	0.1	0.005541	0.05541
10105	99130.05	0.05	0.0019635	50.4865199	0.1	0.005541	0.05541
10115	99228.15	0.05	0.0019635	50.5364818	0.1	0.005541	0.05541
10125	99326.25	0.05	0.0019635	50.5864437	0.1	0.00554	0.0554
10135	99424.35	0.05	0.0019635	50.6364057	0.1	0.00554	0.0554
10144	99512.64	0.05	0.0019635	50.6813714	0.1	0.005543	0.05543
10155	99620.55	0.05	0.0019635	50.7363295	0.1	0.005544	0.05544

10165	99718.65	0.05	0.0019635	50.7862914	0.1	0.005544	0.05544
10176	99826.56	0.05	0.0019635	50.8412495	0.1	0.005543	0.05543
10186	99924.66	0.05	0.0019635	50.8912114	0.1	0.005546	0.05546
10196	100022.76	0.05	0.0019635	50.9411734	0.1	0.005548	0.05548
10207	100130.67	0.05	0.0019635	50.9961315	0.1	0.005547	0.05547
10217	100228.77	0.05	0.0019635	51.0460934	0.1	0.005547	0.05547
10227	100326.87	0.05	0.0019635	51.0960553	0.1	0.005548	0.05548
10237	100424.97	0.05	0.0019635	51.1460172	0.1	0.005548	0.05548
10248	100532.88	0.05	0.0019635	51.2009753	0.1	0.005548	0.05548
10258	100630.98	0.05	0.0019635	51.2509373	0.1	0.005551	0.05551
10268	100729.08	0.05	0.0019635	51.3008992	0.1	0.005551	0.05551
10277	100817.37	0.05	0.0019635	51.3458649	0.1	0.005552	0.05552
10287	100915.47	0.05	0.0019635	51.3958268	0.1	0.005554	0.05554
10298	101023.38	0.05	0.0019635	51.4507849	0.1	0.005555	0.05555
10308	101121.48	0.05	0.0019635	51.5007469	0.1	0.005557	0.05557
10319	101229.39	0.05	0.0019635	51.555705	0.1	0.005557	0.05557
10329	101327.49	0.05	0.0019635	51.6056669	0.1	0.005559	0.05559
10339	101425.59	0.05	0.0019635	51.6556288	0.1	0.005555	0.05555
10350	101533.5	0.05	0.0019635	51.7105869	0.1	0.00556	0.0556
10360	101631.6	0.05	0.0019635	51.7605488	0.1	0.005562	0.05562
10370	101729.7	0.05	0.0019635	51.8105108	0.1	0.005561	0.05561
10380	101827.8	0.05	0.0019635	51.8604727	0.1	0.00556	0.0556
10390	101925.9	0.05	0.0019635	51.9104346	0.1	0.00556	0.0556
10401	102033.81	0.05	0.0019635	51.9653927	0.1	0.005561	0.05561
10411	102131.91	0.05	0.0019635	52.0153546	0.1	0.005562	0.05562
10421	102230.01	0.05	0.0019635	52.0653166	0.1	0.005566	0.05566
10431	102328.11	0.05	0.0019635	52.1152785	0.1	0.005564	0.05564
10441	102426.21	0.05	0.0019635	52.1652404	0.1	0.005566	0.05566
10452	102534.12	0.05	0.0019635	52.2201985	0.1	0.005566	0.05566
10462	102632.22	0.05	0.0019635	52.2701604	0.1	0.005566	0.05566
10472	102730.32	0.05	0.0019635	52.3201223	0.1	0.005563	0.05563
10482	102828.42	0.05	0.0019635	52.3700843	0.1	0.005565	0.05565
10492	102926.52	0.05	0.0019635	52.4200462	0.1	0.005568	0.05568
10503	103034.43	0.05	0.0019635	52.4750043	0.1	0.005571	0.05571
10513	103132.53	0.05	0.0019635	52.5249662	0.1	0.00557	0.0557
10523	103230.63	0.05	0.0019635	52.5749281	0.1	0.00557	0.0557
10533	103328.73	0.05	0.0019635	52.6248901	0.1	0.005572	0.05572
10544	103436.64	0.05	0.0019635	52.6798482	0.1	0.005572	0.05572
10554	103534.74	0.05	0.0019635	52.7298101	0.1	0.005572	0.05572
10564	103632.84	0.05	0.0019635	52.7797772	0.1	0.005575	0.05575
10574	103730.94	0.05	0.0019635	52.8297339	0.1	0.005572	0.05572
10584	103829.04	0.05	0.0019635	52.8796958	0.1	0.005573	0.05573
10594	103927.14	0.05	0.0019635	52.9296578	0.1	0.005575	0.05575
10603	104015.43	0.05	0.0019635	52.9746235	0.1	0.005575	0.05575
10614	104123.34	0.05	0.0019635	53.0295816	0.1	0.005579	0.05579
10624	104221.44	0.05	0.0019635	53.0795435	0.1	0.005577	0.05577
10634	104319.54	0.05	0.0019635	53.1295054	0.1	0.00558	0.0558
10645	104427.45	0.05	0.0019635	53.1844636	0.1	0.005579	0.05579
10653	104505.93	0.05	0.0019635	53.2244331	0.1	0.005582	0.05582
10656	104535.36	0.05	0.0019635	53.2394217	0.1	0.005589	0.05589

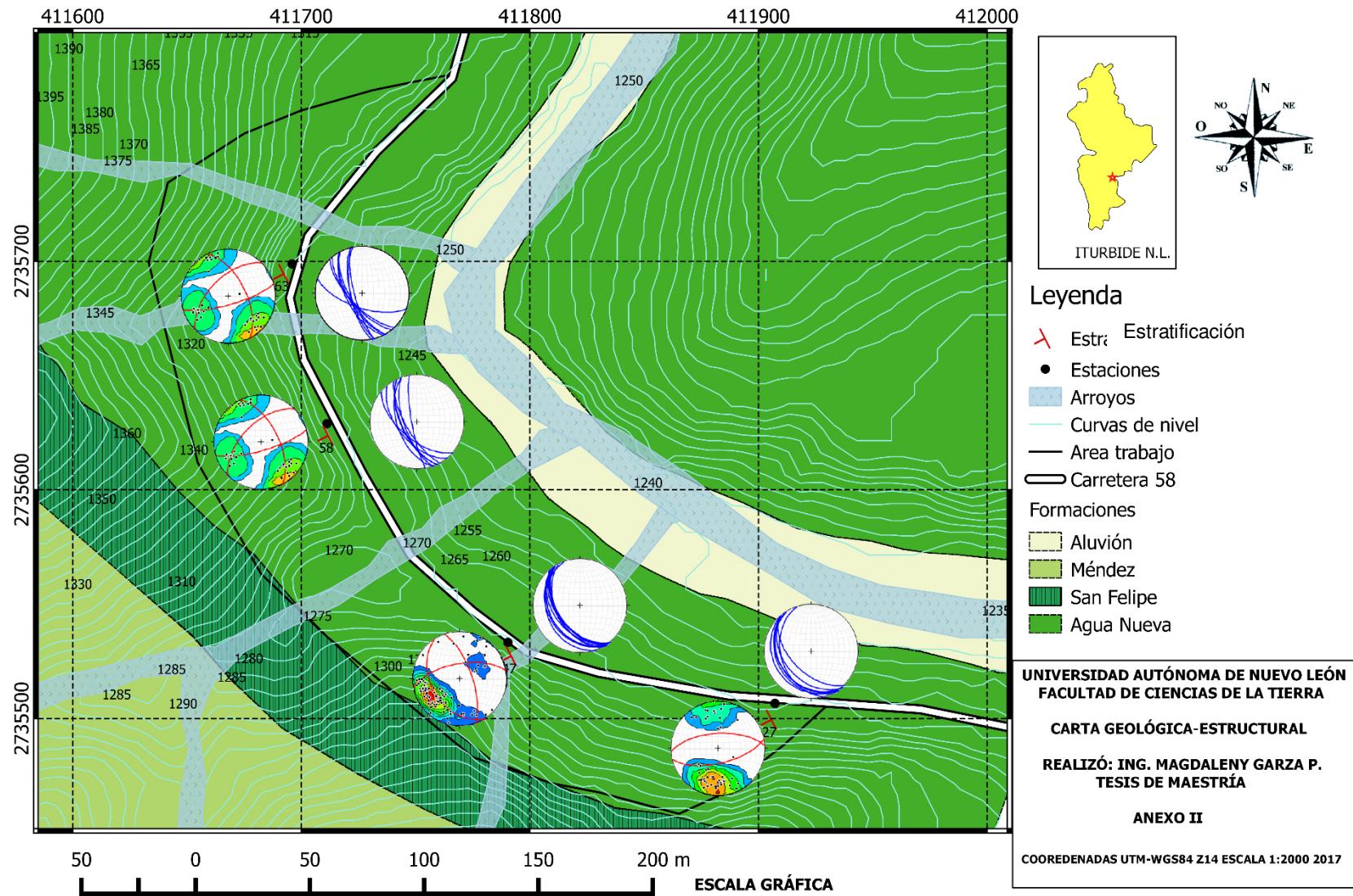
10667	104643.27	0.05	0.0019635	53.2943798	0.1	0.005591	0.05591
10679	104760.99	0.05	0.0019635	53.3543341	0.1	0.005594	0.05594
10690	104868.9	0.05	0.0019635	53.4092922	0.1	0.005594	0.05594
10702	104986.62	0.05	0.0019635	53.4692465	0.1	0.005598	0.05598
10713	105094.53	0.05	0.0019635	53.5242046	0.1	0.005601	0.05601
10725	105212.25	0.05	0.0019635	53.5841589	0.1	0.0056	0.056
10735	105310.35	0.05	0.0019635	53.6341208	0.1	0.005604	0.05604
10747	105428.07	0.05	0.0019635	53.6940751	0.1	0.005604	0.05604
10757	105526.17	0.05	0.0019635	53.7440371	0.1	0.005604	0.05604
10768	105634.08	0.05	0.0019635	53.7989952	0.1	0.005607	0.05607
10778	105732.18	0.05	0.0019635	53.8489571	0.1	0.005608	0.05608
10789	105840.09	0.05	0.0019635	53.9039152	0.1	0.005612	0.05612
10797	105918.57	0.05	0.0019635	53.9438847	0.1	0.005611	0.05611
10808	106026.48	0.05	0.0019635	53.9988429	0.1	0.005613	0.05613
10818	106124.58	0.05	0.0019635	54.0488048	0.1	0.005615	0.05615
10829	106232.49	0.05	0.0019635	54.1037629	0.1	0.005619	0.05619
10840	106340.4	0.05	0.0019635	54.158721	0.1	0.005621	0.05621
10850	106438.5	0.05	0.0019635	54.2086829	0.1	0.005622	0.05622
10861	106546.41	0.05	0.0019635	54.263641	0.1	0.005621	0.05621
10871	106644.51	0.05	0.0019635	54.3136029	0.1	0.005622	0.05622
10882	106752.42	0.05	0.0019635	54.3685611	0.1	0.005626	0.05626
10892	106850.52	0.05	0.0019635	54.418523	0.1	0.005624	0.05624
10902	106948.62	0.05	0.0019635	54.4684849	0.1	0.005626	0.05626
10912	107046.72	0.05	0.0019635	54.5184468	0.1	0.005625	0.05625
10923	107154.63	0.05	0.0019635	54.5734049	0.1	0.005626	0.05626
10933	107252.73	0.05	0.0019635	54.6233668	0.1	0.005628	0.05628
10943	107350.83	0.05	0.0019635	54.6733288	0.1	0.005628	0.05628
10953	107448.93	0.05	0.0019635	54.7232907	0.1	0.005627	0.05627
10963	107547.03	0.05	0.0019635	54.7732526	0.1	0.005629	0.05629
10973	107645.13	0.05	0.0019635	54.8232145	0.1	0.005633	0.05633
10983	107743.23	0.05	0.0019635	54.8731764	0.1	0.005633	0.05633
10993	107841.33	0.05	0.0019635	54.9231384	0.1	0.005634	0.05634
11003	107939.43	0.05	0.0019635	54.9731003	0.1	0.005632	0.05632
11013	108037.53	0.05	0.0019635	55.0230622	0.1	0.005634	0.05634
11024	108145.44	0.05	0.0019635	55.0780203	0.1	0.005635	0.05635
11034	108243.54	0.05	0.0019635	55.1279822	0.1	0.005637	0.05637
11044	108341.64	0.05	0.0019635	55.1779442	0.1	0.005637	0.05637
11054	108439.74	0.05	0.0019635	55.2279061	0.1	0.00564	0.0564
11064	108537.84	0.05	0.0019635	55.277868	0.1	0.005638	0.05638
11074	108635.94	0.05	0.0019635	55.3278299	0.1	0.005639	0.05639
11084	108734.04	0.05	0.0019635	55.3777918	0.1	0.005642	0.05642
11095	108841.95	0.05	0.0019635	55.4327499	0.1	0.005641	0.05641
11105	108940.05	0.05	0.0019635	55.4827119	0.1	0.005642	0.05642
11115	109038.15	0.05	0.0019635	55.5326738	0.1	0.005642	0.05642
11125	109136.25	0.05	0.0019635	55.5826357	0.1	0.005646	0.05646
11135	109234.35	0.05	0.0019635	55.6325976	0.1	0.005644	0.05644
11145	109332.45	0.05	0.0019635	55.6825595	0.1	0.005645	0.05645
11155	109430.55	0.05	0.0019635	55.7325215	0.1	0.005646	0.05646
11166	109538.46	0.05	0.0019635	55.7874796	0.1	0.005646	0.05646
11176	109636.56	0.05	0.0019635	55.8374415	0.1	0.005648	0.05648

11186	109734.66	0.05	0.0019635	55.8874034	0.1	0.005648	0.05648
11196	109832.76	0.05	0.0019635	55.9373653	0.1	0.005648	0.05648
11206	109930.86	0.05	0.0019635	55.9873273	0.1	0.005653	0.05653
11216	110028.96	0.05	0.0019635	56.0372892	0.1	0.005653	0.05653
11226	110127.06	0.05	0.0019635	56.0872511	0.1	0.005653	0.05653
11237	110234.97	0.05	0.0019635	56.1422092	0.1	0.005656	0.05656
11247	110333.07	0.05	0.0019635	56.1921711	0.1	0.005655	0.05655
11257	110431.17	0.05	0.0019635	56.242133	0.1	0.005657	0.05657
11267	110529.27	0.05	0.0019635	56.292095	0.1	0.005654	0.05654
11277	110627.37	0.05	0.0019635	56.3420569	0.1	0.005658	0.05658
11288	110735.28	0.05	0.0019635	56.397015	0.1	0.005659	0.05659
11298	110833.38	0.05	0.0019635	56.4469769	0.1	0.005662	0.05662
11308	110931.48	0.05	0.0019635	56.4969388	0.1	0.005658	0.05658
11318	111029.58	0.05	0.0019635	56.5469008	0.1	0.005659	0.05659
11329	111137.49	0.05	0.0019635	56.6018589	0.1	0.00566	0.0566
11339	111235.59	0.05	0.0019635	56.6518208	0.1	0.005659	0.05659
11349	111333.69	0.05	0.0019635	56.7017827	0.1	0.005661	0.05661
11359	111431.79	0.05	0.0019635	56.7517446	0.1	0.005661	0.05661
11369	111529.89	0.05	0.0019635	56.8017065	0.1	0.005662	0.05662
11379	111627.99	0.05	0.0019635	56.8516685	0.1	0.005664	0.05664
11390	111735.9	0.05	0.0019635	56.9066266	0.1	0.005667	0.05667
11400	111834	0.05	0.0019635	56.9565885	0.1	0.005668	0.05668
11410	111932.1	0.05	0.0019635	57.0065504	0.1	0.005667	0.05667
11420	112030.2	0.05	0.0019635	57.0565123	0.1	0.005668	0.05668
11431	112138.11	0.05	0.0019635	57.1114704	0.1	0.005669	0.05669
11441	112236.21	0.05	0.0019635	57.1614324	0.1	0.005671	0.05671
11451	112334.31	0.05	0.0019635	57.2113943	0.1	0.005671	0.05671
11461	112432.41	0.05	0.0019635	57.2613562	0.1	0.005672	0.05672
11471	112530.51	0.05	0.0019635	57.3113181	0.1	0.005672	0.05672
11482	112638.42	0.05	0.0019635	57.3662762	0.1	0.005673	0.05673
11492	112736.52	0.05	0.0019635	57.4162382	0.1	0.005675	0.05675
11502	112834.62	0.05	0.0019635	57.4662001	0.1	0.005673	0.05673
11512	112932.72	0.05	0.0019635	57.516162	0.1	0.005676	0.05676
11522	113030.82	0.05	0.0019635	57.5661239	0.1	0.005678	0.05678
11532	113128.92	0.05	0.0019635	57.6160858	0.1	0.005677	0.05677
11542	113227.02	0.05	0.0019635	57.6660478	0.1	0.005679	0.05679
11553	113334.93	0.05	0.0019635	57.7210059	0.1	0.005678	0.05678
11527	113079.87	0.05	0.0019635	57.5911049	0.1	0.005699	0.05699
11543	113236.83	0.05	0.0019635	57.671044	0.1	0.005707	0.05707
11564	113442.84	0.05	0.0019635	57.775964	0.1	0.005714	0.05714
11582	113619.42	0.05	0.0019635	57.8658954	0.1	0.005721	0.05721
11598	113776.38	0.05	0.0019635	57.9458345	0.1	0.005721	0.05721
11612	113913.72	0.05	0.0019635	58.0157812	0.1	0.005722	0.05722
11624	114031.44	0.05	0.0019635	58.0757355	0.1	0.005728	0.05728
11635	114139.35	0.05	0.0019635	58.1306936	0.1	0.00573	0.0573
11646	114247.26	0.05	0.0019635	58.1856517	0.1	0.00573	0.0573
11657	114355.17	0.05	0.0019635	58.2406098	0.1	0.005734	0.05734
11668	114463.08	0.05	0.0019635	58.2955679	0.1	0.005737	0.05737
11679	114570.99	0.05	0.0019635	58.3505261	0.1	0.005738	0.05738
11688	114659.28	0.05	0.0019635	58.3954918	0.1	0.005741	0.05741

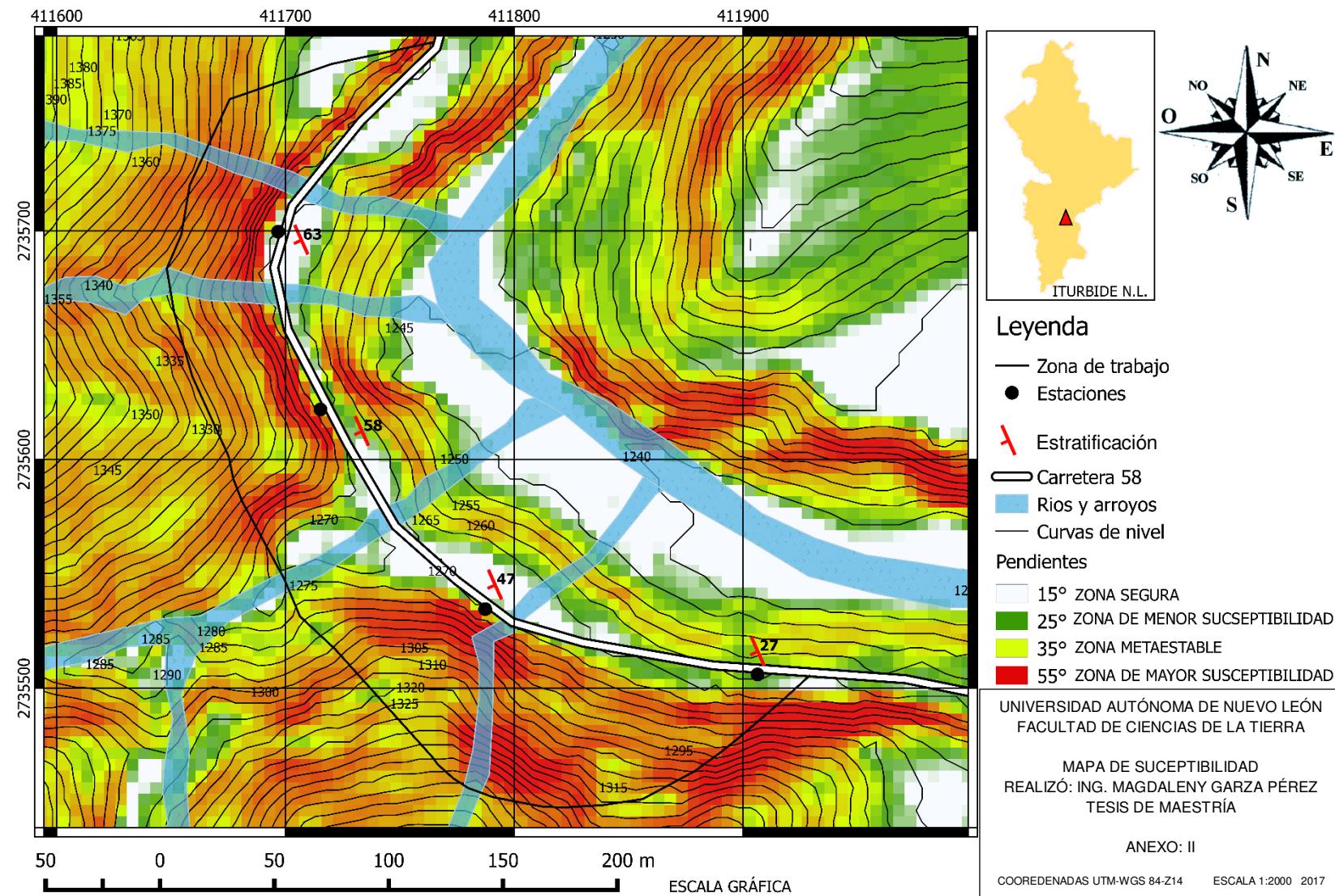
11699	114767.19	0.05	0.0019635	58.4504499	0.1	0.005743	0.05743
11709	114865.29	0.05	0.0019635	58.5004118	0.1	0.005743	0.05743
11720	114973.2	0.05	0.0019635	58.5553699	0.1	0.005745	0.05745
11730	115071.3	0.05	0.0019635	58.6053318	0.1	0.005746	0.05746
11741	115179.21	0.05	0.0019635	58.66029	0.1	0.005747	0.05747
11751	115277.31	0.05	0.0019635	58.7102519	0.1	0.005748	0.05748
11761	115375.41	0.05	0.0019635	58.7602138	0.1	0.005749	0.05749
11771	115473.51	0.05	0.0019635	58.8101757	0.1	0.005747	0.05747
11781	115571.61	0.05	0.0019635	58.8601376	0.1	0.005754	0.05754
11791	115669.71	0.05	0.0019635	58.9100996	0.1	0.005753	0.05753
11801	115767.81	0.05	0.0019635	58.9600615	0.1	0.005756	0.05756
11811	115865.91	0.05	0.0019635	59.0100234	0.1	0.005758	0.05758
11821	115964.01	0.05	0.0019635	59.0599853	0.1	0.005759	0.05759
11831	116062.11	0.05	0.0019635	59.1099472	0.1	0.005757	0.05757
11841	116160.21	0.05	0.0019635	59.1599092	0.1	0.00576	0.0576
11851	116258.31	0.05	0.0019635	59.2098711	0.1	0.00576	0.0576
11861	116356.41	0.05	0.0019635	59.259833	0.1	0.005758	0.05758
11872	116464.32	0.05	0.0019635	59.3147911	0.1	0.005762	0.05762
11881	116552.61	0.05	0.0019635	59.3597568	0.1	0.005762	0.05762
11891	116650.71	0.05	0.0019635	59.4097188	0.1	0.005763	0.05763
11901	116748.81	0.05	0.0019635	59.4596807	0.1	0.005767	0.05767
11911	116846.91	0.05	0.0019635	59.5096426	0.1	0.005765	0.05765
11921	116945.01	0.05	0.0019635	59.5596045	0.1	0.005769	0.05769
11931	117043.11	0.05	0.0019635	59.6095664	0.1	0.00577	0.0577
11941	117141.21	0.05	0.0019635	59.6595284	0.1	0.005768	0.05768
11952	117249.12	0.05	0.0019635	59.7144865	0.1	0.005769	0.05769
11962	117347.22	0.05	0.0019635	59.7644484	0.1	0.005772	0.05772
11972	117445.32	0.05	0.0019635	59.8144103	0.1	0.005769	0.05769
11982	117543.42	0.05	0.0019635	59.8643722	0.1	0.005771	0.05771
11992	117641.52	0.05	0.0019635	59.9143341	0.1	0.005775	0.05775
12002	117739.62	0.05	0.0019635	59.9642961	0.1	0.005774	0.05774
12013	117847.53	0.05	0.0019635	60.0192542	0.1	0.005774	0.05774
12023	117945.63	0.05	0.0019635	60.0692161	0.1	0.005775	0.05775
12033	118043.73	0.05	0.0019635	60.119178	0.1	0.005779	0.05779
12043	118141.83	0.05	0.0019635	60.1691399	0.1	0.005778	0.05778
12053	118239.93	0.05	0.0019635	60.2191019	0.1	0.00578	0.0578
12063	118338.03	0.05	0.0019635	60.2690638	0.1	0.005781	0.05781
12073	118436.13	0.05	0.0019635	60.3190257	0.1	0.005783	0.05783
12084	118544.04	0.05	0.0019635	60.3739838	0.1	0.005783	0.05783
12094	118642.14	0.05	0.0019635	60.4239457	0.1	0.005784	0.05784
12104	118740.24	0.05	0.0019635	60.4739076	0.1	0.005783	0.05783
12114	118838.34	0.05	0.0019635	60.5238696	0.1	0.005785	0.05785
12125	118946.25	0.05	0.0019635	60.5788277	0.1	0.005788	0.05788
12135	119044.35	0.05	0.0019635	60.6287896	0.1	0.005785	0.05785
12145	119142.45	0.05	0.0019635	60.6787515	0.1	0.005785	0.05785
12155	119240.55	0.05	0.0019635	60.7287134	0.1	0.005788	0.05788
12165	119338.65	0.05	0.0019635	60.7786754	0.1	0.005787	0.05787
12175	119436.75	0.05	0.0019635	60.8286373	0.1	0.00579	0.0579
12185	119534.85	0.05	0.0019635	60.8785992	0.1	0.005789	0.05789
12196	119642.76	0.05	0.0019635	60.9335573	0.1	0.00579	0.0579

12200	119682	0.05	0.0019635	60.9535421	0.1	0.005795	0.05795
12199	119672.19	0.05	0.0019635	60.9485459	0.1	0.005805	0.05805
12210	119780.1	0.05	0.0019635	61.003504	0.1	0.005809	0.05809
12216	119838.96	0.05	0.0019635	61.0334811	0.1	0.005819	0.05819
12231	119986.11	0.05	0.0019635	61.108424	0.1	0.005826	0.05826
12246	120133.26	0.05	0.0019635	61.1833669	0.1	0.005828	0.05828
12130	118995.3	0.05	0.0019635	60.6038086	0.1	0.005924	0.05924
8347	81884.07	0.05	0.0019635	41.7032144	0.1	0.006085	0.06085
6288	61685.28	0.05	0.0019635	31.4160551	0.1	0.006258	0.06258
5200	51012	0.05	0.0019635	25.9801983	0.1	0.006429	0.06429

**ANEXO II**



## MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD



ESTRATIFICACIÓN					
	E1		E3		E4
E1	1	145°/30°	E3	1	145°/30°
	2	148°/26°		2	148°/26°
	3	145°/30°		3	145°/30°
	4	140°/30°		4	140°/30°
	5	140°/40°		5	140°/40°
	6	162°/35°		6	162°/35°
	7	135°/54°		7	135°/54°
	8	138°/20°		8	138°/20°
E2	1	145°/50°	E4	1	150°/65°
	2	142°/50°		2	165°/76°
	3	140°/48°		3	168°/69°
	4	152°/48°		4	152°/61°
	5	143°/50°		5	165°/70°
	6	146°/35°		6	136°/68
	7	148°/46°		7	150°/68°
	8	146°/50°		8	140°/67°
	9	140°/43°		9	108°/65°
	10	148°/35°			
	11	160°/28°			
	12	146°/32°			

DIACLASAS			
E1	E2	E3	E4
1 320°/44°	1 130°/78°	1 322°/62°	1 273°/64°
2 315°/43°	2 335°/67°	2 337°/59°	2 055°/62°
3 245°/60°	3 310°/55°	3 339°/66°	3 050°/72°
4 050°/75°	4 310°/84°	4 335°/70°	4 055°/81°
5 055°/70°	5 300°/49°	5 322°/72°	5 052°/77°
6 090°/34°	6 305°/51°	6 334°/60°	6 059°/68°
7 072°/60°	7 307°/54°	7 340°/49°	7 062°/52°
8 240°/75°	8 310°/51°	8 340°/66°	8 036°/74°
9 068°/57°	9 313°/52°	9 330°/40°	9 058°/80°
10 125°/62°	10 316°/55°	10 335°/59°	10 060°/82°
11 085°/64	11 315°/53°	11 330°/61°	11 058°/85°
12 098°/84°	12 320°/65°	12 328°/51°	12 054°/83°
13 085°/90°	13 325°/70°	13 065°/74°	13 055°/82°
14 073°/74°	14 315°/48°	14 074°/76	14 056°/87°
15 095°/73°	15 315°/41°	15 230°/83°	15 054°/87°
16 075°/72°	16 345°/63°	16 225°/65°	16 055°/88°
17 085°/68°	17 341°/60°	17 075°/75°	17 060°/74°
18 094°/55°	18 110°/44°	18 060°/82°	18 062°/89°
19 084°/68°	19 115°/77°	19 072°/74°	19 045°/85°
20 097°/37	20 137°/62°	20 060°/77°	20 064°/70°
21 260°/60°	21 110°/45°	21 052°/55°	21 064°/87°
22 282°/51°	22 095°/78	22 052°/88°	22 068°/75°
23 280°/51°	23 154°/48°	23 223°/85°	23 052°/67°
24 210°/31°	24 154°/51°	24 076°/82°	24 040°/86°

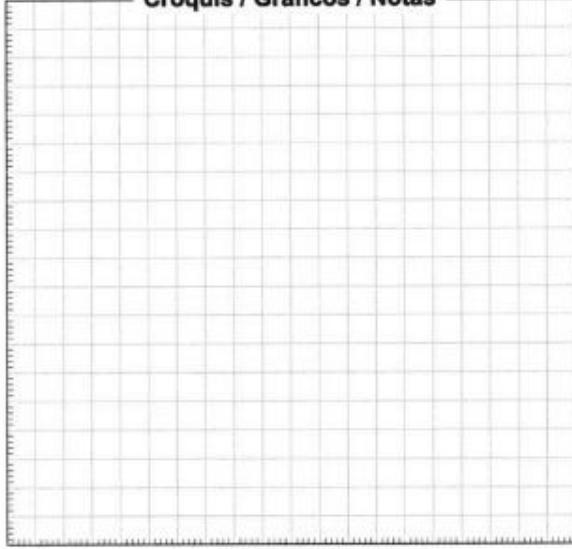
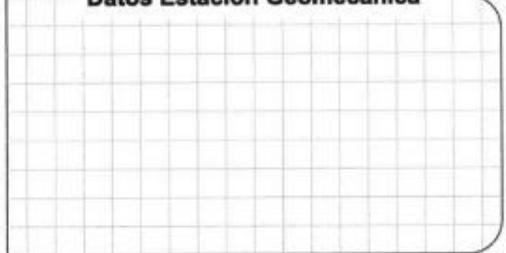
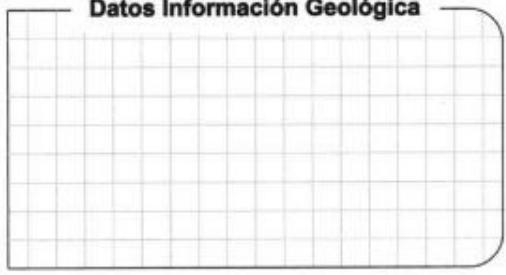
25	260°/59°	25	145°/40°	25	211°/77°	25	040°/55°
26	265°/62°	26	264°/67°	26	210°/63°	26	054°/48°
27	290°/55°	27	117°/87°	27	223°/57°	27	036°/68°
28	270°/61°	28	110°/30°	28	233°/57°	28	020°/80°
29	268°/58°	29	033°/81°	29	229°/76°	29	025°/55°
30	252°/71°	30	341°/60°	30	226°/58°	30	056°/88°
31	298°/42°	31	351°/81°	31	225°/57°		
32	290°/77°	32	342°/57°	32	240°/77°		
33	258°/60°	33	341°/66°	33	170°/20°		
34	296°/62°	34	349°/64°	34	065°/80°		
35	265°/66°	35	358°/79°	35	220°/68°		
36	270°/69°	36	345°/75°	36	215°/68°		
37	296°/40°	37	359°/74°	37	240°/60°		
38	245°/82°	38	060°/79°	38	215°/62°		
39	261°/51°	39	332°/39°				
40	300°/67°	40	319°/50°				
41	294°/61°	41	332°/51°				
42	273°/73°	42	291°/60°				
43	298°/65°	43	080°/64°				
44	307°/55°	44	321°/51°				
45	290°/65°	45	355°/73°				
46	273°/70°	46	314°/36°				
47	292°/64°	47	356°/66°				
48	260°/60	48	234°/83°				
49	285°/72°	49	284°/86°				
50	280°/68°	50	344°/71°				
		51	311°/37°				
		52	345°/66°				

53	344°/64°
54	311°/67°
55	333°/72°
56	345°/69°
57	287°/77°
58	271°/47°
59	264°/64°
60	343°/76°
61	150°/33°
62	154°/29°
63	155°/32°
64	319°/53°
65	341°/64°
66	331°/66°
67	321°/74°
68	342°/75°
69	321°/52°
70	324°/38°
71	344°/64°
72	267°/64°
73	328°/64°
74	318°/66°
75	314°/65°
76	293°/36°
77	340°/48°
78	245°/75°
79	298°/56°
80	323°/52°

81	310°/41°
82	295°/67°
83	315°/57°
84	245°/64°
85	311°/51°
86	315°/74°
87	353°/76°
88	341°/69°
89	354°/62°
90	251°/69°
91	313°/56°
92	359°/69°
93	285°/61°
94	284°/66°
95	312°/62°
96	353°/60°
97	341°/66°
98	354°/62°
99	224°/84°
100	336°/65°

**ANEXO IV**

Formatos normalizados propuestos por Romana en el 2004 para obtener los datos geomecánicos de campo de una manera más sencilla.

 <p><b>GiMroc</b> Grupo de investigación de Mecánica de Rocas</p> <p>DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL TERRITORIO ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE I.C.D.P. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA</p>	<h3>CLASIFICACIONES GEOMECÁNICAS Datos de Campo</h3> <p>Proyecto: _____</p> <p>Operador: _____ Fecha: _____</p> <p>Observaciones: _____</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>Croquis / Gráficos / Notas</b></p>  </div> <div style="flex: 1;"> <p><b>Datos Estación Geomecánica</b></p>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="flex: 1;"> <p><b>Datos Información Geológica</b></p>  </div> </div> <hr/> <div style="display: flex; align-items: center;"> <span style="font-weight: bold; margin-right: 10px;">MATRIZ ROCOSA</span> <table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4">RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE</th> </tr> <tr> <th colspan="2"></th> <th colspan="4"> <input type="checkbox"/> MARTILLO DE SCHMIDT      N° determinaciones realizadas: _____  <small>N° determinaciones tomadas (no eliminando los extremos inferiores)</small>  <input type="checkbox"/> Valor modal  <input type="checkbox"/> Valor medio           </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="6" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Más información y datos en hojas adjuntas</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> Sí</td> <td style="text-align: right;"><input type="checkbox"/> No</td> <td colspan="4"> <input type="checkbox"/> CARGA PUNTUAL           <table border="1" style="margin-top: 10px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 10%;">&gt; 10 MPa</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>10 - 4</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>4 - 2</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>2 - 1</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>&lt; 1 MPa</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </table> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;"><math>I_s</math> (50)</td> <td style="text-align: right;">Tipo de probeta</td> <td>Cilíndrica diámetro</td> <td>Cilíndrica anular</td> <td>Bloque irregular</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; font-size: small;"> <b>INDICE MANUAL</b> (Martillo geólogo)           </td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; font-size: small;">           No rompe, solo saltan astillas            Rompe con muchos golpes            Rompe con más de un golpe            Rompe con un golpe            Se indentan la punta            Se machaca con un golpe            Idem y se raya con la uña         </td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; font-size: small;"> <b>VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO</b> </td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: center; font-size: small;">           &gt; 250 MPa    Muy alta    <input type="checkbox"/>            250 - 100    Alta    <input type="checkbox"/>            100 - 50    Media    <input type="checkbox"/>            50 - 25    Baja    <input type="checkbox"/>            25 - 5    <input type="checkbox"/>            5 - 1    Muy baja    <input type="checkbox"/>            &lt; 1 MPa    <input type="checkbox"/> </td> </tr> </tbody> </table> </div>			RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE						<input type="checkbox"/> MARTILLO DE SCHMIDT      N° determinaciones realizadas: _____ <small>N° determinaciones tomadas (no eliminando los extremos inferiores)</small> <input type="checkbox"/> Valor modal <input type="checkbox"/> Valor medio				Más información y datos en hojas adjuntas	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> CARGA PUNTUAL <table border="1" style="margin-top: 10px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 10%;">&gt; 10 MPa</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>10 - 4</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>4 - 2</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>2 - 1</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>&lt; 1 MPa</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </table>				> 10 MPa	_____	_____	_____	10 - 4	_____	_____	_____	4 - 2	_____	_____	_____	2 - 1	_____	_____	_____	< 1 MPa	_____	_____	_____	$I_s$ (50)	Tipo de probeta	Cilíndrica diámetro	Cilíndrica anular	Bloque irregular	<b>INDICE MANUAL</b> (Martillo geólogo)						No rompe, solo saltan astillas Rompe con muchos golpes Rompe con más de un golpe Rompe con un golpe Se indentan la punta Se machaca con un golpe Idem y se raya con la uña						<b>VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO</b>						> 250 MPa    Muy alta <input type="checkbox"/> 250 - 100    Alta <input type="checkbox"/> 100 - 50    Media <input type="checkbox"/> 50 - 25    Baja <input type="checkbox"/> 25 - 5 <input type="checkbox"/> 5 - 1    Muy baja <input type="checkbox"/> < 1 MPa <input type="checkbox"/>					
		RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE																																																																			
		<input type="checkbox"/> MARTILLO DE SCHMIDT      N° determinaciones realizadas: _____ <small>N° determinaciones tomadas (no eliminando los extremos inferiores)</small> <input type="checkbox"/> Valor modal <input type="checkbox"/> Valor medio																																																																			
Más información y datos en hojas adjuntas	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No	<input type="checkbox"/> CARGA PUNTUAL <table border="1" style="margin-top: 10px; border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 10%;">&gt; 10 MPa</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>10 - 4</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>4 - 2</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>2 - 1</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> <tr> <td>&lt; 1 MPa</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> <td style="text-align: center;">_____</td> </tr> </table>				> 10 MPa	_____	_____	_____	10 - 4	_____	_____		_____	4 - 2	_____	_____	_____	2 - 1	_____	_____	_____	< 1 MPa	_____	_____	_____																																										
	> 10 MPa	_____	_____	_____																																																																	
	10 - 4	_____	_____	_____																																																																	
	4 - 2	_____	_____	_____																																																																	
	2 - 1	_____	_____	_____																																																																	
	< 1 MPa	_____	_____	_____																																																																	
$I_s$ (50)	Tipo de probeta	Cilíndrica diámetro	Cilíndrica anular	Bloque irregular																																																																	
<b>INDICE MANUAL</b> (Martillo geólogo)																																																																					
No rompe, solo saltan astillas Rompe con muchos golpes Rompe con más de un golpe Rompe con un golpe Se indentan la punta Se machaca con un golpe Idem y se raya con la uña																																																																					
<b>VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO</b>																																																																					
> 250 MPa    Muy alta <input type="checkbox"/> 250 - 100    Alta <input type="checkbox"/> 100 - 50    Media <input type="checkbox"/> 50 - 25    Baja <input type="checkbox"/> 25 - 5 <input type="checkbox"/> 5 - 1    Muy baja <input type="checkbox"/> < 1 MPa <input type="checkbox"/>																																																																					

<b>MATRIZ</b>  <b>AGUA</b>	<p><b>ALTERACIÓN DE LA MATRIZ ROCOSA</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ia</td><td>Roca seca o fresca</td><td>-</td></tr> <tr><td>Ib</td><td>F</td><td>Débil decoloración en junta principales</td><td>-</td></tr> <tr><td>II</td><td>SW</td><td>Ligeramente alterada</td><td>&lt; 10 %</td></tr> <tr><td>III</td><td>MW</td><td>Bastante alterada</td><td>10 - 50</td></tr> <tr><td>IV</td><td>HW</td><td>Muy alterada</td><td>50 - 90</td></tr> <tr><td>V</td><td>CS</td><td>Completemente alterada</td><td>&gt; 90 %</td></tr> <tr><td>VI</td><td>RS</td><td>Roca descompuesta</td><td>100 %</td></tr> </table> <p><b>CONDICIONES GENERALES - <math>r_u</math></b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Completamente seco</td><td><input type="checkbox"/></td><td><math>r_u = 0</math></td></tr> <tr><td>Húmedo</td><td><input type="checkbox"/></td><td>0 - 0,1</td></tr> <tr><td>Mojado</td><td><input type="checkbox"/></td><td>0,1 - 0,2</td></tr> <tr><td>Colado</td><td><input type="checkbox"/></td><td>0,2 - 0,5</td></tr> <tr><td>Fluyendo</td><td><input type="checkbox"/></td><td><math>r_u &gt; 0,5</math></td></tr> <tr><td>Agua o presión</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> </table> <p>RAZÓN DE PRESIONES INTERSTICIALES <math>r_u = \frac{U}{U_s}</math></p> <p>ESTACIONALIDAD: Si <input type="checkbox"/> L? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <p><b>FLUJO EN EXCAVACIONES</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Seca o filtraciones leves (veloces de 5 l/min)</td><td><input type="checkbox"/></td><td><math>&lt; 1</math></td></tr> <tr><td>Filt. media o agua o presión, leves ocasionalmente de relleno</td><td><input type="checkbox"/></td><td>1 - 2,5</td></tr> <tr><td>Grandes o agua o gran presión, poco compact., juntas sin relleno</td><td><input type="checkbox"/></td><td>2,5 - 10</td></tr> <tr><td>Grandes o agua o gran presión, con leves o rellenos</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Excepcionalmente alta inicial, decreciente con el tiempo</td><td><input type="checkbox"/></td><td></td></tr> <tr><td>Excepcionalmente alta, mantenida</td><td><input type="checkbox"/></td><td>&gt; 10</td></tr> </table> <p>PRESIÓN DE AGUA APROXIMADA (kg / cm<sup>2</sup>)</p> <p>ESTACIONALIDAD: Si <input type="checkbox"/> L? <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p>	Ia	Roca seca o fresca	-	Ib	F	Débil decoloración en junta principales	-	II	SW	Ligeramente alterada	< 10 %	III	MW	Bastante alterada	10 - 50	IV	HW	Muy alterada	50 - 90	V	CS	Completemente alterada	> 90 %	VI	RS	Roca descompuesta	100 %	Completamente seco	<input type="checkbox"/>	$r_u = 0$	Húmedo	<input type="checkbox"/>	0 - 0,1	Mojado	<input type="checkbox"/>	0,1 - 0,2	Colado	<input type="checkbox"/>	0,2 - 0,5	Fluyendo	<input type="checkbox"/>	$r_u > 0,5$	Agua o presión	<input type="checkbox"/>		Seca o filtraciones leves (veloces de 5 l/min)	<input type="checkbox"/>	$< 1$	Filt. media o agua o presión, leves ocasionalmente de relleno	<input type="checkbox"/>	1 - 2,5	Grandes o agua o gran presión, poco compact., juntas sin relleno	<input type="checkbox"/>	2,5 - 10	Grandes o agua o gran presión, con leves o rellenos	<input type="checkbox"/>		Excepcionalmente alta inicial, decreciente con el tiempo	<input type="checkbox"/>		Excepcionalmente alta, mantenida	<input type="checkbox"/>	> 10	<p><b>OTROS TIPOS DE ALTERACIÓN FUERA DE LA ESCALA ISRM:</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> <p><b>RED DE DISCONTINUIDADES</b></p> <p><b>DESCRIPCION DEL MACIZO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>MASIVO</td><td>Poco discontinuidades o muy ampliamente espaciadas</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>EN BLOQUES</td><td>Aproximadamente equidistantes</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>TABULAR</td><td>Una dimensión bastante menor que las otras dos</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>COLUMNAR</td><td>Una dimensión bastante mayor que las otras dos</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>IRREGULAR</td><td>Gran variación de forma y tamaño de bloques</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>TRITURADO</td><td>Con muchísimas discontinuidades</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table> <p><b>DIACLASADO</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Ia</td><td>Masivo, sin juntas ocasionales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>Ib</td><td>Masivo, con juntas ocasionales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>II</td><td>Una familia</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>III</td><td>Una familia y ocasionales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>IV</td><td>Dos familias</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>V</td><td>Dos familias y ocasionales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>VI</td><td>Tres familias</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>VII</td><td>Tres familias y ocasionales</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>VIII</td><td>Cuatro o más familias</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>IX</td><td>Roca triturada, suelo</td><td><input type="checkbox"/></td></tr> </table>	<input type="checkbox"/>	MASIVO	Poco discontinuidades o muy ampliamente espaciadas	<input type="checkbox"/>	EN BLOQUES	Aproximadamente equidistantes	<input type="checkbox"/>	TABULAR	Una dimensión bastante menor que las otras dos	<input type="checkbox"/>	COLUMNAR	Una dimensión bastante mayor que las otras dos	<input type="checkbox"/>	IRREGULAR	Gran variación de forma y tamaño de bloques	<input type="checkbox"/>	TRITURADO	Con muchísimas discontinuidades	<input type="checkbox"/>	Ia	Masivo, sin juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>	Ib	Masivo, con juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>	II	Una familia	<input type="checkbox"/>	III	Una familia y ocasionales	<input type="checkbox"/>	IV	Dos familias	<input type="checkbox"/>	V	Dos familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>	VI	Tres familias	<input type="checkbox"/>	VII	Tres familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>	VIII	Cuatro o más familias	<input type="checkbox"/>	IX	Roca triturada, suelo	<input type="checkbox"/>																																																							
Ia	Roca seca o fresca	-																																																																																																																																																																							
Ib	F	Débil decoloración en junta principales	-																																																																																																																																																																						
II	SW	Ligeramente alterada	< 10 %																																																																																																																																																																						
III	MW	Bastante alterada	10 - 50																																																																																																																																																																						
IV	HW	Muy alterada	50 - 90																																																																																																																																																																						
V	CS	Completemente alterada	> 90 %																																																																																																																																																																						
VI	RS	Roca descompuesta	100 %																																																																																																																																																																						
Completamente seco	<input type="checkbox"/>	$r_u = 0$																																																																																																																																																																							
Húmedo	<input type="checkbox"/>	0 - 0,1																																																																																																																																																																							
Mojado	<input type="checkbox"/>	0,1 - 0,2																																																																																																																																																																							
Colado	<input type="checkbox"/>	0,2 - 0,5																																																																																																																																																																							
Fluyendo	<input type="checkbox"/>	$r_u > 0,5$																																																																																																																																																																							
Agua o presión	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																								
Seca o filtraciones leves (veloces de 5 l/min)	<input type="checkbox"/>	$< 1$																																																																																																																																																																							
Filt. media o agua o presión, leves ocasionalmente de relleno	<input type="checkbox"/>	1 - 2,5																																																																																																																																																																							
Grandes o agua o gran presión, poco compact., juntas sin relleno	<input type="checkbox"/>	2,5 - 10																																																																																																																																																																							
Grandes o agua o gran presión, con leves o rellenos	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																								
Excepcionalmente alta inicial, decreciente con el tiempo	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																								
Excepcionalmente alta, mantenida	<input type="checkbox"/>	> 10																																																																																																																																																																							
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																									
MASIVO	Poco discontinuidades o muy ampliamente espaciadas	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
EN BLOQUES	Aproximadamente equidistantes	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
TABULAR	Una dimensión bastante menor que las otras dos	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
COLUMNAR	Una dimensión bastante mayor que las otras dos	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
IRREGULAR	Gran variación de forma y tamaño de bloques	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
TRITURADO	Con muchísimas discontinuidades	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
Ia	Masivo, sin juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
Ib	Masivo, con juntas ocasionales	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
II	Una familia	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
III	Una familia y ocasionales	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
IV	Dos familias	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
V	Dos familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
VI	Tres familias	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
VII	Tres familias y ocasionales	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
VIII	Cuatro o más familias	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
IX	Roca triturada, suelo	<input type="checkbox"/>																																																																																																																																																																							
<p><b>CLAVES</b></p> <p>Censoado de diaclasas adjunto: Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Estratificación</td><td>E</td><td>Compresión</td><td>Cs</td><td>Estriollitos</td><td>Et</td></tr> <tr><td>Esquistoidad</td><td>S</td><td>Tracción</td><td>Tr</td><td>Disoluciones</td><td>Di</td></tr> <tr><td>Folación</td><td>F</td><td>Corte</td><td>Cr</td><td>Slickensides</td><td>Si</td></tr> <tr><td>Juntas</td><td>J</td><td>Flexión</td><td>Fx</td><td>Volcánicas</td><td>V</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Persistente</td><td>P</td><td>Subpersistente</td><td>S</td><td>No persistente</td><td>N</td></tr> <tr><td>Muy separadas</td><td></td><td>&gt; 2,00 m</td><td></td><td>MS</td><td></td></tr> <tr><td>Separadas</td><td></td><td>2,00 - 0,80 m</td><td></td><td>S</td><td></td></tr> <tr><td>Medianamente separadas</td><td></td><td>0,80 - 0,20 m</td><td></td><td>X</td><td></td></tr> <tr><td>Próximas</td><td></td><td>0,20 - 0,06 m</td><td></td><td>P</td><td></td></tr> <tr><td>Muy próximas</td><td></td><td>&lt; 0,06 m</td><td></td><td>MP</td><td></td></tr> </table> <p><math>\frac{1}{L} = \sum \frac{1}{S_i} = \frac{1}{P} + \frac{1}{S} + \frac{1}{X} + \frac{1}{P} + \frac{1}{MP} =</math> <input type="checkbox"/></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Muy rugosa</td><td>M</td><td>1º nivel:</td><td>2º nivel:</td></tr> <tr><td>Rugosa</td><td>R</td><td>Escalonada</td><td>E</td></tr> <tr><td>Algo rugosa</td><td>A</td><td>Ondulada</td><td>O</td></tr> <tr><td>Suave</td><td>S</td><td>Plana</td><td>P</td></tr> <tr><td>Señales de pulido</td><td>P</td><td>Pulida</td><td>P</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Cerrada</td><td></td><td>&lt; 0,1 mm</td><td>C</td></tr> <tr><td>Algo abierta</td><td></td><td>0,1 - 1,0 mm</td><td>L</td></tr> <tr><td>Abierta</td><td></td><td>1,0 - 5,0 mm</td><td>A</td></tr> <tr><td>Muy abierta</td><td></td><td>&gt; 5 mm</td><td>M</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Acoplada</td><td>A</td><td>No - unidireccional</td><td>U</td><td>No - bidireccional</td><td>B</td></tr> <tr><td>Sin relleno</td><td>S</td><td>Ananoso</td><td>A</td><td>LL &lt; 30</td><td>CH</td></tr> <tr><td>Puentes de roca</td><td>P</td><td>Silicatos</td><td>I</td><td>LL &gt; 30</td><td>CL</td></tr> <tr><td>Cementación</td><td>C</td><td>Mica/Clorita</td><td>M</td><td>Expansivo</td><td>Ce</td></tr> <tr><td>Brecha de falla</td><td>F</td><td>Solubles</td><td>L</td><td>Arenoso</td><td>SC</td></tr> <tr><td>Otros:</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>O</td></tr> </table> <p>Para el flujo de agua y el estado de bordes, utilizar el mismo método que para la matriz rocosa.</p> <p><b>NOTAS:</b></p>		Estratificación	E	Compresión	Cs	Estriollitos	Et	Esquistoidad	S	Tracción	Tr	Disoluciones	Di	Folación	F	Corte	Cr	Slickensides	Si	Juntas	J	Flexión	Fx	Volcánicas	V	Persistente	P	Subpersistente	S	No persistente	N	Muy separadas		> 2,00 m		MS		Separadas		2,00 - 0,80 m		S		Medianamente separadas		0,80 - 0,20 m		X		Próximas		0,20 - 0,06 m		P		Muy próximas		< 0,06 m		MP		Muy rugosa	M	1º nivel:	2º nivel:	Rugosa	R	Escalonada	E	Algo rugosa	A	Ondulada	O	Suave	S	Plana	P	Señales de pulido	P	Pulida	P	Cerrada		< 0,1 mm	C	Algo abierta		0,1 - 1,0 mm	L	Abierta		1,0 - 5,0 mm	A	Muy abierta		> 5 mm	M	Acoplada	A	No - unidireccional	U	No - bidireccional	B	Sin relleno	S	Ananoso	A	LL < 30	CH	Puentes de roca	P	Silicatos	I	LL > 30	CL	Cementación	C	Mica/Clorita	M	Expansivo	Ce	Brecha de falla	F	Solubles	L	Arenoso	SC	Otros:					O	<p><b>CARACTÉRISTICAS DE LAS DISCONTINUIDADES</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>RQD</td><td>FILIO DE AGUA</td><td>RELEÑO</td><td>SI / NO:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>Tipo:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>C. Genl:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>Estac.:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>Bordes Alteración:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td>Resistencia:</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table> <p>Medido en sondeo: <input type="checkbox"/> Palmstrom: RQD = 115 - 3,3.J<sub>v</sub> = <input type="checkbox"/> Estimado: <input type="checkbox"/> VALOR y/o INTERVALO ADOPTADO: <input type="checkbox"/></p>	RQD	FILIO DE AGUA	RELEÑO	SI / NO:					Tipo:					C. Genl:					Estac.:					Bordes Alteración:					Resistencia:						
Estratificación	E	Compresión	Cs	Estriollitos	Et																																																																																																																																																																				
Esquistoidad	S	Tracción	Tr	Disoluciones	Di																																																																																																																																																																				
Folación	F	Corte	Cr	Slickensides	Si																																																																																																																																																																				
Juntas	J	Flexión	Fx	Volcánicas	V																																																																																																																																																																				
Persistente	P	Subpersistente	S	No persistente	N																																																																																																																																																																				
Muy separadas		> 2,00 m		MS																																																																																																																																																																					
Separadas		2,00 - 0,80 m		S																																																																																																																																																																					
Medianamente separadas		0,80 - 0,20 m		X																																																																																																																																																																					
Próximas		0,20 - 0,06 m		P																																																																																																																																																																					
Muy próximas		< 0,06 m		MP																																																																																																																																																																					
Muy rugosa	M	1º nivel:	2º nivel:																																																																																																																																																																						
Rugosa	R	Escalonada	E																																																																																																																																																																						
Algo rugosa	A	Ondulada	O																																																																																																																																																																						
Suave	S	Plana	P																																																																																																																																																																						
Señales de pulido	P	Pulida	P																																																																																																																																																																						
Cerrada		< 0,1 mm	C																																																																																																																																																																						
Algo abierta		0,1 - 1,0 mm	L																																																																																																																																																																						
Abierta		1,0 - 5,0 mm	A																																																																																																																																																																						
Muy abierta		> 5 mm	M																																																																																																																																																																						
Acoplada	A	No - unidireccional	U	No - bidireccional	B																																																																																																																																																																				
Sin relleno	S	Ananoso	A	LL < 30	CH																																																																																																																																																																				
Puentes de roca	P	Silicatos	I	LL > 30	CL																																																																																																																																																																				
Cementación	C	Mica/Clorita	M	Expansivo	Ce																																																																																																																																																																				
Brecha de falla	F	Solubles	L	Arenoso	SC																																																																																																																																																																				
Otros:					O																																																																																																																																																																				
RQD	FILIO DE AGUA	RELEÑO	SI / NO:																																																																																																																																																																						
			Tipo:																																																																																																																																																																						
			C. Genl:																																																																																																																																																																						
			Estac.:																																																																																																																																																																						
			Bordes Alteración:																																																																																																																																																																						
			Resistencia:																																																																																																																																																																						

### CLASIFICACIÓN RMR - Criterios de valoración de parámetros

> 250 MPa	250 - 100	100 - 50	50 - 25	25 - 5	5 - 1	< 1 MPa
15	12	7	4	2	1	0
			$V_{P1} = 0,1C_0$	$V_{P1} = 1 + 0,1C_0$		
100 - 90 %	90 - 75	75 - 50	50 - 25		< 25 %	
20	17	13	8		3	
			$V_{P2} = 0,20.RQD$	$V_{P2} = 2+0,15.RQD$	$V_{P2} = 3+0,10.RQD$	
> 2,00 m	2,00 - 0,80	0,60 - 0,20	0,20 - 0,06		< 0,06 m	
20	15	10	8		5	
			$V_{P3}$			
SECO	HUMEDO	MOJADO	GOTEANDO	FLUYENDO		
15	10	7	4	0		
			$V_{P3} = 10.\log(1/t_n) - 1,5$			

(Bieniawski, 1989) (Wickham et al., 1972)		Relación entre los rumbos del Túnel y de la Discontinuidad		
F		PERPENDICULAR	PARALELO	CUALQUIERA
Muy favorable	0	$\beta_j$ 45-90 ↗		
Favorable	-2	$\beta_j$ 20-45 ↗		
Medio	-5	$\beta_j$ 45-90 ↗	$\beta_j$ 20-45 ↗	$\beta_j$ 00-20 ↗
Desfavorable	-10	$\beta_j$ 20-45 ↗		
Muy Desfavorable	-12		$\beta_j$ 45-90 ↗	

$\beta_j$  = Buzamiento discontinuidad

Valoración paramétrica parcial de las condiciones de los juntos ( $\Sigma = V_{Pj}$ )

Bieniawski, 1989

Romania, 1993

CONTINUIDAD		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
		6	4	2	1	0
APERTURA		0 mm	< 0,10	0,10 - 1	1 - 5	> 5 mm
		6	5	4	1	0
RUGOSIDAD		Muy rugosa	Rugosa	Algo rugosa	Lisa	Con estrías
		6	5	3	1	0
RELLENO		Ninguno	Duro (< 5 mm)	Duro (> 5 mm)	Blando (< 5 mm)	Blando (> 5 mm)
		6	4	2	2	0
ALTERACION		I	II	III	IV	V - VI
		6	5	3	1	0
RUGOSIDAD Y RELLENO				APERTURA O ANCHO		
				Cerrada (< 0,10 mm)	9	
				Algo abierta (0,10 - 1 mm)	7	
				Abierta (1 - 5 mm)	5	
				Muy abierta (> 5 mm)	0	
ALTERACIÓN - METEORIZACIÓN						
				Fresca / sana (I)	6	
				Algo alterada (II)	5	
				Bastante alterada (III)	3	
				Muy alterada (IV)	0	
				Completamente alterada (V-VI)	0	
CONTINUIDAD						
				No persistente	5	
				Subpersistente	3	
				Persistente	0	

### Cálculo del RMR

$$RMR \text{ Básico} = \sum_{i=1}^5 V_{Pi}$$

	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5
Valoración $C_0 : V_{P1} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
RQD : $V_{P2} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Frecuencia S : $V_{P3} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Continuidad =	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Apertura o ancho =	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Rugosidad y relleno =	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Alteración =	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Estado juntas : $V_{P4} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
Agua : $V_{P5} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /
$RMR \text{ Básico} =$	/ /	/ /	/ /	/ /	/ /

$$RMR \text{ Ajustado} = RMR \text{ Básico} + F$$

$$\text{Dirección del eje del túnel: } \alpha_T =$$

$\alpha_j / \beta_j =$	/ /	/ /	/ /	/ /
Factor de ajuste: F =				
$RMR \text{ Ajustado} =$	/ /	/ /	/ /	/ /

**CLASIFICACIÓN Q**

(Formato adaptado de Barton, 2002)

Nota: Para una estación geomecánica individual, marcar la columna correspondiente; para el estudio global o de un tramo de túnel, realizar los histogramas.

TAMAÑO DE BLOQUE												
<b>RQD</b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:  <b>J<sub>n</sub></b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:	MUY MALO	MALO	MEDIO	BUENO	EXC.							
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100
	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	Ib	Ia		
	20	15	12	9	6	4	3	2	1	0,5		
RUGOSIDAD Y ALTERACIÓN DE JUNTAS				ESTADO TENSIONAL								
<b>J<sub>r</sub></b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:  <b>J<sub>a</sub></b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:	RELL.	PLANAS	ONDULADAS	DISC.								
	1	0,5	1	1,5	1,5	2	3					
	RELLENOS DE GRAN ESPESOR	RELL. POCO ESPESOR	ADHERENCIAS	SIN RELLENO	SOLD.							
	20 13 12 10 8 6 5	12 8 6 4	4	3	2	1	0,75					
<b>J<sub>w</sub></b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:  <b>SRF</b> Mínimo: Máximo: Medio: Modal:	CON FLUJO O PRESIÓN	MOJADO	SECO									
	0,05	0,1	0,2	0,33	0,5	0,66						
	ROCA EXTRUIDA	ROCA EXPANSIVA	ZONAS DÉBILES	TENSIÓN / RESISTENCIA								
	20 15 10 5	20 15 10 5	10 7,5 5 2,5	100 50 20 10 5 2 0,5 1 2,5								
Determinación de Q = $\frac{\text{RQD}}{\text{J}_n} \times \frac{\text{J}_r}{\text{J}_a} \times \frac{\text{J}_w}{\text{SRF}}$ = _____ x _____ x _____ = _____ Mínimo OBSERVACIONES: _____ x _____ x _____ = _____ Máximo _____ x _____ x _____ = _____ Medio _____ x _____ x _____ = _____ Modal												